



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
RADYOLOJİK BİLİMLER ANA BİLİM DALI**

**KAS ETKİNLİĞİNİ DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİNE
ALTERNATİF OLARAK TERMAL KAMERA KULLANIMI
VE TERMAL GÖRÜNTÜLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Rabia Hatice KEKEÇ

Danışman
Doç. Dr. Ayşegül KARADAYI

SAMSUN
2023

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
RADYOLOJİK BİLİMLER ANA BİLİM DALI**



**KAS ETKİNLİĞİNİ DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİNE
ALTERNATİF OLARAK TERMAL KAMERA KULLANIMI
VE TERMAL GÖRÜNTÜLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Rabia Hatice KEKEÇ

Danışman

Doç. Dr. Ayşegül KARADAYI

SAMSUN
2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Rabia Hatice KEKEÇ tarafından, **Doç. Dr. Ayşegül KARADAYI** danışmanlığında hazırlanan **“KAS ETKİNLİĞİNİ DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİNE ALTERNATİF OLARAK TERMAL KAMERA KULLANIMI VE TERMAL GÖRÜNTÜLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ”** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 8.9.2023 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Mustafa Çağatay TUFAN Ondokuz Mayıs Üniversitesi Radyolojik Bilimler Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Eda KÖKSAL Gazi Üniversitesi Beslenme ve Diyetetik Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Ayşegül KARADAYI Ondokuz Mayıs Üniversitesi Biyofizik Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Ahmet TABAK
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi?

Evet ☒

Hayır ☐

31 /07 / 2023

Rabia Hatice KEKEÇ

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : KAS ETKİNLİĞİNİ DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİNE ALTERNATİF OLARAK TERMAL KAMERA KULLANIMI VE TERMAL GÖRÜNTÜLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 31.07.2023 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 15

Tek kaynak oranı : % 3 çıkmıştır.

31 /07 / 2023

Doç. Dr. Ayşegül KARADAYI

ÖZET

KAS ETKİNLİĞİNİ DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİNE ALTERNATİF OLARAK TERMAL KAMERA KULLANIMI VE TERMAL GÖRÜNTÜLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Rabia Hatice KEKEÇ
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Radyolojik Bilimler Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans, Temmuz/2023
Danışman: Doç. Dr. Ayşegül KARADAYI

Sarkopeni, yaşlılarda sık görülen ve yaşlılık nedeniyle yaşam boyunca meydana gelen olumsuz kas değişikliklerinden kaynaklanan bir kas hastalığıdır. Kronik hastalıklar, hareketsiz yaşam, yetersiz beslenme gibi nedenlere bağlı olarak erken yaşta görülebilmesine rağmen, öncelikle 65 yaş ve üstünde görülmektedir. Bu çalışmada sarkopenik bireylerde kas aktivitesinin değerlendirilmesinde kullanılan geleneksel yöntemlere alternatif olarak Termal Kamera Görüntüleme yöntemi ile tanıyı destekleyecek bir program geliştirilmesi amaçlanmıştır. Katılımcılar Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi'ne başvuran 20 sarkopenik hasta ve 20 kontrol grubu gönüllüden oluşuyordu. Kriterleri karşılayan yatarak tedavi gören hastalar arasında sarkopeni olduğu belirlenenler "hasta grubu", dışlama kriterlerinde hastalığı olmayan sağlıklı bireyler ise "kontrol grubu" olarak kabul edildi. Tüm katılımcılara bazı sosyodemografik özellikleri ve günlük besin tüketim sıklığını içeren bir anket ve veri toplama formu uygulandı. Sarkopenik hastaların tanısında kullanılan geleneksel yöntemlerden el kavrama gücü (EKG) ve antropometrik ölçümler her iki gruba da uygulandı ve istatistiksel anlamlılık belirlendi. Tüm katılımcıların termal görüntüleri istirahat ve ısı uygulamasından sonra üst ekstremitelerden elde edildi. Kontrol ve hasta grupları arasında istatistiksel anlamlılık düzeyleri belirlendi. Hasta ve kontrol grubu katılımcıların EKG ve antropometrik ölçüm sonuçları istatistiksel olarak farklı bulundu ($p<0,001$). Termal görüntülerin ölçümlerinin analizinden elde edilen verilerin görüntü kalite kontrol metrikleri ile değerlendirmeleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,001$). Her iki yöntemde de elde edilen istatistiksel farklılıklar sarkopeni tanısına destek olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak invaziv olmayan, iyonlaştırıcı radyasyonsuz, yüzey teması olmayan bir yöntem olmasının avantajları ile Termal Kamera Görüntüleme yönteminin tıp alanında geleneksel yöntemlere alternatif olarak kullanılabileceği öne sürülebilir.

Anahtar Sözcükler: Sarkopeni, El kavrama gücü, Antropometrik ölçüm, Termal kamera görüntüleme, İnfrared termografi.

ABSTRACT

USE OF THERMAL CAMERAS AND IMPROVEMENT OF THERMAL IMAGES AS AN ALTERNATIVE TO MUSCLE EFFICIENCY ASSESMENT METHODS

Rabia Hatice KEKEÇ
Ondokuz Mayıs University
Institute of Graduate Studies
Department of Radiological Sciences
Master, July/2023
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ayşegül KARADAYI

Sarcopenia is a muscle disease that is more common in older adults and results from adverse muscle changes that occur throughout life due to old age. Although it can be seen at an early age secondary to reasons such as chronic diseases, sedentary life, malnutrition it primarily affects individuals aged 65 and older. In this study, it was aimed to develop a program to support the diagnosis with the Thermal Camera Imaging method as an alternative to the traditional methods used in the evaluation of muscle activity in sarcopenic individuals. Participants consisted of 20 sarcopenic patients and 20 control group volunteers who applied to Ondokuz Mayıs University Medical Faculty Hospital. Among the inpatients who met the criteria, those who were determined to have sarcopenia were accepted as the "patient group", and the healthy individuals without any disease in the exclusion criteria were considered the "control group". A questionnaire and data collection form including some sociodemographic characteristics and daily food consumption frequency were applied to all participants. Hand grip strength (HGS) and anthropometric measurements, which are traditional methods used in the diagnosis of sarcopenic patients, were applied to both groups and statistical significance was determined. Thermal images of all participants were obtained from the upper extremity muscles at rest and after heat application, and statistical significance levels were determined between the control and patient groups. The results of HGS and anthropometric measurements of the patient and control group participants were found to be statistically different ($p<0,001$). The evaluations of the data obtained from the analysis of the measurements of thermal images with image quality control metrics were found to be statistically significant ($p<0,001$). Statistical differences obtained in both methods showed support for the diagnosis of sarcopenia. As a result, it can be suggested that the Thermal Camera Imaging method can be used in the medical field as an alternative to traditional methods, with the advantages of being a non-invasive, ionizing radiation-free, non-surface contact method.

Keywords: Sarcopenia, Hand grip strength, Anthropometric measurement, Thermal camera imaging, Infrared thermography.

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam süresince vakit ayırarak her konuda bilgi, beceri ve tecrübeleri ile destek olan, bu konuyu yüksek lisans tezi olarak öneren değerli danışman hocam, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Biyofizik Anabilim Dalı Başkanı Doç. Dr. Ayşegül KARADAYI' ya,

Çalışmamda, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yaptığım çalışmada bilgilerini ve desteklerini esirgemeyen, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi, Diyet Bölümü'nden Uzm. Dyt. Güzin TÜMER'e,

Termal görüntülerin istatistiksel değerlendirilmesinde bilgi ve birikimlerini aktaran, güler yüzünü hiçbir zaman esirgemeyen, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Halk Sağlığı Anabilim Dalı'nda Doç Dr. Özlem TERZİ'ye,

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde hasta gönüllülere ulaşmamda emeği geçen tüm hemşire, sekreter ve hastane personellerine,

Bu zamanlarıma gelmemde desteklerini esirgemeyen canım annem Nezihe GÜLEN ve babam Ahmet GÜLEN'e, bana her konuda güvenen, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen canım ablam Hilal Tuğçe ÇAYIR ve kardeşim Feyza GÜLEN'e,

Bu çalışmayı devam ettirebilmemde asıl gücü, kuvveti ve desteği bana veren, sevgisini ve sabrını benden hiç esirgemeyen canım eşim Halil KEKEÇ'e,

Tüm kalbim ve içtenliğimle teşekkür ederim.

Rabia Hatice KEKEÇ

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1. Sarkopeni.....	5
2.1.1. Beslenme ve Fiziksel Aktivite Durumunun Sarkopeniye Etkisi	6
2.1.2. Kas Etkinliğini Değerlendirme Yöntemleri.....	8
2.2. Termal Görüntüleme	13
2.2.1. Elektromanyetik Spektrum	13
2.2.2. Termal Kameraların Fiziksel Temelleri.....	15
2.2.3. Termal Kameraların Çalışma Prensibi.....	18
2.3. Tıpta Kızılötesi Termal Görüntüleme Uygulamaları	20
2.3.1. Meme Kanseri.....	21
2.3.2. Cilt Hastalıkları.....	23
2.3.3. Periferik Dolaşım.....	25
2.3.4. Raynaud Fenomeni	26
2.3.5. Nörolojide Termografi.....	27
2.3.6. Diş Termografisi	28
2.3.7. Diyabet.....	28
2.3.8. Obezite	29
2.3.9. Kahverengi Yağ Dokusunun Termal Kamera ile Değerlendirilmesi Uygulamaları	29
2.3.10. Kas Bölgelerinin Termal Kamera ile Değerlendirilmesi Uygulamaları	31
2.4. Termal Görüntülerin İşlenmesi ve İyileştirilmesi.....	36
2.5. Termal Görüntü Kalite Değerlendirme Metrikleri	38
2.5.1. MSE (Ortalama Kare Hata) ve PSNR (Tepe Sinyal Gürültü Oranı)	39
2.5.2. SSIM (Yapısal Benzerlik İndeksi).....	40
3. MATERYAL VE YÖNTEM	41
3.1. Katılımcılar.....	41
3.2. Çalışmanın Tasarımı.....	42
3.2.1. Ön Çalışma/Değerlendirme	42
3.2.2. El Kavrama Gücü (EKG) Ölçümü.....	45
3.2.3. Antropometrik Ölçümler	46
3.2.4. Termal Parametrelerin Ölçülmesi.....	47
3.3. Veri Analizi	49
3.3.1. Termal Görüntülerin Analizi	49
3.3.2. İstatistiksel Analiz	55
3.3.3. Termal Görüntü Kalitesinin Değerlendirilmesi	56
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	58
4.1. Anket Formu Bulguları ve Değerlendirilmesi.....	58

4.2. Veri Toplama Formu Bulguları ve Değerlendirilmesi	60
4.3. Geleneksel Yöntemlerle ve Termal Görüntüleme Yöntemiyle Elde Edilen Bulgular ve Değerlendirilmesi	61
4.4. Görüntü Kalite Kontrol Metrikleri Bulguları ve Değerlendirilmesi.....	64
4.5. ROC Analizi Bulguları ve Değerlendirilmesi	66
5. SONUÇ	69
KAYNAKÇA	72
EKLER.....	79
ETİK KURUL KARARI	87
ÖZ GEÇMİŞ.....	88



SİMGELER VE KISALTMALAR

BAT	: Kahverengi Yağ Dokusu (Brown Adipose Tissue)
BİA	: Biyoelektrik İmpedans Analizi
BKİ	: Beden Kütle İndeksi
BT	: Bilgisayarlı Tomografi
DXA/DEXA	: Kemik Dansitometresi (Dual-Energy X-Ray Absorptiometry)
EMG	: Elektromiyografi
EUGMS	: Avrupa Birliği Geriatri Derneği (European Union Geriatric Medicine Society)
EWGSOP	: Avrupa Yaşlılarda Sarkopeni Çalışma Grubu (The European Working Group on Sarcopenia in Older People)
FIR	: Uzak Dalga Boylu Kızılötesi
FNIH	: Ulusal Sağlık Enstitüleri Vakfı (The Foundation for the National Institutes of Health)
IDE	: Integrated Development Environment (Tümleşik Geliştirme Ortamı)
IR	: İnfrared (Kızılötesi)
IRT	: Kızılötesi Termografi
JPG/JPEG	: Joint Photographic Expert Group (Ortak Fotoğraf Uzmanlar Grubu)
KAEK	: Klinik Araştırmalar Etik Kurulu
LED	: Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)
MR	: Manyetik Rezonans
MRG	: Manyetik Rezonans Görüntüleme
MSE	: Ortalama Kare Hatası (Mean Square Error)
MWIR	: Orta Dalga Boylu Kızılötesi
NIR	: Yakın Dalga Boylu Kızılötesi
OMÜ	: Ondokuz Mayıs Üniversitesi
PET/CT	: Pozitron Emisyon Tomografi/Bilgisayarlı Tomografi
PSNR	: Peak Signal-To-Noise Ratio (Tepe Sinyal Gürültü Oranı)
ROI	: Region Of Interest (İlgi alanı)
SPECT/CT	: Tek Foton Emisyon Bilgisayarlı Tomografi/Bilgisayarlı Tomografi
SPSS	: Sosyal Bilimler için İstatistik Programı (Statistical Package for the Social Sciences)
SSIM	: Structural Similarity Index- Yapı Benzerlik İndeksi

SWIR	: Kısa Dalga Boylu Kızılötesi
TDKK	: Triseps Deri Kıvrım Kalınlığı
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
US	: Ultrasonografi
ÜOKÇ	: Üst Orta Kol Çevresi
ÜOKKA	: Üst Orta Kol Kas Alanı
VK	: Vücut Kompozisyonu
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1. Elektromanyetik spektrum ve tıbbi modaliteler arasındaki ilişki (Dey et al., 2017).....	14
Şekil 2. 2. Kızılötesi spektrum (Mouahid, 2018).....	14
Şekil 2. 3. (a) Kara cisim yayma güç spektrumu (Wein şeması) ve (b) IR ısıtma elemanlarının ölçülen yayma güç spektrumu (Pan & Atungulu, 2010)	17
Şekil 2. 4. Termal görüntüleme cihazıyla elde edilen görüntülerde, farklı A1 ve A2 nesnelerinin sıcaklık dağılımları görsel olarak görünümü (Şirel vd., 2001)	19
Şekil 2. 5. Termal kameraların blok yapısı	19
Şekil 2. 6. Termal kameraların şematik diyagramı (Jo et al., 2013)	20
Şekil 2. 7. Termal görüntülerin tıpta kullanımı (Dey et al., 2017).....	21
Şekil 2. 8. Meme patolojileri (Rajmanova et al., 2015)	21
Şekil 2. 9. (a) Normal meme termogramı; (b) karşılık gelen meme maskesi; (c) meme bölgesinin arka plandan segmentasyonu; (d) anormal meme termogramı; (e) karşılık gelen meme maskesi ve (f) meme termogramından meme bölgesinin segmentasyonu (Kapoor et al., 2012)	22
Şekil 2. 10. (a) orijinal meme termogramı, (b) yazılım kullanarak işlendikten sonra görüntüsü, (c) gri tonlamalı görüntü (Hossam et al., 2018).....	23
Şekil 2. 11. (a) Orijinal gri tonlamalı görüntü, (b) Eşiksiz Canny yöntemini kullanarak kenar algılama, (c) Eşik değerlerini tanımlayan Canny yöntemini kullanarak kenar algılama (Hossam et al., 2018)	23
Şekil 2. 12. Cilt tümörleri görülen termogram (Rajmanova et al., 2015)	24
Şekil 2. 13. (A) Bir spor yaralanmasından sonra ön ayağın kronik iltihabı, (B) Bir dizinin romatoid artriti (görüntünün solunda) (Ring & Ammer, 2012).....	24
Şekil 2. 14. Diz termogramı (Hildebrandt et al., 2010).....	25
Şekil 2. 15. (a) İzotermal görüntü ve (b) Etkilenen hastanın bacak fotoğrafı (Bagavathiappan ve ark., 2009).....	26
Şekil 2. 16. Karmaşık bölgesel ağrı sendromlu ellerin termogramı (Rajmanova et al., 2015)	26
Şekil 2. 17. Raynaud fenomeni hastalarında el termogramları (Ring & Ammer, 2012).....	27
Şekil 2. 18. Migren termogramı (Rajmanova et al., 2015)	28
Şekil 2. 19. Diş eti iltihabı termogramı (Rajmanova et al., 2015)	28
Şekil 2. 20. (a) Kontrol deneği ve (b) diyabetik denek termogramları (Sivanandam vd., 2012).....	29
Şekil 2. 21. PET/CT ile termal görüntü haritalama (Law et al., 2018)	30
Şekil 2. 22. Cerrahların görevlerinin başında ve sonunda elde edilen termograflar (Sancibrian et al., 2016).....	32
Şekil 2. 23. Kros kayakçıları için vücut yüzeyinin (a) egzersiz öncesi ve (b) egzersiz sonrası termal görüntüleri (Drzazga et al., 2018)	32

Şekil 2. 24. Yüzücüler için vücut yüzeyinin (a) egzersiz öncesi ve (b) egzersiz sonrası termal görüntüleri (Drzazga et al., 2018)	33
Şekil 2. 25. A) Egzersizden önce bir deneğin egzersiz yapılmamış kolunun tipik bir termal görüntüsü B) Egzersizden 24 saat sonra aynı deneğin kolunun termal görüntüsü (Al-Nakhli et al., 2012)	34
Şekil 2. 26. Kolun termal görüntüsünü analiz etmek için ilgilenilen 4 bölgenin bir örneği (Al-Nakhli et al., 2012)	35
Şekil 2. 27. Egzersiz yapılan bir kolun termal görüntüsündeki 4 ilgi alanını gösteren "ThermoVision Examiner" için yazılım arayüzü (Her kutu için istatistiksel yorumlar da gösterilmiştir) (Al-Nakhli et al., 2012).....	35
Şekil 2. 28. Kızılötesi termal görüntü işleme adımları (Dey et al. 2017'den uyarlandı)	37
Şekil 3. 1. Dinlenme halindeki ve kol egzersizi sonrası sol kolun termal görüntüleri.....	42
Şekil 3. 2. Dinlenme halindeki ve 3 dk sıcak su torbası uygulaması sonrası sağ kolun termal görüntüleri	43
Şekil 3. 3. Renk filtreleme işlemi uygulaması	44
Şekil 3. 4. Aynı görüntü üzerinde maskelenmiş görüntüsü	44
Şekil 3. 5. Katılımcının koluna madeni paranın yerleştirilmiş görüntüsü.....	45
Şekil 3. 6. (a) Hand Grip cihazı ve (b) el kavrama gücü ölçümü.....	46
Şekil 3. 7. Üst orta kol çevresi (ÜOKÇ) ölçümü (S. Bakanlığı, 2010)	46
Şekil 3. 8. Cambridge Maryland Kaliper (Lange Skinfold Caliper) aleti ve triseps deri kıvrım kalınlığı ölçümü	47
Şekil 3. 9. Çalışmamızda kullandığımız Testo 865 termal kamera.....	48
Şekil 3. 10. Termal görüntü ediniminin şekli.....	49
Şekil 3. 11. Kontrol grubu katılımcıdan elde edilen üst kol termal görüntüleri.....	50
Şekil 3. 12. Hasta grubu katılımcıdan elde edilen üst kol termal görüntüleri	51
Şekil 3. 13. Aynı görüntü üzerinde sırasıyla Gaussian ve Median filtre uygulanmış termal görüntüler	54
Şekil 3. 14. Sıcak su torbası uygulanmadan önce (T1) ve uygulama sonrası(T2) ROI çizilmiş termal görüntüler.....	55
Şekil 3. 15. Power analizi sonuçları	55

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2. 1. Yetişkinlerin Beden Kütle İndeksi değerlerine göre sınıflandırılması (kg/m ²) (WHO,1998).....	6
Tablo 2. 2. Kas kütlesi, kuvveti ve fonksiyonunun değerlendirilmesinde kullanılan testler (Elmas, 2018)	8
Tablo 2. 3. EWSGOP2 sarkopeni tanılmasında cut-off değerleri	10
Tablo 2. 4. Kahverengi yağ dokusunu değerlendirmek için kullanılan non-invaziv görüntüleme yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları (Sun et al., 2017)	31
Tablo 3. 1. Çalışmamızda kullandığımız TESTO 865 termal kameranın teknik özellikleri..	48
Tablo 4. 1. Katılımcıların bazı sosyodemografik özelliklerini ve günlük besin tüketim sıklığını içeren anket formu istatistiksel verileri	59
Tablo 4. 2. Katılımcılara uygulanan geleneksel yöntemlerin ölçümsel verilerinin hasta ve kontrol grubu için karşılaştırılması	61
Tablo 4. 3. Isı uygulaması öncesi ve sonrası görüntülerin alanlarının hasta ve kontrol grubu için karşılaştırılması.....	62
Tablo 4. 4. Kontrol grubunda geleneksel yöntemlerden üst orta kol kas alanı ve el kavrama gücü ile termal görüntü piksel alanlarının (T1-T2-T2F1-T2F2) korelasyonel karşılaştırılması.....	62
Tablo 4. 5. Sarkopenik hasta grubunda geleneksel yöntemlerden üst orta kol kas alanı ve el kavrama gücü ile termal görüntü piksel alanlarının (T1-T2-T2F1-T2F2) korelasyonel karşılaştırılması	64
Tablo 4. 6. Görüntü kalite kontrol metriklerinin hasta ve kontrol grubu için karşılaştırılması	66
Tablo 4.7. A. T2 değerlerinin sağlıklılık durumunu belirlemede etkisi.....	66
Tablo 4.7. B. T2 değerlerinin sağlıklılık durumunu belirlemedeki kesim noktaları	67

1. GİRİŞ

Yaşlanma, bir organizmada zamanla meydana gelen metabolik süreçlerin yıkım olaylarının üstünlük kazandığı kolektif fizyolojik değişiklikler serisi olarak tanımlanabilmektedir. Bu değişiklikler, bireylerin çeşitli hastalıklara daha yatkın hale gelmesine neden olabilmektedir (Barkoukis, 2016). Dünya Sağlık Örgütü [World Health Organization (WHO)], yaşlılık dönemini 65 yaş ve üstü olarak tanımlamaktadır (WHO, 2015). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)'nin 2023 raporuna göre, yaşlı nüfus olarak kabul edilen 65 yaş ve üstü kişilerin sayısı, 2017 yılında 6.895.385 olan nüfus, son beş yılda %22,6 artarak 2022 yılında 8.451.669 kişiye ulaşmıştır. Yaşlı nüfusun toplam nüfus içindeki oranı ise 2017 yılında %8,5 iken, 2022 yılında %9,9'a yükselmiştir. 2022 yılında yaşlı nüfusun %44,4'ünü erkekler ve %55,6'sını kadınlar oluşturmaktadır. Nüfus projeksiyonlarına göre, 2030 yılında yaşlı nüfusun oranının %12,9, 2040 yılında %16,3, 2060 yılında %22,6 ve 2080 yılında %25,6 olması öngörülmektedir (TÜİK, 2023).

Yaşam süresinin artmasıyla birlikte dünya genelinde ve ülkemizde yaşlı nüfusu hızla artmaktadır. Bu durum, yaşlılara özgü kronik sağlık sorunları ve geriatrik sendromlar kavramlarını gündeme getirmektedir. Geriatrik sendromlar, yaşlılıkla ilişkili olarak ortaya çıkan ve hastalık tanımıyla tam olarak açıklanamayan, birçok sistem üzerinde etkileşimin sonucunda sıradışı semptomlarla kendini gösteren belirtiler topluluğunu ifade etmektedir (Cruz-Jentoft et al., 2010; Keskinler vd., 2013). Sarkopeni ise bir geriatrik sendrom olarak değerlendirilen, düşmelere, fonksiyon kaybına ve bağımlılığın artmasına yol açabilen ve hatta ölüme neden olabilen bir durumdur. Sarkopeni, çeşitli faktörlerin etkileşimi sonucu ortaya çıkar ve kronik hastalıklar, hareketsiz yaşam, yetersiz beslenme gibi durumların bir sonucu olarak erken yaşlarda da görülebilir, ancak genellikle 65 yaş ve üzeri bireylerde daha sık görülmektedir (Cruz-Jentoft et al., 2010).

Yaşlı nüfusun artmasıyla birlikte sarkopeni sıklığı da artmıştır. Sarkopeninin yaygın bir sorun olduğunun farkında olunması, erken teşhis edilmesi ve tedavi planlamasının yapılması son derece önemlidir (Kuyumcu, 2014). Sarkopeni prevalansı, çalışma yapılan yer (ülke/toplum/kurum/hastane), yaş grubu, cinsiyet dağılımı ve kullanılan tanı kriterlerine göre farklılık göstermektedir. Türkiye'de yapılan bir çalışmada, 65 yaş ve üzeri toplumda yaşayan bireylerde sarkopeni prevalansının genel olarak %5,2 olduğu belirlenmiştir (%4,1 kadınlarda, %6,7

erkeklerde) (Simsek vd., 2019). Japonya'da yapılan bir çalışmada ise, 65-89 yaş arası kadınların %22,9'unun, erkeklerin %21,8'inin sarkopenik olduğu tespit edilmiştir (Yamada et al., 2013). Belçika'da gerçekleştirilen bir kohort çalışmasında ise 80 yaş ve üzeri bireylerde sarkopeni prevalansının %12,5 olduğu bulunmuştur (Legrand et al., 2013). Kanada'da yapılan bir çalışmada sarkopeni prevalansı çeşitli tanı kriterlerine göre değerlendirilmiş ve sonuçlar erkeklerde %1,4-5,2, kadınlarda ise %1,6-7,2 arasında değiştiği gösterilmiştir (Purcell et al., 2020). 60 yaş ve üzeri hastanede yatan bireyleri içeren bir derleme ve meta-analiz çalışmasında ise sarkopeni prevalansının erkeklerde %23, kadınlarda %24 olduğu tespit edilmiştir (Papadopoulou et al., 2020).

Kas kuvveti, sarkopeni tanısı koymak için önemli bir parametre olup, bir kasın belirli bir süre içinde kuvvet üretme kapasitesini ifade etmektedir. Kas kuvvetini doğru bir şekilde ölçmek için çok az sayıda güvenilir teknik bulunmaktadır. Ayrıca maliyet, kullanılabilirlik ve kullanım kolaylığı gibi faktörler, klinik uygulamalar veya araştırmalar için hangi yöntemlerin seçilebileceği konusunda seçenekler sunmaktadır. Diz fleksiyon-ekstansiyon ölçüm yöntemi gibi izokinetik uygulamalar kas kuvvetinin değerlendirilmesinde araştırmalar için uygun görünebilir, ancak klinik uygulamada kullanımı zor ve pahalı ekipman gerektirdiği için tercih edilen yöntemler arasında sınırlı sayıdadır (Elmas, 2018).

2010 yılında Avrupa Yaşlılarda Sarkopeni Çalışma Grubu [European Working Group on Sarcopenia in Older People (EWGSOP)], bir algoritma geliştirerek klinik pratik ve araştırmalarda sarkopenili kişileri belirlemeyi hedeflemiş ve 2018'in başlarında bu grup (EWGSOP2) yeniden bir araya gelerek bir güncellemeyi gerekli görmüşlerdir. EWGSOP'un ilk çalışmasından bu yana geçen yıllarda, araştırmacılar ve klinisyenler sarkopeninin birçok yönünü araştırmışlardır (Cruz-Jentoft et al., 2019) Dünya çapındaki uzman grupları sarkopeninin tamamlayıcı tanımlarını (sarkopeni tanısını koymak için düşük kas kütlesi ve düşük kas kuvvetinin veya performansının varlığına bakılması öneren yayın yayınladılar (Morley et al., 2011; Chen et al., 2014) ve araştırmacılar kasları ve sağlık ve hastalıktaki rollerini anlamada dikkate değer adımlar attılar (Argiles et al., 2016; Frontera et al., 2018). Kas gücünde zayıflık tespit edildiğinde, kas kütlesi ölçümü yapılmalı ve sarkopeni tanısı konulmalıdır (Cruz-Jentoft et al., 2019).

Tıbbi görüntüleme yöntemleri, klinik amaçlar için vücudun anatomisi ve fizyolojisinin ayrıntılı olarak görselleştirilmesi sürecidir. Mevcut görüntüleme teknikleri, vücut içi yapıların 2 boyutlu ya da 3 boyutlu anatomik kesitsel görüntülerinden, hastalık teşhisi ve tedavisi için klinikte yaygın kullanılmaktadır. Çek Cumhuriyeti'nde yapılan büyük, toplum temelli bir araştırmanın sonuçları, sarkopenili yaşlı insanlar için doğrudan sağlık maliyetlerinin, olmayanlara göre 2 kat daha yüksek olduğunu göstermiştir (Steffl et al., 2017). Başka bir çalışmada, sarkopeni hastalarının hastaneye yatış sırasında 65 yaşından küçük veya daha büyük olmalarına bakılmaksızın bakım maliyetleri önemli ölçüde yükseldiği bildirilmiştir (Sousa et al., 2016). Sarkopenik obezlerde sarkopeni tanımlanması güçtür, bu nedenle tanımlamayı güçlendirmek için pratik yöntemler çok önemlidir. Kas kütlesi değerlendirme teknikleri ve radyolojik yöntemlerin sınırlılıkları, aynı zamanda dezavantajları nedeniyle, geleneksel yöntemlere ek olarak kas dokularının infrared termal kamera ile görüntülenmesi ve kas kütlesinin ölçümlendirilmesiyle özellikle klinik uygulamalara faydalı olacağı düşünülmektedir.

Termografi, vücudun metabolik süreçlerindeki fizyolojik değişiklikleri ölçebilen benzersiz bir görüntüleme tekniğidir (Bronzino, 2006). Sıcaklık dağılımı doğası gereği bazı hastalıklarla ilgili fizyolojik ve biyolojik süreçlerle bağlantılıdır (Anbar et al., 2001). Termal görüntüleme tekniklerinin tıbbi uygulamaları, nöroloji, romatoloji, onkoloji, spor hekimliği, meme kanseri, diyabet ve fizyoterapi gibi çeşitli alanlarda kapsamlıdır (Dey et al., 2017). Termal görüntülemenin çeşitli tıbbi uygulamaları arasında vasküler değerlendirme, tümörlü doku tanımlama, kas gerginliği değerlendirmesi ve kanama noktası tespiti de bulunmaktadır. İnvaziv olmayan, radyasyonsuz, yüzey teması olmayan avantajları nedeniyle tıbbi alanda etkinliğini kanıtlamıştır. Doğru, temassız ve ölçülebilir tanı için tıbbi termografide yüksek performanslı termal görüntüleme kameraları, yüzey sıcaklıkları değişikliklerini görselleştirmek ve ölçmek için kullanılmaktadır. Böylece termal görüntüleme teknikleri, röntgen, USG (ultrasonografi), BT (bilgisayarlı tomografi) ve MRG (manyetik rezonans görüntüleme) gibi üç boyutlu tarama tekniklerine dayalı anatomik araştırmaların tamamlayıcısı haline gelmiştir (Dey et al., 2017). Yüksek hızlı bilgisayar teknolojisi ve çok hassas termal görüntüleme kameralarını birleştiren insan vücudundan gelen ısı, daha sonra analiz edilebilen, yazdırılabilen ve e-posta yoluyla iletilen bir görüntü haritası oluşturmak için bilgisayara kaydedilmektedir ve

işlenmektedir (Dey et al., 2017). Termal görüntüleme tıbbının buradaki konsepti, yüksek metabolik aktivite alanları ile ilişkili sıcaklık değişikliklerinin alanlarını tespit etmektir. Termografik incelemede gözlemlenen sıcaklık dağılımı farklılıkları, organizma içinde meydana gelen bir süreçle ilgili bilgi sağlamaktadır. Yüzücülerde kızılötesi radyasyondaki değişiklikler ve kas-iskelet sisteminin aşırı yüklenmiş yapıları kızılötesi termografi ile tespit edilmiştir (Rybárová & Novotny, 2015). Yüzücülerde ve kayakçılarda farklı kas bölgeleri için egzersiz testinden sonra fizyolojik, biyokimyasal ve morfolojik parametrelerin ortalama sıcaklık ile bazı anlamlı korelasyonları bulunmuştur (Drzazga et al., 2018). Bu çalışmada üst kol kas bölgesine ısı uygulaması sonrasında büyük oranda kas kütlesinde artan metabolik hızın termal görüntüleme ile belirlenebileceği düşünülmüştür.

Sarkopenik hastaların kas etkinliğinin değerlendirilmesinde kullanılan geleneksel tekniklerin yetersizliği ve kesin tanı koymada yardımcı olan BT, MR gibi radyolojik tıbbi görüntüleme yöntemlerinin maliyetleri dikkate alındığında, mevcut tekniklere ek, basit, alternatif yöntemler araştırmacıların merak konusu haline gelmiştir.

Bu tez çalışmasında sarkopenik ve sarkopeniye eğilimli bireylerin tanı koymada kullanılan geleneksel yöntemlere alternatif olarak Termal Kamera Görüntüleme yöntemi ile tanıyı destekleyecek bir program geliştirilmesi amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Sarkopeni

Sarkopeni terimi, Yunanca "sarx" (kas) ve "penia" (kayıp) kelimelerinden türetilmiştir. İlk kez 1988 yılında Rosenberg tarafından ilerleyici kas kaybı olarak tanımlanmıştır. Kas kaybı, zamanla artan bir şekilde kas kütlesi ve kas gücü kaybını ifade etmektedir (Rosenberg, 1997). İlk klinik kullanıma uygun tanım ise Baumgartner ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Buna göre, sarkopeni; kas kütlesinin sağlıklı genç bireylerin kas kütlesi ortalamasının 2 standart sapma altında olması durumudur (Baumgartner et al., 1998).

Sarkopeni, yaşa bağlı olarak kas kütlesinde ve fonksiyonlarında azalma ile karakterize bir durumdur. Bu durum, fiziksel engellilik, hayat standartlarında düşüş ve artan ölüm riski gibi istenmeyen sonuçlara yol açabilir. Ancak, sarkopeniye ilişkin ortak bir klinik tanım, herkes tarafından kabul edilen bir standart bulunmamaktadır. Bu nedenle, 2009 yılında Avrupa Birliği Geriatri Derneği [European Union Geriatric Medicine Society (EUGMS)] tarafından Avrupa Yaşlılarda Sarkopeni Çalışma Grubu [European Working Group on Sarcopenia in Older People (EWGSOP)] oluşturulmuştur. EWGSOP tarafından 2010 yılında yayınlanan rapora göre, sarkopeni tanısı için hem kas kütlesindeki azalma hem de kas fonksiyonlarındaki azalma kriterleri birlikte göz önünde bulundurulmalıdır. Kas fonksiyonlarında azalma, güç veya performansta düşüş şeklinde kendini gösterebilmektedir (Cruz-Jentoft et al., 2010).

Sarkopeni tanısında üç ölçütün varlığı önemlidir: Bunlar; kas gücünde azalma, kas kütlesi ve kalitesinde azalma, fiziksel performansta azalmadır. Sarkopeni riski olan bir bireyde, kesin tanı için bu üç ölçütün değerlendirilmesi gerekmektedir. EWGSOP tarafından 2018 yılında güncellenen sarkopeni tanımına göre, birinci ölçütün var olması "olası sarkopeni" diye değerlendirilirken, ikinci ölçütün de var olması durumunda tanı "kesin sarkopeni" olarak konulmaktadır. Üç ölçütün aynı anda mevcut olması ise "ağır sarkopeni" olarak tanımlanmaktadır (Cruz-Jentoft et al., 2019). Bu tanım, sarkopeni tanısının kesinleştirilmesi için kriterlerin aşamalı bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır.

Sarkopeni tanısı için görüntüleme tekniklerinin (BT, MR, DEXA(Dual-Energy X-Ray Absorptiometry), BİA (Biyoelektrik İmpedans Analizi)) ve antropometrik

ölçümlerin yanı sıra fiziksel performansın değerlendirilmesinde kullanılan hareket ve kas gücü testleri kullanılabilir (Dişçiğil ve Sökmen, 2017).

2.1.1. Beslenme ve Fiziksel Aktivite Durumunun Sarkopeniye Etkisi

Malnütrisyonun sarkopeni patogeneğinde etkisi olduğu ve özellikle düşük kilolu olan yaşlı bireylerde kas fonksiyonunda azalmaya katkıda bulunduğu gözlemlenmiştir (Liguori et al., 2018). Bununla birlikte, yaş ilerledikçe azalan besin tüketiminin sarkopeni gelişimindeki net etkisi henüz kesin bir şekilde kanıtlanmış değildir (Keller, 2019).

DSÖ, fazla kiloluluk ve obezite tanımını *Beden Kütle İndeksinin* hesaplanmasına *Beden Kütle İndeksi (BKİ) = Vücut Ağırlığı (kg) / Boy Uzunluğu (m²)* formülüne dayanarak yapmaktadır. Zayıflık şişmanlık durumunun saptanmasında da BKİ kullanımı pratik bir yöntemdir. Ölçülen boy uzunluğu santimetreden metre cinsine çevrilirken, beden ağırlığı kilogram cinsinden alınır ve boy uzunluğunun karesine bölünerek (kg/m²) ifade edilir (WHO, 1998). Standart değerlerle kıyaslanır (Pekcan, 2008). Tablo 2.1'de BKİ değerlerine göre obezite sınıflandırılması verilmiştir. Dünya Sağlık Örgütü'nün yaptığı sınıflandırma zayıf, normal, fazla kilolu, obez aralığında değişmektedir.

Tablo 2. 1. Yetişkinlerin *Beden Kütle İndeksi* değerlerine göre sınıflandırılması (kg/m²) (WHO, 1998)

Sınıflama	BKİ
Zayıf	<18,50
Normal	18,50-24,99
Fazla Kilolu:	≥25
Pre-obez	25-29,99
Obez sınıf I	30-34,99
Obez sınıf II	35-39,99
Obez sınıf III	≥40

Bu BKİ değerleri yaştan bağımsızdır ve her iki cinsiyet için de aynıdır.

Ulusal Sağlık ve Beslenme Değerlendirme Çalışması (National Health and Nutrition Examination Survey- NHANES) (Batsis et al., 2014), tarafından yapılan son araştırmalar, sarkopeni ve sarkopenik obeziteye sahip olan kadınların sağlıklı vücut yapısına sahip bireylere kıyasla daha yüksek bir mortalite riskine sahip olduğunu göstermiştir. Ancak, sarkopeni ve sarkopenik obezite ile bağlantılı mortalite riski

erkeklerde istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar elde edilmemiştir (Elmas, 2018). Bu bulgular, sarkopeni ve obezitenin birleşiminin kadınlarda sağlık açısından önemli bir risk faktörü olabileceğini göstermektedir.

Fiziksel aktivite, iskelet kaslarının kasılmaları sonucunda gerçekleşen hareketlerdir ve vücutta enerji harcamasını artırmaktadır. Araştırmacılar, düşük fiziksel aktivite düzeyine sahip yaşlı bireylerin, daha yüksek fiziksel aktivite düzeyine sahip yaşlı bireylerle karşılaştırıldığında azalan kas kütlesi ve kuvvetine sahip olduklarını ve sarkopeninin daha rahat geliştiğini göstermektedir (Rolland et al., 2008). Bu çalışmalar, fiziksel aktivitenin yaşlılık döneminde sarkopeni riskini etkileyebileceğini ve düzenli egzersiz yapmanın kas kütlesi ve fonksiyonunu korumada önemli bir rol oynayabileceğini vurgulamaktadır. Buna karşılık, örneğin Friedman ve arkadaşları tarafından yapılan araştırmada yaşlılarda kuvvet antrenmanı ile kas kütlesi, kuvvet ve kas kalitesinin önemli ölçüde iyileştiği bildirilmektedir (Friedman et al., 1985). Diğer taraftan kas protein sentezini (Yarasheski et al., 1993; Hasten et al., 2000), kas kütlesini ve gücünü (Jozsi et al., 1999; Hagerman et al., 2000) artırdığı bildiren çeşitli çalışmalar da mevcuttur.

Fiziksel performansın değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan testler arasında kısa fiziksel dayanıklılık artırıcı, genel yürüme hızı, altı-dakika yürüme testi ve merdiven tırmanma gücü testi yer almaktadır. Bu testler, kişinin günlük yaşam aktivitelerindeki bağımsızlık düzeyini saptayan işlevsel aktiviteleri değerlendirmektedir. Bu aktivitelerdeki bağımsızlık seviyeleri, bireyin yaşamın günlük aktivitelerine katılım düzeylerini ve yaşam kalitesini etkileyen önemli faktörlerdir (Dişçigil ve Sökmen, 2017). Yaşlı bireylerde en yaygın kullanılan egzersiz türü, progresif dirençli egzersizdir. Liu ve arkadaşları tarafından yapılan araştırmada Cochrane meta-analizi yapılarak, 121 adet randomize kontrollü çalışma incelenmiş ve bu egzersiz türünü uygulayan ileri yaşta olan bireylerde merdiven tırmanma kuvveti, fiziksel fonksiyon, zamanlı kalk ve yürü testi ve yürüme hızında düzelme olduğu ve en önemlisi kas gücünün fark edilir biçimde arttığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada ek olarak, kas kuvveti artışının sürdürülebilmesi için egzersizleri yoğun bir şekilde sürdürmenin zorunluluğuna dikkat çekilmiştir (Liu et al., 2009). Roth ve arkadaşları, 65 ile 75 yaş arasındaki sağlıklı yaşlıların orta seviyede egzersiz yapmaları durumunda, kas kuvveti ve güçlerinde 20-30 yaş aralığındaki gençlerle benzer düzeyde artış olduğunu gösteren bir çalışma gerçekleştirmişlerdir (Roth et al., 2001).

Diğer taraftan Burton ve arkadaşları, egzersiz uygulanan bireylerde motivasyonun büyük bir etkisi olduğuna vurgu yapmıştır, çünkü yaşlılık döneminde egzersize katılımda kişiler isteksiz ve tepkili olabilmektedirler (Burton et al., 2010).

2.1.2. Kas Etkinliğini Değerlendirme Yöntemleri

Sarkopeni, yaşlı nüfusun artışıyla beraber önemli bir sağlık sorunu haline gelmektedir. Ancak sarkopeni tanısında karşılaşılan zorluklardan biri, kas kütlesini ölçmek için kullanılan yöntemler konusunda bir uzlaşının olmamasıdır (Batsis & Villareal, 2018; Barazzoni et al., 2018). Sarkopeni tanısında kullanılacak kolay uygulanabilir ve güvenilir yöntemlerin geliştirilmesi ve ortak tanı kriterlerinin belirlenmesi gerekmektedir (Tüzün, 2019).

Yaşlı bireylerde sarkopeninin getirdiği kas kuvveti azalması, buna bağlı düşmelerin artması ile bireylerin fiziksel fonksiyonlarını kısıtlaması ve günlük yaşam aktivitelerindeki faaliyetlerine direkt olumsuz etkileri olması sebebiyle bu bireylerin kas kütlesinin değerlendirilmesi önem kazanmaktadır (Elmas, 2018). Kas gücü belirli bir zaman diliminde kasın oluşturabileceği maksimum kuvvet miktarıdır. Kas gücü, kas kütlesinden fazla etkilenir. Kas kuvvetinin değerlendirilmesi, kas kütlesinin hızlı bir şekilde kuvvet üretme yeteneğini yansıtan bir ölçüdür (Goodpaster et al., 2001). Sarkopeni tanımında genel olarak kas kütlesi, kas kuvveti dolayısıyla da kas gücü ve fiziksel performans bileşenleri kullanılmaktadır. Bu nedenle özellikle önce kas gücü ve performansı, sonraki aşamada kas kütlesinin miktarı, kalitesi ve kantitesi sorgulanmaktadır. Tüm bunlar yaşamsal fonksiyonlar içinde önem arz etmektedir (Batsis & Villareal, 2018). Kas kütlesinin değerlendirilmesi için antropometrik ölçümler, BT, MRG, DEXA ve BİA gibi yöntemler kullanılmaktadır (Tablo 2.2). Her bir yöntemin avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır (Barazzoni et al., 2018).

Tablo 2. 2. Kas kütlesi, kuvveti ve fonksiyonunun değerlendirilmesinde kullanılan testler (Elmas, 2018)

Ölçülen faktörler	Klinik-pratikte kullanılan testler	Araştırma amaçlı kullanılan testler
Kas kütlesi	- BİA	-BT
	-DEXA	-MRG
	-Antropometrik ölçümler	-DEXA
		- BİA

Kas kuvveti	-El kavrama gücü testi	- El kavrama gücü testi -Diz ekstansiyon kuvveti
Fiziksel performans	-Yürüme hızı testi -Zamanlı kalk ve yürü testi	-Yürüme hızı testi -Kalk ve yürü testi -Merdiven tırmanma testi

Sarkopeni tanısı için görüntüleme teknikleri (BT, MR, DEXA, BİA) ve geleneksel, zamana dayalı antropometrik ölçümlerin yanı sıra fiziksel performansın değerlendirilmesinde hareket ve kas gücü testleri de kullanılabilmektedir (Dişçiğil ve Sökmen, 2017).

Kas kütlelerinin değerlendirilmesi için EWGSOP tarafından önerilen bir yöntem, BİA olarak bilinen biyoelektrik impedans analizidir. Bu yöntem, basit, invaziv olmayan, ekonomik, hızlı ve taşınabilir bir tanı aracıdır. Ancak, bireylerin hidrasyon durumundan etkilendiği bilinmektedir (Choi, 2013; Batsis & Villareal, 2018). BİA'nın bir diğer dezavantajı ise, özellikle obez bireylerde kas dokusunda yağ birikimi nedeniyle sarkopeni tanısının gözden kaçmasına yol açabilmesidir (Barazzoni et al., 2018; Batsis & Villareal, 2018). Bu nedenle, sarkopeni tanısı için BİA yönteminin kullanım alanının kısıtlı olduğu bilinmektedir ve kas kütlesi, yağ dokusu, vücut suyu gibi ölçümler yapılan bu yöntemin güvenilirliği de sınırlıdır. Sarkopeni tanısında uygulanan kas kütlelerinin değerlendirilmesinden biri olan DEXA, EWGSOP ve FNIH (Ulusal Sağlık Enstitüleri Vakfı (The Foundation for the National Institutes of Health) tarafından önerilmektedir ancak maliyet ve ulaşılabilirlik gibi dezavantajları bulunmaktadır (Barazzoni et al., 2018; Batsis & Villareal, 2018). Taşınabilir olmaması, ölçümün hastanın hidrasyon durumundan etkilenmesi ve hastanın radyasyon maruziyeti de yöntemin dezavantajları olarak sayılabilmektedir (Cruz-Jentoft et al., 2019; Yılmaz, 2019).

Üst kol, baldır ve deri kıvrım kalınlığı gibi antropometrik ölçüm yöntemleri sarkopeni tanısında kullanılsa da, özellikle obez bireylerde hata payı yüksek olduğundan dolayı önerilmemektedir (Choi, 2016; Barazzoni et al., 2018). Sarkopeni tanısı için bilgisayarlı tomografi ve manyetik rezonans görüntüleme gibi radyolojik yöntemler altın standart kabul edilmesine rağmen, radyasyon içermeleri ve maliyetli olmaları nedeniyle yaygın olarak kullanılması önerilmemektedir (Choi, 2013; Batsis and Villareal, 2018). Kas kuvvetinin değerlendirilmesinde kullanılan bir diğer test, "sandalyeden kalkma testi"dir. Bu test, bireyin sandalyeden 5 kez kalkıp oturması için

gereken süreyi ölçerek alt ekstremitelerin kas kuvvetini yansıtabilir (Kutsal vd., 2020). Kas gücü ve performans ölçümleri olarak; belirli sürede sandalyeye belirli sayıda oturup kalkma, belirli bir mesafeyi belirli bir sürede yürüme testi ya da el kavrama aleti ile belirli bir ağırlığı kaldırma gücü gibi değerlendirmeler yapılmaktadır. Ancak çoğu hastayı kaldırıp yürütmek ya da sandalyeye oturup kaldırmak güçtür, özellikle yatağa bağımlı olan hastalarda bu oldukça zordur. Kas kantitesini ve kalitesini ölçmek, ayrıca kas erimesini belirlemek için geniş çapta kabul gören bir araştırma tekniği USG'dir (Cruz-Jentoft et al., 2019). Kuyumcu tarafından 2014 yılında gerçekleştirilen bir tez çalışmasında, sarkopeni tanısında kas ultrasonografisinin güvenilirliği incelenmiştir. USG, sarkopenik yaşlı hastalarda kas mikromimarisinde meydana gelen değişiklikleri değerlendirmek için uygun bir yöntem olarak kabul edilmiş ve sarkopeni tanısında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (Kuyumcu, 2014).

Tablo 2.3'te EWSGOP2 çalışma grubu tarafından belirlenen sarkopeni tanılaması için kesim-cut off değerleri verilmiştir (Cruz-Jentoft et al., 2019).

Tablo 2. 3. EWSGOP2 sarkopeni tanılamasında cut-off değerleri (Cruz-Jentoft et al., 2019)

Test	Kadınlar için cut-off değeri	Erkekler için cut-off değeri
Kas kütlesi		
Apendiküler iskelet kası kütlesi	<15 kg	<20 kg
Kas kuvveti		
El Kavrama Gücü (EKG)	<16 kg	<27 kg
Sandalyeden kalkma	>15 sn (5 kez)	
Fiziksel performans		
Zamanlı kalk ve yürü	>20 s	
4 metre yürüme hızı	≤0,8 m/s	

2.1.2.1. El Kavrama Gücü Ölçümü

Sarkopeni tanımında yer alan parametrelerden biri kas gücü ölçümüdür (Batsis and Villareal, 2018). Kas kuvvetinin azalması tespiti için el kavrama gücü ölçümü, ideal bir test olarak kabul edilmektedir ve bu ölçüm genellikle Jamar dinamometresi kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Hirschfeld et al., 2017). Kas gücü ölçümü, kolay

uygulanabilir, erişilebilir ve güvenli bir yöntem olmakla birlikte, sarkopeni tanısında kullanılan cut-off değerleri arasında, yapılan araştırmalarda farklılıklar görülmektedir. Yapılan araştırmalarda, sarkopeni tanısında kas gücü için kadınlarda <16-20 kg ve erkeklerde <26-30 kg arasında değişen cut-off değerleri aralığı belirlenmiştir (Choi, 2013; Batsis and Villareal, 2018). Bu tez çalışmamızda Tablo 2.3'teki el kavrama gücü cut-off değerleri değerlendirme kriteri olarak kabul edilmiştir.

Kavrama kuvvetinin ölçülmesi, el fonksiyonlarının değerlendirilmesinde uzun yıllardır kullanılan bölgesel bir yöntemdir. Kavrama kuvvetinin ölçümü hızlı, kolay ve güvenilir ve objektif veri sağlamaktadır. Elde maksimum kavrama kuvveti, yaş ve cinsiyete bağlı olarak önemli ölçüde değişebilmektedir. Bu değişikliklerin en önemli nedenlerinden biri, yaşlanma sürecinde kas kütlesi ve kas kuvvetinin azalmasıdır. Yaşlanma ile birlikte, güç oluşumunda önemli bir rol oynayan Tip II kas liflerinin azalması, kas liflerinde yağ dokusunun artması, kas kuvvetinde ve kas kütlesinde azalmaya yol açmaktadır. (Mathiowetz et al., 1984; 1985). El kavrama gücü ölçümü fonksiyonel beslenme değerlendirmesinde yararlı ve beslenme durumundaki kısa vadeli değişikliklere duyarlıdır. Üretilen mukavemet derecesini etkileyen çeşitli faktörler vardır ve kavrama mukavemeti ölçümlerinin tekrarlanabilirliği ve kavrama mukavemetini ölçmek için metodolojiyi standartlaştırmak için girişimler yapılmıştır. 1981'de Amerikan El Terapistleri Derneği, deneğin omuz gövdeye bitişik ve nötral rotasyonda dirseğin 90°C'de büküldüğü ve önkol ve bileğin nötral pozisyonda olarak oturduğu bir test protokolünü önermiştir (Fess, 1981; Hillman et al., 2005). Düşük el kavrama kuvveti, düşük hareketlilik ve düşük kas kütlesiyle ilişkilendirilmektedir (Lauretani et al., 2003).

2.1.2.2. Antropometrik Ölçümler

Antropometrik ölçümler, beslenme durumunun belirlenmesinde önem taşımaktadır. Büyüme, gelişim, yağsız vücut dokusu, yağ dokusu miktarı ve vücutta dağılımının göstergeleridir. Vücut ağırlığı, boy uzunluğu, üst orta kol çevresi, bel çevresi, kalça çevresi ve deri kıvrım kalınlıkları gibi ölçümler sıkça kullanılan yöntemlerdir. Antropometrik ölçümler, düzenli ve sürekli bir şekilde uygulandığında kişinin beslenme durumu sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilmektedir (Pekcan, 2008). Referans değerler 18-74 yaş grubu kadın ve erkekler için Ek 1'de verilmiştir.

Bu ölçüm yöntemi, genellikle vücut kompozisyonunu değerlendirmek için kol veya baldır çevresi gibi ölçümleri içerir. Bununla birlikte, ölçüm yapılan bireylerde

yaşa bağıli değişkenlikler, vücuttaki yağ birikimi veya cilt elastikiyetindeki kayıplar nedeniyle hatalı ölçümlere yol açabilir. Bu değişkenlikler nedeniyle yaşlı bireylerde tek başına güvenilir bir ölçüm yöntemi olarak kabul edilmesi konusunda farklı görüşler bulunmaktadır; ancak yine de yaygın bir yöntemdir. Kadınlarda kol çevresinin 23 cm ve altı, erkeklerde ise 24 cm ve altı olması sarkopeni ile ilişkilendirilebilir. Sarkopenik bireylerin, sarkopenik olmayanlara göre daha zayıf (düşük vücut ağırlığı ve beden kütle indeksi) olduğu ve üst kol çevresinin daha düşük olduğu gözlenen bir bulgudur. Bu bulgular, daha önce yapılan çalışmaları doğrulamaktadır (Morley, 2008; Rolland et al., 2008; Cruz-Jentoft et al., 2010; Söyleme, 2020).

Bu tez çalışmamızdaki, antropometrik ölçüm kriterleri Ek 1’de verilen persentil değerlerine göre oluşturulmuştur.

2.1.2.3. Radyolojik Görüntüleme Yöntemleri

Kas miktarını ölçmek için sarkopeni tanısında DEXA, BT, USG ve MRG gibi çeşitli radyolojik görüntüleme yöntemleri kullanılmaktadır (Messina et al., 2018). Sarkopeni şüphesi olan durumda vücut kompozisyonu (VK) değerlendirmesi için bu yöntemler kullanılmaktadır. Moleküler düzeyde VK değerlendirmesi için en yaygın kullanılan teknik DEXA’dır. DEXA, VK’nin yağ kütlesi, yağ dışı kütle ve vücut mineral içeriği gibi üç bileşenli modelini sağlamaktadır. Fakat bu üç bileşenin doğrudan ölçüm sağlamadığı için DEXA, VK ölçümü için altın standart bir yöntem değildir. Sarkopeni tanımı, hem kas kütlesi hem de kas kalitesindeki azalmayı içermektedir. Kas kütlelerinin nicel değerlendirmesi DEXA ile yapılmaktadır (Petak et al., 2013).

BT ile üçüncü lomber vertebra görüntülemesi, kas kütlelerini ölçmek için kullanılan çeşitli yöntemlerden biridir. Özellikle kanser tanısı konmuş hastalarda, tümörleri ve tedavi yanıtlarını görüntülemek için sıklıkla BT kullanılmaktadır (Cruz-Jentoft et al., 2019). Bu görüntülemelerde, özellikle üçüncü lomber kesit görüntülemeleri, tüm vücut kas kütleleriyle anlamlı bir şekilde ilişkilidir (Mourtzakis et al., 2008; Fearon et al., 2011). BT ve MRG (manyetik rezonans görüntüleme), yağ ve yağ dışı kütlelerin bölgesel ve toplam ölçümünü sağlayarak iskelet kas kütlelerini niceliksel olarak ölçmede altın standart kabul edilmektedir. Fakat her iki yöntem de maliyetli ve zaman gerektiren işlemler olduğu için genellikle araştırma amaçlı tercih edilmektedir (Suetta et al., 2019).

2.2. Termal Görüntüleme

Termal görüntüleme Ring tarafından gözden geçirilmiştir ve termal görüntüyü tasvir etmek için termogram terimini kullanmıştır. (Ring, 1990;2000). Kızılötesi termal görüntüleme, nesnenin ya da malzemenin sıcaklık haritalamasını sağlayan süreçlerin temassız, hızlı, invaziv olmayan ve tahribatsız bir şekilde izlenmesidir (Puri et al., 2005). Son yıllarda ise, kızılötesi görüntüleme ekipmanlarının performansında, tekniğin standardizasyonunda ve termal görüntüleme için klinik protokollerde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Vücut yüzeyindeki sıcaklık dağılımının fizyolojik mekanizmaları artık daha iyi anlaşılmaktadır. Bu, tanımlanmış bozukluklarda termal görüntülemenin tanısal doğruluğu için daha fazla kanıt ile sonuçlanmıştır. Bir sonuç ölçüsü olarak sıcaklık haritalamasının değeri de belirlenmiştir (Ring & Ammer, 2012).

Termal kameralar, insan gözüyle algılanamayan objelerin yaydığı termal radyasyonu tespit ederek, son derece az sıcaklık farklılıklarını dahi görüntüleyebilen cihazlardır (Çaylı vd., 2016). Termal kameralar ortamın durumunu siyah-beyaz veya renkli göstermektedirler. Renkli olarak gösterdiği durumlarda, ortam sıcaklığına bağlı olarak mavi, sarı ve kırmızı renkleri kullanarak geçiş yapmaktadır. Mavi renk en soğuk bölgeleri temsil ederken, sarı renk en sıcak bölgeleri ve kırmızı renk ise aradaki sıcaklık değerlerini göstermektedir (Çalışan, 2013).

Termal kameraların yapısal farklılıkları olsa da, sonuç olarak diğer kameralar gibi görüntü oluşturabildikleri için, görüntünün çözünürlüğü analiz bakımından büyük bir öneme sahiptir. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, termal kameraların çözünürlükleri geliştirilmiştir. Artık 160x120 piksel ve 320x240 piksel çözünürlüklü termal kameralar mevcuttur. Ancak, termal kamera teknolojisindeki çalışmalar sonucunda en yüksek çözünürlük 640x480 piksel olarak ulaşılmıştır. Bu çözünürlük, toplamda 307.200 piksele sahip olmasıyla daha uzaktaki detayları daha iyi gözlemlemeyi sağlamaktadır (Çalışan, 2013).

2.2.1. Elektromanyetik Spektrum

Tarama ve görüntüleme teknikleri tıbbi uygulandığında, insan vücudunu etkileyen bazı kritik hastalıkların teşhisinde yardımcı olmaktadır. Radyolojik görüntüleme teknikleri, iç anatomi ve organların görünürlüğü, tümörleri ve diğer anormallikleri tespit etmek için elektromanyetik spektrumu kullanmaktadır. Şekil 2.1'de elektromanyetik spektrum ve tıbbi modaliteler (X-ışını, USG, termal

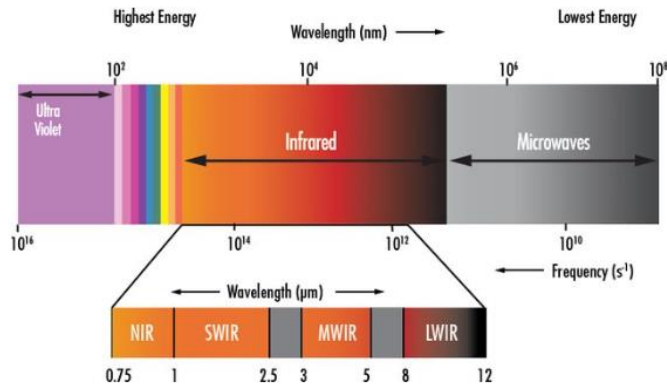
görüntüleme, BT, MRG gibi) arasındaki ilişki görülmektedir. Bu çeşitli tıbbi yöntemler insan vücudunun anatomisini test etmek için spektrumun bölümlerini kullanmaktadır (Dey et al.,2017).



Şekil 2. 1. Elektromanyetik spektrum ve tıbbi modaliteler arasındaki ilişki (Dey et al., 2017)

2.2.1.1. Kızılötesi Spektrum

Kızılötesi ışınım, mikrodalgalarla daha kısa olmakla birlikte, dalga boyu görünür ışıktan uzun olan elektromanyetik bir ışınım türüdür (Wikipedia, 2021). Kızılötesi ışınımın dalga boyu görünür alan (≈ 750 nm) ile mikrodalga alanı (≈ 1 μ m) arasındadır (Mouahid, 2018). Şekil 2.2’de dalga boyuna dayalı elektromanyetik spektrum kategorilerinden kızılötesi spektrum gösterilmektedir.



Şekil 2. 2. Kızılötesi spektrum (Mouahid, 2018)

Nesneler oldukça geniş bir spektrumda kızılötesi ışınım yaymaktadırlar, fakat algılayıcılar sadece belirli bant genişliklerini algılayabildikleri için genellikle kızılötesinden anlatılmak istenen belirli bantlardır. Dolayısıyla kızılötesi spektrum daha küçük alt bantlara ayrılmıştır (Wikipedia, 2021). Bunlar; yakın dalga boylu IR

(NIR), kısa dalga boylu IR (SWIR), orta dalga boylu IR (MWIR) ve uzun dalga boylu IR (LWIR) olarak ayrılmaktadır.

Termal kamera sistemlerinin çalışma prensiplerini anlamamanın yanı sıra, her bandın farklı bir dalga boyu aralığına sahip olduğu dikkate alınmalıdır. Dolayısıyla, kullanım amacına göre doğru bandın seçilmesi ve seçilen bandın gerektirdiği görüntü iyileştirme tekniklerinin uygulanması önemlidir (Çalışan, 2013).

2.2.2. Termal Kameraların Fiziksel Temelleri

Termografi terimi, "sıcaklık resmi" anlamına gelen kelimelerin köklerinden türetilmiştir. Termografinin kökeni, 1800'lerde güneş ışığıyla yapılan deneylerle ilişkilendirilen Alman gökbilimci Sir William Herschel'e dayanmaktadır (Alan, 2012). Hassas, civalı bir termometre kullanarak Herschel, güneş ışığını bir prizmadan geçirerek her renk için sıcaklığı ölçtü ve termometreyi çeşitli renklere tutarak kızılötesi ışımayı keşfetti. Herschel, kızılötesi ışımanın, "dark heat" olarak adlandırdığı bir alanda kırmızı ışığın ötesine doğru hareket ettiğinde sıcaklığın yükseldiğini gözlemledi. "Dark heat" şu anda infrared ısı olarak tanınan ve elektromanyetik spektrumun bir bölgesi olan elektromanyetik ışımayı ifade etmektedir (Çalışan, 2013).

Termal kameralar, Planck Yasası, Wien yer değiştirme yasası ve Boltzmann denklemlerine dayanarak uygun ayarlamalarla cisimlerin sıcaklık dağılımlarını elde etmemizi sağlar. Bu denklemler, kızılötesi ışıma tekniklerinin temel prensiplerini açıklamaktadır. Planck Yasası, bir cismin birim yüzeyde 1 mikro dalga boyu aralığında yaydığı ışının spektral dağılımını tanımlamaktadır. Wien yer değiştirme yasası ise, bir cismin ışımanın spektral dağılımının maksimum değerinin dalga boyu ile ilişkisini açıklamaktadır. Boltzmann denklemi ise, bir nesnenin 1cm^2 yüzeyinin yaydığı toplam enerjiyi ve nesnenin kendinde barındırdığı enerjinin ne kadarının ışıma yaptığını belirlemektedir. Bu temel prensipler, termal kameraların cisimlerin sıcaklık dağılımlarını algılayabilmesini ve görüntüleyebilmesini sağlamaktadır. Bu sayede termal kameralar, kızılötesi ışımanın ölçülmesi ve analiz edilmesi için kullanılan önemli araçlardır (Hurnik et al., 1984; Şirel vd., 2001). Termal kameralar, öncelikle insan gözünün algılamadığı elektromanyetik ışınları tespit etmektedir. Daha sonra, çeşitli matematiksel algoritmalar kullanılarak bu veriler gözle algılanabilir bir görüntüye dönüştürülmektedir ve çoğunlukla JPG (joint photographic expert group) formatında kaydedilmektedir (Çalışan, 2013).

2.2.2.1. Planck Yasası

Planck yasası, belirli bir tek sıcaklıkta %100 IR radyasyonu yayan bir kara cisim kaynağından gelen radyasyonun spektral dağılımını sunmaktadır (Modest, 1993). IR kaynakları, farklı sıcaklıklarda binlerce nokta kaynağından oluşmaktadır ve bunlar birleştirilerek, belirli bölgeler için bütün bir spektral dağılım elde edilebilmektedir. Bu nedenle, IR radyasyonunu karakterize etmek için ortalama bir yüzey sıcaklığı ve emissivite değeri kullanılarak spektral dağılımın bir yaklaşımı kullanılabilmektedir. Max Planck (1901), yaygın olarak Planck yasası olarak bilinen spektral kara cisim yayan güç dağılımını, kırılma indisi n olan şeffaf bir ortamla sınırlanan siyah bir yüzey için şu şekilde bildirmiştir:

$$E_{b\lambda}(T, \lambda) = \frac{2\pi hc_0^2}{n^2 \lambda^5 [e^{hc_0/n\lambda kT} - 1]} \quad (2.1)$$

Burada k , Boltzmann sabiti (1.3806×10^{-23} J/K) olarak bilinir ve n , ortamın kırılma indisidir. λ dalga boyudur (μm), T kaynak sıcaklığıdır ($^\circ\text{K}$), c_0 ışık hızıdır (km/s) ve h Planck sabitidir (6.626×10^{-34} J.s). Şekil 2.5 (a), bir dizi kara cisim sıcaklığı için yukarıda verilen denkleme dayanan Planck eğrisini göstermektedir. Genel olarak, yayma güç seviyesi bir sıcaklık artışı ile yükselirken, karşılık gelen maksimum yayma gücün dalga boyu daha kısa dalga boylarına doğru kaymaktadır. Dikkate alınan belirli bir bölgedeki toplam IR yayma gücü miktarı, dalga boyuna göre belirli bir sıcaklıkta Planck yasasının entegrasyonu ile tahmin edilebilmektedir (Pan & Atungulu, 2010).

Isıtma elemanının belirli bir yüzey sıcaklığı bilindiğinde toplam ışınsal ısı akışı miktarını tahmin etmek için Planck yasası uygulanabilmektedir. IR kaynağından yayılan enerji miktarını değerlendirmek için, dalga kılavuzu olarak bilinen bir taşıma odasından alıcı uçtaki nesne yüzeyine orantılı olarak yönlendirilen bir enerji dengesi, görüntüleme faktörü olarak bilinmektedir. Bu nedenle, nesne tarafından emilen gerçek ısı akışı miktarı, toplam yayma gücü hesaplanarak tahmin edilebilmektedir ve kaynaktan hedefe faktörleri görüntüleyebilmektedir (Pan & Atungulu, 2010).

2.2.2.2. Wien Yer Değiştirme Yasası

Wien yer değiştirme yasası, bir kara cisim tarafından yayılan radyasyonun

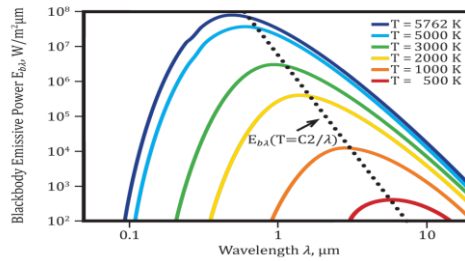
spektral dağılımının maksimum yayma gücüne ulaştığı dalga boyunu (tepe dalga boyu) vermektedir. Eğrilerin maksimumu (Şekil 2.3 (a)), aşağıdaki denklemin farklılaştırılmasıyla belirlenebilmektedir:

$$\frac{d}{d(n\lambda T)} \left(\frac{E_{b\lambda}}{n^3 \lambda^5} \right) = 0 \quad (2.2)$$

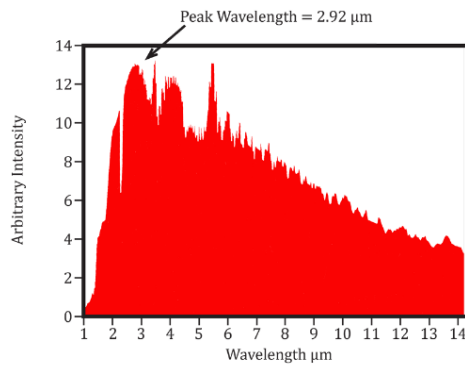
İstenen bir spektral dağılım için gereken IR ışıkların kaynak sıcaklıkları,

$$\lambda_{max} = \frac{2898}{T} \quad (2.3)$$

denklemini ile tahmin edilebilmektedir (Modest, 1993). Burada T kaynak sıcaklığıdır ve λ_{max} tepe dalga boyudur. Kaynak sıcaklığı biliniyorsa, tepe dalga boyu bu denklemden türetilmektedir. Şekil 2.3(a) 'daki noktalı çizgi, kaynak sıcaklığı ile tepe dalga boyu arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Denkleme ve çizime (Şekil 2.3 (b)) dayanarak, 2.92 μm 'lik bir tepe dalga boyu ve 720 °C'lik karşılık gelen IR kaynak sıcaklığı elde edilmektedir (Pan & Atungulu, 2010).



(a)



(b)

Şekil 2. 3. (a) Kara cisim yayma gücü spektrumu (Wein şeması) ve (b) IR ısıtma elemanlarının ölçülen yayma gücü spektrumu (Pan & Atungulu, 2010)

2.2.2.3. Stefan-Boltzmann Yasası

Termal kameralar algılayıcısına odaklanan yüzeyin yaydığı enerjiyi (radyasyonu) ölçen aletlerdir. Bir termal kamerada, kızılötesi sensörler nesnelerin yüzeyinden yayılan toplam IR radyasyonu almaktadır. Bu toplam radyasyon miktarı, nesnenin emisyonu ve sıcaklığı ile doğrudan ilişkilidir. Ölçülen radyasyonun sıcaklıkla ilişkisi verilen Stefan-Boltzman Yasası,

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \quad (2.4)$$

eşitliği ile ifade edilebilmektedir (Guyot, 1998; Dey et al., 2017). Eşitlikte; E: Yüzeyden yayılan toplam radyasyon miktarı (W/m^2), ε : Yüzeyin emissivitesi (boyutsuz), σ : Stefan-Boltzman sabiti ($5,67 \times 10^{-8} W/m^2K^4$) ve T: Mutlak sıcaklık (K)'dir. Stefan-Boltzmann yasası, bir IR kaynağından belirli bir sıcaklıkta yayılan toplam gücü vermektedir.

2.2.2.4. Kirchhoff Kanunu

Termal kameraların düzgün çalışabilmesi için bazı faktörler önemlidir. Bunlar görüntülemenin temeline dayanan absorptivite(soğurma), emisyon, geçirgenlik ve yansıma gibi kavramlardır. Bu faktörler, farklı nesneler veya malzemeler için değişmektedir. Bir cismin yayma ve emme yetenekleri, termal enerjinin transferini etkileyen önemli faktörlerdir. Kirchhoff kanunu, bir nesnenin soğurma (η), yansıtma (ς) ve geçirgenliği (ξ) arasındaki ilişkiyi şu şekilde ifade etmiştir:

$$\eta + \varsigma + \xi = 1 \quad (2.5)$$

Bir nesnenin termal dengesinde, absorpsiyon emisyonu eşittir. Bu kanun birkaç termografik uygulamada basitleştirilebilir, opak nesneler için denklem şu şekilde ifade edilebilir:

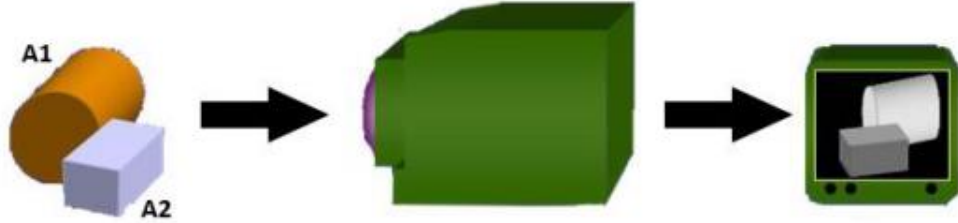
$$\eta + \varsigma = 1 \text{ or } \Psi + \varsigma = 1 \quad (2.6)$$

Burada, Ψ nesnenin emisyonudur (Dey et al., 2017).

2.2.3. Termal Kameraların Çalışma Prensipleri

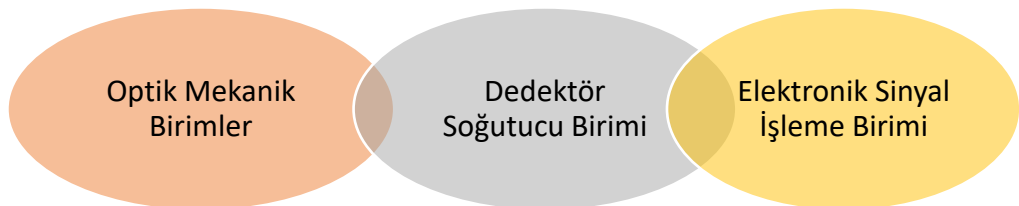
Termal kameralar, elektromanyetik spektrumun infrared bölgesinde yayılan elektromanyetik ışınımı algılar ve bu ışınımı kullanarak görüntüler oluşturmaktadır. Kızılötesi ışınım, cisimlerin sıcaklığına bağlı olarak yayılır ve termografi, cisimleri görünür aydınlatma olmadan bile görünür kılmaktadır. Bir cisimden yayılan ışınım

miktarı, sıcaklık arttıkça artmakta, bu nedenle termografi sıcaklık değişikliklerini gözlemlemeyi mümkün kılmaktadır. Sıcak cisimler, termal bir kamera tarafından görüntülendiklerinde daha soğuk bir arka plana karşı belirgin bir şekilde öne çıkmaktadır (Şekil 2.4) (Çalışan, 2013).



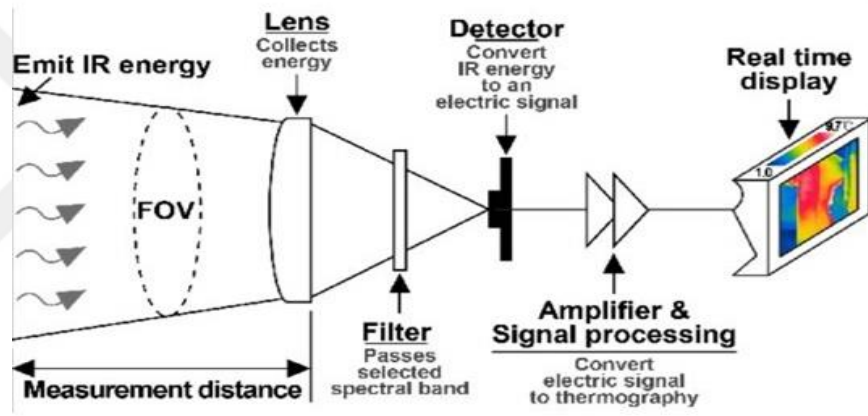
Şekil 2. 4. Termal görüntüleme cihazıyla elde edilen görüntülerde, farklı A1 ve A2 nesnelerinin sıcaklık dağılımları görsel olarak görünümü (Şirel vd., 2001)

Termal görüntüleme cihazıyla elde edilen görüntülerde, farklı A1 ve A2 nesnelerinin sıcaklık dağılımları görsel olarak farklı şekillerde görüntülenir. Şekil 2.5'te bir termal kamerasının blok yapısı verilmiştir. Termal kameralar, optik-mekanik birimler, dedektör soğutucu birimleri ve elektronik-sinyal işleme birimleri içeren bir dizi bileşenden oluşmaktadır. Optik-mekanik birimler, kamera merceği, ekran, veri işleme, rapor oluşturma, kumanda araçları gibi yazılımları içermektedir. Dedektör soğutucu birimleri, dedektörün sıcaklık kontrolünü sağlamak için kullanılmaktadır. Elektronik ve sinyal işleme birimi, dedektörden gelen elektrik sinyalini görüntüye dönüştürmekle görevlidir. Bu birim, gerçek zamanlı sayısallaştırma, saniyede 25 milyon görüntü bilgisinin işlenmesi, sayısal işaret işleme ve programlanabilir entegre devrelerin kullanımını içerebilmektedir. Termal kameralar tarafından edinilen görüntüler genellikle gri tonlamalı, gürültülü ve bulanık olabilmektedir. Bu nedenle, kenar bulma, gürültü filtreleme, karşıtlık artırma, histogram manipülasyonu ve sahte renklendirme gibi teknikler kullanılarak görüntülerin iyileştirilmesi gerçekleştirilmektedir (Vural, 2009; Çalışan, 2013).



Şekil 2. 5. Termal kameraların blok yapısı

Isınan cisimler elektromanyetik radyasyon yayarak termal enerji ile kendilerini ortaya koymaktadırlar. İnsan da belirli bir sıcaklığa sahip bir nesne olarak düşünüldüğünde, vücuttan yayılan kızılötesi enerji, kızılötesi merceklerle toplanmaktadır ve bir döner ayna üzerine odaklanmaktadır. Bu ayna, enerjiyi dedektör yüzeyine yansıtmakta ve dedektör yüzeyinden elektron çıkışına neden olmaktadır. Böylece, ışık elektrik sinyaline dönüştürülmektedir. Bu elektrik sinyalleri önce bir ön yükselteç ve ardından bir son yükselteçten geçirilerek güçlendirilmektedir. Son olarak, bu sinyaller bir LED (light emitting diode(ışık yayan diyet)) dizisine düşürülerek görünür ışığa dönüştürülmektedir. Optik aparatlar kullanılarak, LED dizisinin çıkışı bir filme kaydedilebilmektedir veya bir televizyon kamerası yardımıyla gerçek zamanlı bir görüntü elde etmek için kullanılabilir (Çalışan, 2013). Bunlar, Şekil 2.6'da termal kameraların şematik diyagramında görülmektedir.



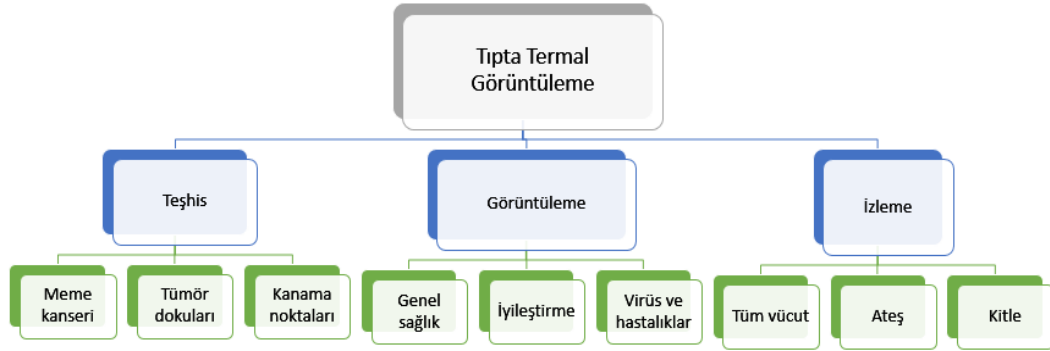
Şekil 2. 6. Termal kameraların şematik diyagramı (Jo et al., 2013)

2.3. Tıpta Kızılötesi Termal Görüntüleme Uygulamaları

Tıpta kızılötesi termal görüntüleme, cilt yüzey sıcaklığını gösteren güvenilir bir grafik haritalama aracıdır. Doktorların cilt yüzeyindeki sıcaklık değişimlerini renk olarak görselleştirmelerine yardımcı olmaktadır. Renk spektrumu hem soğuk hem de sıcak tepkileri göstermektedir. Şekil 2.7'de, tıbbi alanda aşağıdaki gibi çeşitli kullanımları göstermiştir:

- i) meme kanserinin erken teşhisinde,
- ii) iyileşme süreçlerinin izlenmesi,
- iii) genel sağlıktaki değişikliklerin izlenmesi, virüs ve hastalığın izlenmesi,
- iv) tam vücut taraması,
- v) ateş taraması ve

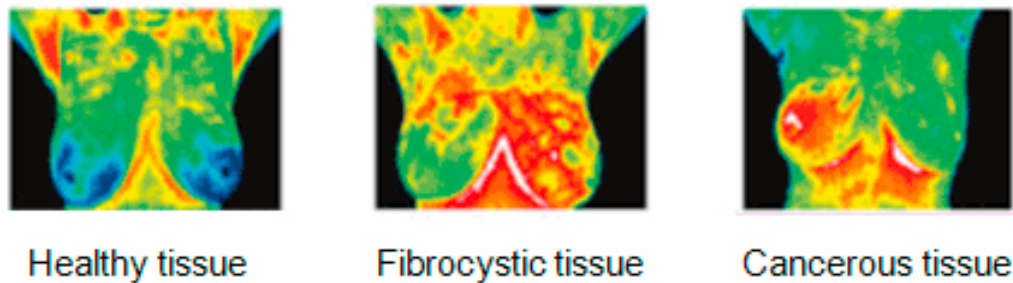
vi) kitle taraması.



Şekil 2. 7. Termal görüntülerin tıpta kullanımı (Dey et al., 2017)

2.3.1. Meme Kanseri

Termal görüntüleme meme kanserini tahmin etmek için etkili bir tarama aracıdır. Çalışmalar, termografinin meme hastalıklarını tespit etmek için tamamlayıcı bir araç olarak kabul edilebileceğini haklı çıkarmaktadır. Meme termografisi tıbbi termografinin en çok uygulanan alanıdır. Bu alan meme kanseri, iyi huylu tümörler ve çeşitli meme hastalıklarını içermektedir. Tümörler meme dokusunun içine gömülü ısı kaynakları gibidir. Termografi meme kanserinin ilk adımlarını diğer tanı yöntemlerinden çok daha erken teşhis edebilmektedir ki erken teşhis, meme kanseri için önemli bir faktördür. Şekil 2.8’de en sağdaki resim meme kanseri olan bir kadını göstermektedir. Klinik doğrulamadan sonra, sağdaki denegin gerçekten meme kanseri olduğu öğrenilmiştir. Kanserli doku, yüksek metabolik aktivite ve kanserli dokunun artan kan akımıyla üretilen ısı nedeniyle kırmızı renkte görünmektedir (Rajmanova et al., 2015).

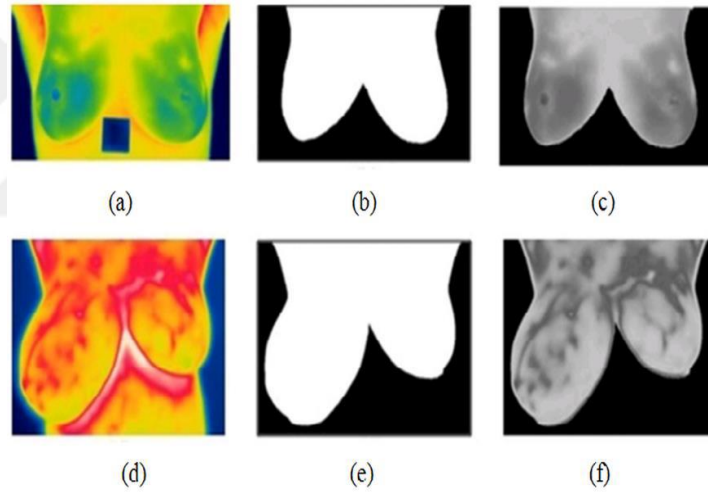


Şekil 2. 8. Meme patolojileri (Rajmanova et al., 2015)

Termal görüntüler genel olarak, meme kanseri tespitinde anormallikler için güçlü göstergelerdir. Meme termografisi, mamografi ile tespit etmeden önce kanser

oluşumunun ilk belirtisini tespit ederek meme dokularındaki erken anormal değişiklikleri tespit etme potansiyeline sahiptir. Meme termografisi, mamografi ve diğer testlere veya prosedürlere ek olarak kullanılabilecek bir risk değerlendirme aracı olarak düşünülebilmektedir. Tespit edilen bölgeleri sıcaklığa göre normal ve anormal olarak sınıflandırmak için sınıflandırma kullanılarak daha ileri görüntü işleme kullanılabilmektedir (Dey et al.,2017).

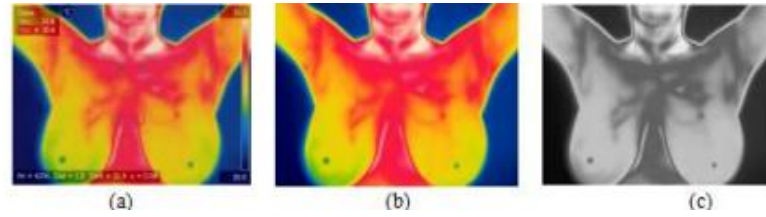
Kapoor vd. (2012), yaptıkları çalışmada meme termogramına maskeleme uygulanmasından sonra bölümlere ayrılan her meme termogramının karşılık gelen ROI(Region Of Interest (İlgi alanı))'si, sırasıyla normal ve anormal görüntüler için Şekil 2.9(c) ve (f)'de gösterilmiştir. Sonuçlar, normal bir meme termogramının sol ve sağ memelerinin özellik değerlerinin oldukça benzer olduğunu, anormal bir meme termogramında ise her iki memenin özellik değerlerinde anlamlı bir fark olduğunu göstermiştir (Şekil 2.9).



Şekil 2. 9. (a) Normal meme termogramı; (b) karşılık gelen meme maskesi; (c) meme bölgesinin arka plandan segmentasyonu; (d) anormal meme termogramı; (e) karşılık gelen meme maskesi ve (f) meme termogramından meme bölgesinin segmentasyonu (Kapoor et al.,2012)

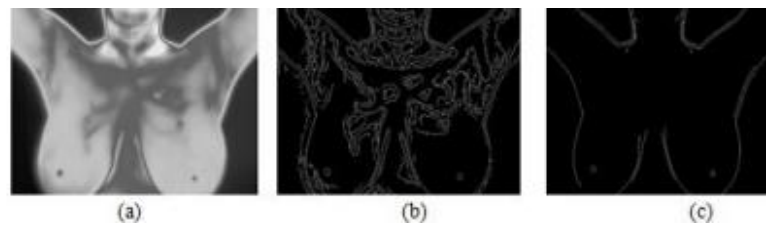
Hossam vd. (2018), yaptıkları çalışmada termografîyi kullanarak meme kanseri analizi için otomatik görüntü segmentasyon yöntemi üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada önce FLIR SC620 termal IR kamera kullanılarak elde edilen meme termogramlarına ön işleme uygulanmıştır. Bu kamera ile, cilt yüzeyinden yayılan IR radyasyonunu elektrik sinyallerine dönüştürüp çıkış görüntüsü bir monitörde renkli olarak görselleştirilmiştir. Yakalanan termogram, piksel başına 24 bit çözünürlüğe sahip 640x480 pikseldir. Orijinal meme termogramları, (Şekil 2.10(a)) 'da gösterildiği

gibi kamera yazılımına göre bazı etiketler ve işaretler içerir. Bu nedenle, bu etiketlerin ve işaretlerin kaldırılması, (Şekil 2,10 (b)) 'de gösterildiği gibi önerilen SM(segmentasyon metodu)'nin ön işleme aşamasında yapılmıştır. Ardından, 8 bit gri tonlamalı görüntüye dönüştürülmüştür. Son olarak, 24 bit renkli görüntüler, karşılık gelen 8 bit gri tonlamalı bir görüntüye dönüştürülmüştür (Şekil 2.10 (c)) (Hossam et al., 2018).



Şekil 2. 10. (a) orijinal meme termogramı, (b) yazılım kullanarak işlendikten sonra görüntüsü, (c) gri tonlamalı görüntü (Hossam et al., 2018)

Kenar algılama adımında ise, termogramdaki nesneler ve arka plan arasındaki hem anahatlar hem de sınırlar algılanmıştır. Gürültüye karşı sağlamlığı nedeniyle burada Canny dedektör uygulanmaktadır. Bu yöntem, güçlü ve zayıf kenarları tanımlamak için iki eşik kullanmaktadır. Zayıf kenarlar, yalnızca güçlü kenarlara bağlıysa çıktıda yer almaktadır. Çok düzgün görüntü elde etmek ve istenmeyen kenarları silmek için bu eşiklerin değerleri değiştirilmiştir. Bu adımın sonuçlarının görüldüğü Şekil 2.11'de Canny yöntemini kullanarak kenar algılama işleminin kullanımı sunulmuştur (Hossam et al., 2018).

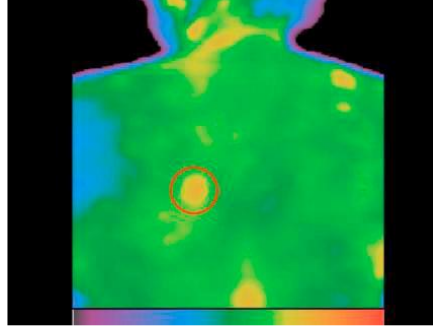


Şekil 2. 11. (a) Orijinal gri tonlamalı görüntü, (b) Eşiksiz Canny yöntemini kullanarak kenar algılama, (c) Eşik değerlerini tanımlayan Canny yöntemini kullanarak kenar algılama (Hossam et al., 2018)

2.3.2. Cilt Hastalıkları

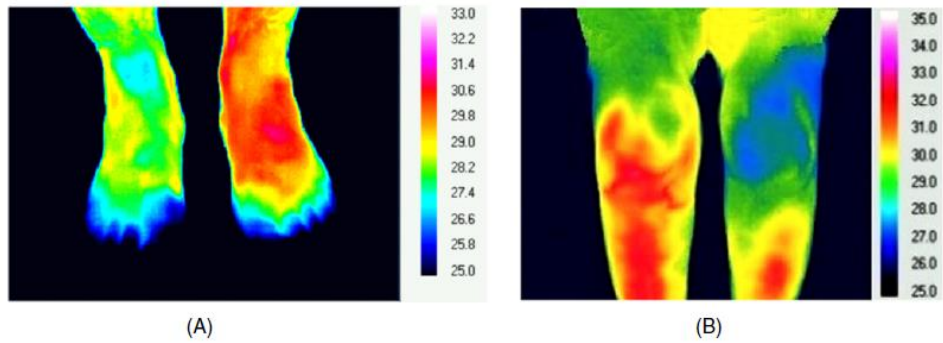
Dermatoloji tıbbında, cilt tümörleri (Şekil 2.12) ve cilt kanserlerinin tespiti ve yara iyileşmesini sağlamak için de doğru düzeyde bilgi almak için kızılötesi termografi kullanılmaktadır. Yara izleri, damarlar, arteriyovenöz anastomozlar ve yaralanmalar gibi kızılötesi görüntüleme ile saptanabilen patolojik olmayan başka yapılar da

mevcuttur (Lahiri et al., 2012).



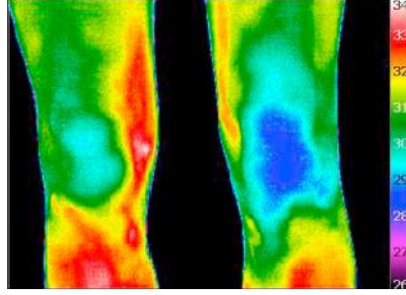
Şekil 2. 12. Cilt tümörleri görülen termogram (Rajmanova et al., 2015)

İlk zamanlardan beri doktorlar, iltihaplanmanın temel belirtilerini, yani ağrı, şişme, ısı, kızarıklık ve işlev kaybını kullanmışlardır. Bir eklem akut olarak iltihaplandığında, sıcaklık artışı dokunuşla kolayca tespit edilebilmektedir. Ama bununla birlikte eklem yüzey sıcaklığında ince değişiklikler meydana gelebilmektedir. Sıcaklıktaki artış ve azalma, inflamasyonun azaltılması veya artmasının doğrudan bir ifadesi olarak tedaviye bağlı değişikliklerin objektif olarak ölçülebileceği gözlenmiştir. Şekil 2.13'teki çalışmanın katılımcıları, 20 dakika boyunca 20 °C'lik bir oda sıcaklığına alışmadan önce 3 km yürümüştür. Termal görüntüde, patella üzerindeki referans sıcaklık, ağrılı diz bölgesindeki sıcaklık okumaları ile karşılaştırılmıştır. Ağrılı ve ağrılı olmayan alanlar arasındaki ortalama sıcaklık farkı 0,8 ile 0,9°C arasında değişmiştir. Artan sıcaklık ile osteoartrit dizlerden gelen radyografilerde ciddi değişiklikler arasında iyi bir korelasyon bulunmuştur (Ring & Ammer, 2012). Daha önce diz veya ayak bileği eklemlerinin osteoarriti olan hastalarda normal deneklere göre daha yüksek sıcaklıklar olduğu bildirilmiştir (Collins et al., 1974).



Şekil 2. 13. (A) Bir spor yaralanmasından sonra ön ayağın kronik iltihabı, (B) Bir dizinin romatoid artriti (görüntünün solunda) (Ring & Ammer, 2012)

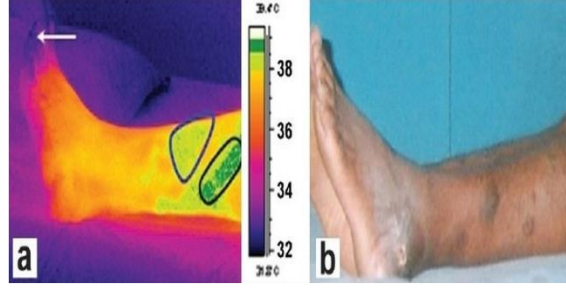
Kızılötesi termal görüntüler özellikle spor hekimliğinde yırtık kas, tenisçi dirseğini gösterebilmektedir. Dirsek içindeki ağırlı kas, termogramdaki sıcak alanlarla ilişkilidir. Şekil 2.14'te diz termogramı ile, dinlenme koşullarında alt kuadriseps kasının zayıf metabolik aktivitesini göstermiştir (Hildebrandt et al., 2010). Bu tez çalışmamıza kas iskelet sistemi hastalıkları için yön veren uygulamalardan biridir.



Şekil 2. 14. Diz termogramı (Hildebrandt et al., 2010)

2.3.3. Periferik Dolaşım

Bagavathiappan vd. (2009), yaptıkları çalışmada invaziv olmayan kızılötesi termografi tanısı kullanarak periferik vasküler hastalıkları incelemiştir. Vasküler bozukluğu olan hastaların etkilenen bölgelerinde sıcaklık gradyanları izlenmiştir. Termal görüntüler, etkilenen bölgedeki anormal kan akışını göstermiştir. Enflamasyon ve altta yatan venöz akış değişiklikleri nedeniyle etkilenen uzuvlardaki belirli bölgelerde artan sıcaklık profilleri gözlenmiştir. Deneysel sonuçlar, etkilenen bölgelerdeki sıcaklık kontrastının, kan dolaşımının yavaşlaması nedeniyle normal bölgelerin yaklaşık 0,7 ila 1°C üzerinde olduğunu göstermiştir. Şekil 2.15 (a), Şekil 2.15 (b) 'de gösterilen etkilenen hastanın bacağına fotoğrafının termal görüntüsünü göstermiştir. Şekil 2.15 (a), ayak parmaklarındaki durgun kan dolaşımını nedeniyle ayak uçları boyunca distal kısımda daha düşük bir sıcaklığın kaydedildiğini açıkça göstermiştir. Anormal alan sıcaklıkları ile aynı hastanın bacağına çevresindeki normal alanın sıcaklığı arasındaki karşılaştırma, sıcaklık farklılıklarını göstermiştir. Anormal işaretli bölgelerdeki sıcaklık, normal bölgelerin ortalama 0,7 ila 1 ° C üzerinde bir sıcaklığa sahiptir. Termal görüntüleme tekniklerinin vasküler bozukluklara bağlı küçük insan vücut ısısı değişikliklerini tespit etmede etkili olduğu öne sürülmüştür.



Şekil 2. 15. (a) İzotermal görüntü ve (b) Etkilenen hastanın bacak fotoğrafı (Bagavathiappan ve ark., 2009)

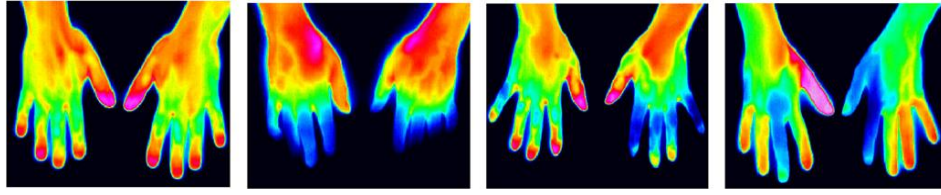
2.3.4. Raynaud Fenomeni

Raynaud fenomeni diğer bir adıyla kompleks bölgesel ağrı sendromlu el hastalığında da termografik görüntüler alınarak çalışmalar yapılmıştır. Kompleks bölgesel ağrı sendromu (KBAS), kol veya bacakta bir yaralanma sonrası ortaya çıkan kronik ağrılı bir durumdur. Nadiren, ameliyat, kalp krizi veya inme gibi durumlar sonrasında da gelişebilmektedir. Şekil 2.16'daki çalışmada, her iki elin dorsal yüzeyinin termogramı alınmıştır. Daha sonra eller 1 dakika boyunca 18-20°C su banyosuna batırılmıştır. Bu şekilde el üzerindeki sıcak soğuk noktalar izlenmiştir (Rajmanova et al., 2015).



Şekil 2. 16. Karmaşık bölgesel ağrı sendromlu ellerin termogramı (Rajmanova et al., 2015)

Raynaud fenomeni olan bir hastada Şekil 2.17'de gösterilen ilk görüntü, ellerin 20 ° C'de suya 1 dakika daldırıldıktan sonra, ikinci görüntü 10 dakika daldırıldıktan sonra termal görüntüsüdür. Bu iki görüntü karşılaştırıldığında etkilenen parmaklar daha soğuktur. Üçüncü ve dördüncü görüntüler titreşim ve termal stres uygulandıktan sonra gecikmiş iyileşme gösteren, belirli parmaklarda el kol titreşimi yaralanması örnekleridir.

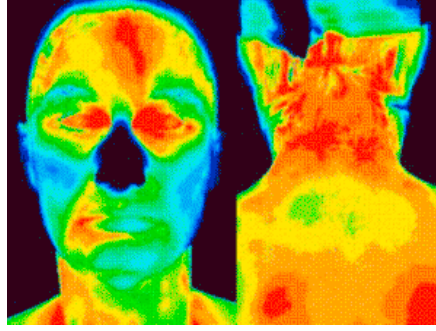


Şekil 2. 17. Raynaud fenomeni hastalarında el termogramları (Ring & Ammer, 2012)

Vardasca tarafından yapılan bir araştırma, el kol titreşim sendromunun, bir titreşim stresi ve ellere termal stresin bir kombinasyonu ile nesnel olarak ölçülebileceğini göstermiştir (Vardasca, 2010). El kol titreşim sendromunun, bir titreşim stresi ve ellere bir termal stres kombinasyonu ile objektif olarak ölçülebileceğini göstermiştir. Bu, iş sağlığı açısından önemli bir konu olmaya devam ettiğinden, bu tekniğin etkilenen sanayi işçilerinde tanısal ayrımcılığı artırabileceği umut verici olduğu söylenmektedir (Ring & Ammer, 2012). Sonuç olarak, bu derlemede sistematik incelemelerle önerilen bir standart geliştirilmiştir. El sıcaklıklarının değerlendirilmesi için 20'den fazla farklı yöntem bildirilmiştir. Fakat standart olarak oluşturulan en uygun yöntem, 1 dakika boyunca 20°C'lik suya daldırma ve soğuğa maruz kaldıktan 20 dakika sonra sıcaklığın gözlemlenmesi yöntemidir. Son çalışmalarla standardizasyon protokolleri bu teknik için gereklidir ve bu aynı zamanda görüntü işleme ve tekrarlanabilir ilgili ROI'lerin seçimine de uygulanmalıdır. (Ammer, 2009; Ring & Ammer, 2012).

2.3.5. Nörolojide Termografi

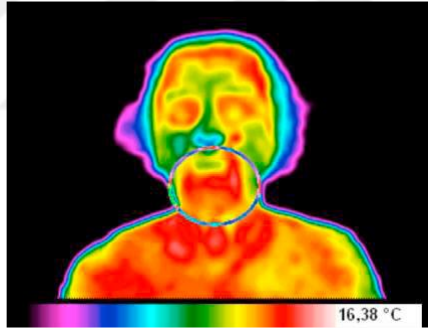
Nörolojide termografi, bir kişinin sakatlığına neden olan omurga yaralanmalarının kalıcılığını gösterebilmektedir. Ve ayrıca çeşitli baş ağrısı tiplerinin (migren, küme, servikal omurga ile ilişkili) teşhisini de gösterebilmektedir. Şekil 2.18'de, migrenin termogramı görünüyor ki migren tanısı aslında zordur. Bazı ağrılar, kutanöz kan akışından ve diğer aktivitelerden sorumlu olduğu için termal görüntüleme ile bu şekilde görselleştirilebilmektedir. (Rajmanova et al., 2015).



Şekil 2. 18. Migren termogramı (Rajmanova et al., 2015)

2.3.6. Diş Termografisi

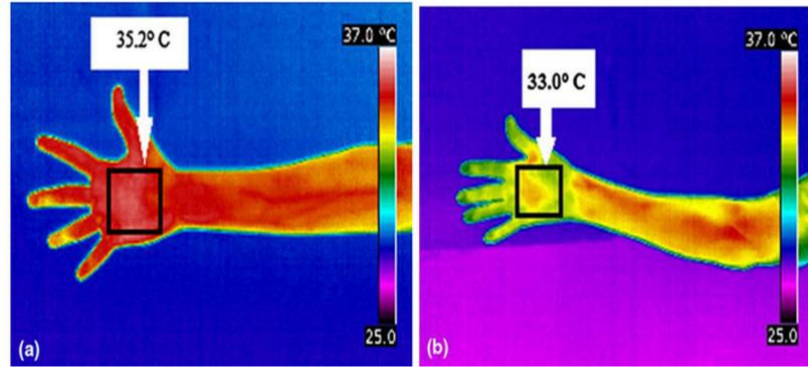
Diş bakımında, termal görüntüleme kamerası ağız dokularındaki sıcaklık dağılımını görselleştirmek için kullanılmaktadır. Şekil 2.19'da diş eti iltihabının termogramı görünmektedir. Termal resimde dişler, diş eti ve alveolar mukoza arasındaki sıcaklık farklılıkları gösterilmiştir. IR kamera ile X-ışınları ile tarama yapmadan diş çürüğü ve kavitasyon gibi rahatsızlıklardaki sıcaklık değişimi ölçümleri ile gözlemlenmiştir (Rajmanova et al., 2015).



Şekil 2. 19. Diş eti iltihabı termogramı (Rajmanova et al., 2015)

2.3.7. Diyabet

Sivanandam vd. (2012), Kızılötesi (IR) termografinin tip 2 diyabeti ve komplikasyonlarını öngörmede ve teşhis etmede potansiyelini incelemiştir. Hastalık teşhisi için cildin termal görüntüleri IR kamera kullanılarak çekilmiştir. Şekil 2.20(a,b)'de sırasıyla bir kontrol ve diyabetik denneğin avuç içi bölgesinin termogramı gösterilmiştir. Bir kontrol denğinde, vücudun normal metabolik fonksiyonu ve kanın iyi perfüzyonu nedeniyle, avuç içi cilt sıcaklığı 35,2°C'yi göstermiştir. Diyabetik bir denekte, avuç içi sıcaklığı zayıf kan perfüzyonu ve azalmış metabolizma nedeniyle kontrol deneginden daha düşük cilt sıcaklığı 33,0°C'dir. Sonuç olarak, termografi diyabet teşhisi için de kullanılabilir.



Şekil 2. 20. (a) Kontrol deneği ve (b) diyabetik denek termogramları (Sivanandam vd., 2012)

2.3.8. Obezite

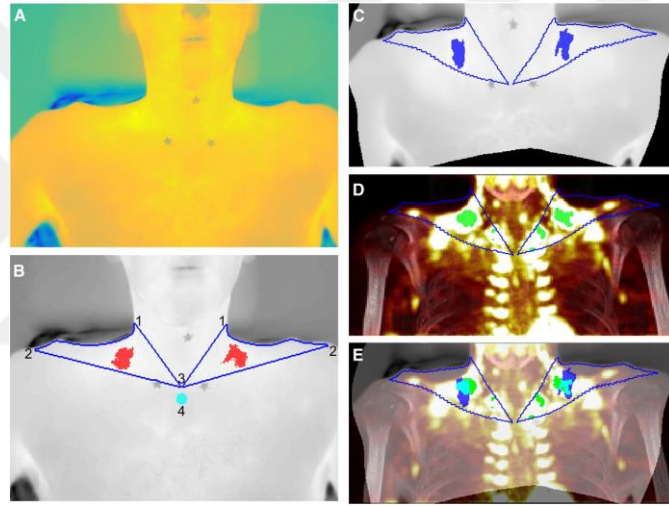
Obezite, şu anda etkili ilaç tedavileri bulunmayan, önde gelen bir küresel sağlık sorunudur. İnsülin direnci ve yüksek kan lipidleri dahil olmak üzere olumsuz bir metabolik profil, obezitenin sonuçlarının çoğuna ortak bir yoldur. Kahverengi yağ dokusu (BAT) adaptif termojenezin önemli bir efektörüdür ve cazip bir obezite karşıtı ilaç hedefidir (Chechi et al., 2014). Glikoz ve serbest yağ asitlerini kullanan ve mitokondriyal solunumu adenozin trifosfat üretiminden ayırarak kimyasal enerjiyi ısı olarak verimli bir şekilde serbest bırakabilen metabolik olarak oldukça aktif bir organdır (Cannon & Nedergaard, 2004). Artan BAT aktivitesi, artan enerji harcaması, iyileştirilmiş glisemik kontrol ve iyileştirilmiş kan lipid profili ile sonuçlanır (Sidossis & Kajimura, 2015).

Obezite ve metabolik sonuçları önemli bir morbidite ve mortalite nedenidir. Kahverengi yağ dokusu (BAT), ısı üretmek için glikoz ve serbest yağ asitlerini kullanmaktadır ve böylece enerji harcamasını arttırmaktadır. BAT termojenik bir doku olduğundan, soğuk bir uyarı ile aktivasyonu üzerine IR emisyonu yoluyla üstteki cilt boyunca ısı enerjisini aktarabilir. İnsan BAT uyarıcılarının etkili bir şekilde değerlendirilmesi, PET/CT ile yüksek dozda iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalmayı gerektirdiğinden BAT'ı değerlendirmek için mevcut standart yöntem ile sınırlıdır. Kızılötesi termografi (IRT) potansiyel olarak noninvaziv, güvenli bir alternatiftir (Law et al., 2018).

2.3.9. Kahverengi Yağ Dokusunun Termal Kamera ile Değerlendirilmesi Uygulamaları

Law ve arkadaşları (2018) insanlarda kahverengi yağ dokusu aktivitesini ölçmek için PET/CT'ye noninvaziv bir alternatif olarak termal görüntülemeyi kullanmışlardır.

Görüntüler bir termal kamera (FLIR Systems) kullanılarak elde edilmiştir. PET/CT ile, su yeleği soğutulduktan sonra 180 MBq 18F-FDG enjekte edilmiştir ve alt çeneden orta toraksa eksenel bir görüş alanı ile 60 dakikalık bir dinamik emisyon taraması elde edilmiştir. Alınan IRT ve 18F-FDG PET/CT verileri doğrudan karşılaştırılmıştır. Şekil 2.21’de PET/CT ile termal görüntü haritalama işlemi görülmektedir. Sonuç olarak, infrared termografide tespit edilen supraklaviküler sıcak nokta, PET/CT kaynaklı MIP(Maximum Yoğunluk Projeksiyonu) görüntülerindeki alana yakından karşılık geldiği görülmüştür. İnfrared termografi, özellikle PET/CT'nin mümkün, pratik veya tekrarlanabilir olmadığı popülasyonlarda, kahverengi yağ dokusu aktivasyonunu ölçmek için uygun bir yöntem olarak düşünülmelidir sonucuna varılmıştır (Law et al., 2018).



Şekil 2. 21. PET/CT ile termal görüntü haritalama (Law et al., 2018)

Ayrıca çoğunlukla incelediğimiz makale ve derlemelerde değinilen kahverengi yağ dokularının IRT ile değerlendirilmesi üzerinde durulmuştur. Yağ dokusu biyopsisine ek olarak, kahverengi yağ dokusunu değerlendirmek için PET/CT, SPECT/CT, MRG, IRT, kontrastlı USG gibi bir dizi invaziv olmayan görüntüleme yöntemi de kullanıldığına dair birçok çalışma incelenmiştir. Buradan hareketle Tablo 2.4 oluşturulmuştur. Termal görüntüleme sistemlerinin, hastaları temassız hızlı ve doğru bir şekilde teşhis etmek, incelemek ve izlemek için ekonomik, kullanımı kolay bir araç olduğunu bir kez daha görülmüştür.

Tablo 2. 4. Kahverengi yağ dokusunu değerlendirmek için kullanılan non-invaziv görüntüleme yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları (Sun et al., 2017)

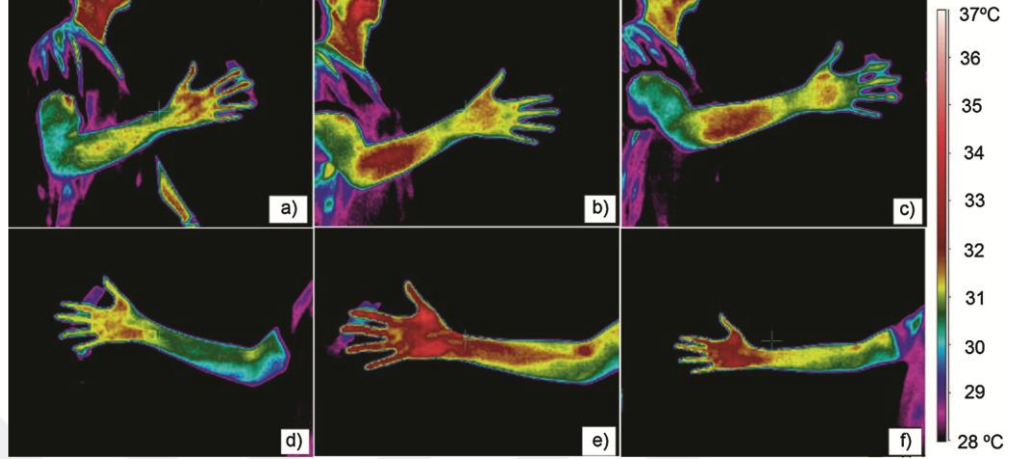
Görüntüleme Yöntemleri	Avantajları	Dezavantajları
18F FDG PET/CT	Mükemmel anatomik lokalizasyon, kısa edinim süresi (1-4 dk)	Önemli iyonlaştırıcı radyasyon, pahalı, glikoz BAT için tek enerji kaynağı değil, sınırlı hassasiyet
SPECT/CT	18F - FDG PET / CT ile güçlü korelasyon; mükemmel anatomik lokalizasyon	Pahalı, iyonlaştırıcı radyasyon, sadece metabolik olarak aktif BAT algılama, zayıf mekansal çözünürlük, edinim süresi 4-8 dk
MRG	İyonlaştırıcı radyasyon yok, mükemmel çözünürlük, dizilere bağlı olarak edinim süresi (1–10dk)	Gürültüye duyarlı, nispeten pahalı, sınırlı özgüllük
Kontastlı US	İyonlaştırıcı radyasyon yok; düşük maliyetli, dinamik görüntüleme mümkün, kısa edinim süresi (1 dk)	Tüm hastalarda güvenilir değil, küçük BAT kümeleri izlenemez, operatöre bağımlı
IRT	İyonlaştırıcı radyasyon yok, çok daha düşük maliyet, uygun, kolayca tekrarlanabilir, kısa edinim süresi (1 sn)	Yüzeysel BAT depoları, özellikle supraklaviküler ile sınırlı, orta uzamsal çözünürlük

Kızılötesi termografi tıpta çoğu alanda kullanılmış ve 1950'lerden bu yana farklı hastalık ve enfeksiyon türlerini tespit etmede başarılı bulunmuştur (Jiang et al.,2005). Ancak şaşırtıcı bir şekilde, sarkopenik bireylerin cilt sıcaklığındaki değişiklikleri hakkında yapılan bir çalışmaya rastlanmamıştır.

2.3.10. Kas Bölgelerinin Termal Kamera ile Değerlendirilmesi Uygulamaları

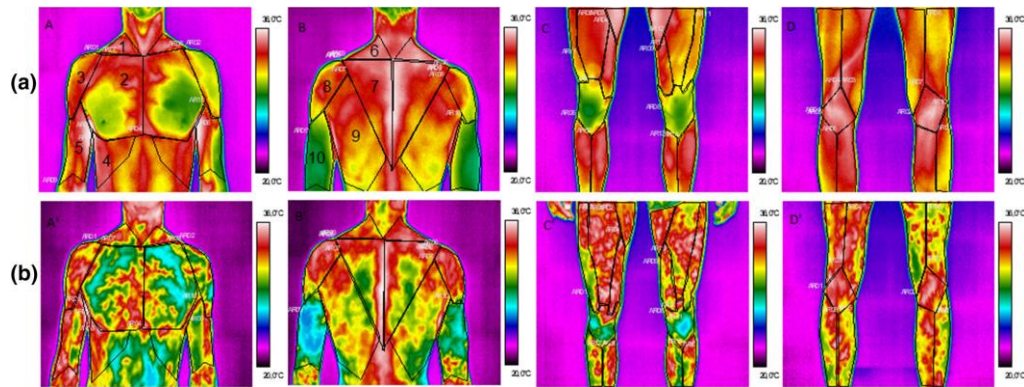
Sancibrian ve arkadaşlarının 2016'da 'Cerrahların biyomekanik çalışmasında termal görüntüleme tabanlı kas aktivitesi' adlı yaptıkları çalışmada, cerrahların kas eforlarını değerlendirmek için termal görüntüleme kullanılmıştır ve sonuçlar elektromiyografi (EMG) ile karşılaştırılmıştır. Makale bu tekniğin özelliklerini ve elektromiyografi ile ilişkisini göstermektedir. Şekil 2.22'deki tüm termal görüntüler katılımcının önkolundaki termal değişiklikleri göstermektedir. Göreve başlamadan hemen önce katılımcının dinlenme süresinden sonra Şekil 2.22a ve d termal görüntüleri alınmıştır. Şekil 2.22b ve e, ilk görevi bitirdikten hemen sonra alınmıştır. Son olarak, Şekil 2.22c ve d, cerrahi görevden sonra katılımcının sıcaklık dağılımına

karşılık gelmektedir. Burada termal kameranın kullanımındaki amaç, egzersize bağlı kas hasarını tespit etmektir. Termal görüntülemeden elde edilen nitel bilgiler, cerrahi çalışmalarda yer alan kas gruplarını güçlendirmek için yararlı olabilmektedir (Sancibrian et al., 2016).

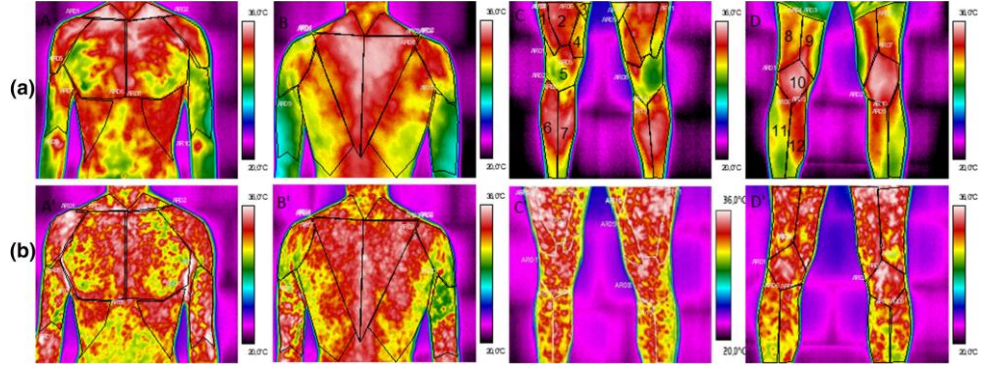


Şekil 2. 22. Cerrahların görevlerinin başında ve sonunda elde edilen termograflar (Sancibrian et al., 2016)

Drzazga ve arkadaşları tarafından 2018’de farklı kas bölgeleri için egzersiz testi yapılan kros kayakçıların ve yüzücülerin kızılötesi termal görüntülemesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Vücut yüzeyinin temsili termal görüntüleri, kayakçılar (Şekil 2.23) ve yüzücüler (Şekil 2.24) için çalıştırma egzersizi öncesi ve sonrası, şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 2. 23. Kros kayakçıları için vücut yüzeyinin (a) egzersiz öncesi ve (b) egzersiz sonrası termal görüntüleri (Drzazga et al., 2018)



Şekil 2. 24. Yüzücüler için vücut yüzeyinin (a) egzersiz öncesi ve (b) egzersiz sonrası termal görüntüleri (Drzazga et al., 2018)

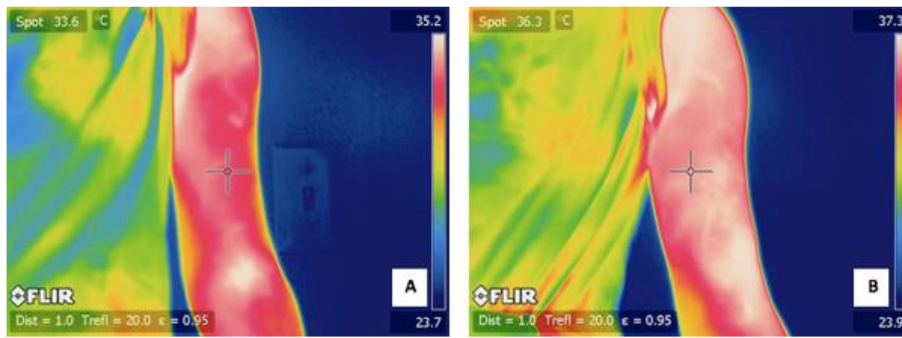
Bu çalışmada, tamamen diğer sporlarla uğraşan iki grup seçkin sporcunun, bireysel yoğunlukta yaklaşık bir saatlik koşu eforu gerçekleştiren, seçilen kas bölgeleri üzerindeki cildin termal haritalandırılması üzerinde durulmuştur. Bir grup kros kayakçısı ve bir grup yüzücü olmak üzere iki grup erkek sporcu araştırmaya katılmıştır. Her sporcu için 22 kas bölgesi dahil olmak üzere ROI'leri dikkate alınmıştır. Vücut yüzeyinin egzersiz testi nedeniyle cilt sıcaklığının değişimlerinin kayakçılarda ve yüzücülerde farklı olduğu belirtilmelidir. Farklı spor disiplinlerindeki kas çalışmaları hakkında ek bilgi sağlayacağı ve seçkin sporcuların verimlilik değerlendirmesinde yardımcı olabileceği sonucuna varılmıştır (Drzazga et al., 2018). Yüzücülerde kızılötesi radyasyondaki değişiklikler ve kas-iskelet sisteminin aşırı yüklenmiş yapıları da tespit edilmiştir (Rybárová & Novotný, 2015).

Klinik ve rehabilitasyon uygulamalarında sıcak-soğuk gibi termal ajanlar yaygın bir şekilde tedavi amacıyla kullanılmaktadır. Dokuların sıcaklığındaki değişimler, metabolizma, sinir iletimi, hemodinami ve mekanik özelliklerde değişikliklere neden olarak terapötik etkiler oluşturmaktadır. Egzersiz öncesi yumuşak dokuların ısıtılması, pratikte sıkça kullanılan bir yöntemdir. Bu, aktif ısınma veya lokal sıcak uygulamaları ile gerçekleştirilebilir. Isıtma, kas ve diğer kollajenöz dokuların viskoelastik özelliklerini artırarak fiziksel aktiviteye hazırlık sağlamaktadır (Bleakley & Costello, 2013).

Patellar tendon üzerine sıcak veya soğuk uygulamaların tork zaman parametrelerine etkisini inceleyen bir araştırma makalesinde, patellar tendon üzerine 30 dakika süreyle sıcak veya soğuk uygulama yapılmıştır. Bu uygulamalar için jel içeren 10x10 cm boyutlarında paketler kullanılmıştır. Sıcak uygulama için 70°C sıcak

suyla bekletilen paketler beze sarılarak patellar tendon üzerine yerleştirilmiştir. Uygulama süresi boyunca paketlerin yerinde tutulması sağlanmış ve uygulama sonrasında submaksimal ısınma egzersizleri gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık ölçümleri ve izokinetik testler tekrarlanmıştır. Araştırmada, termal kamera ile yapılan ölçümler sonucunda sıcak uygulama sonrasında anlamlı sıcaklık değişiklikleri tespit edilmiştir (Atalay et al., 2018). Patellar tendon üzerine yapılan sıcak uygulama sonrasında sıcaklık değişimlerini ve mekanik özelliklerdeki değişiklikleri değerlendiren spesifik çalışmalar mevcut olmasa da, kas üzerine yapılan benzer sıcak uygulama çalışmalarında kassal sertlikte anlamlı azalmalar tespit edildiği bilinmektedir (Bleakley & Costello, 2013).

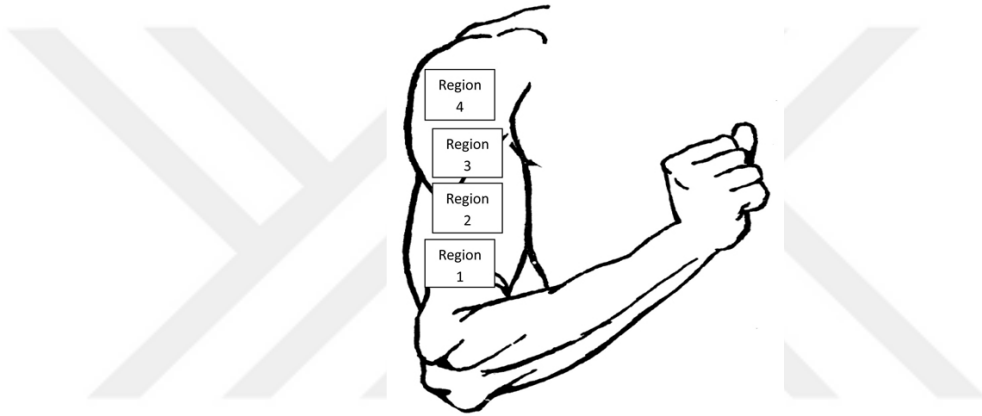
Başka bir çalışmanın temel amacı ise termal görüntülemenin yorucu egzersiz sonrası kas ağrısını tespit etmede ve ölçmede yararlılığını değerlendirmektir. Sonuçlar termal görüntülemenin, özellikle egzersizden sonraki ilk 24 saat içinde gecikmiş başlangıçlı kas ağrısını tespit etmek için geçerli bir teknik olabileceğini düşündürmektedir (Şekil 2.25). Bu model, kaslar gibi daha derin dokulardaki ısının iletken ısı değişimi yoluyla kana ve cilde dağıtılabilmesini öngörmektedir (Al-Nakhli et al., 2012).



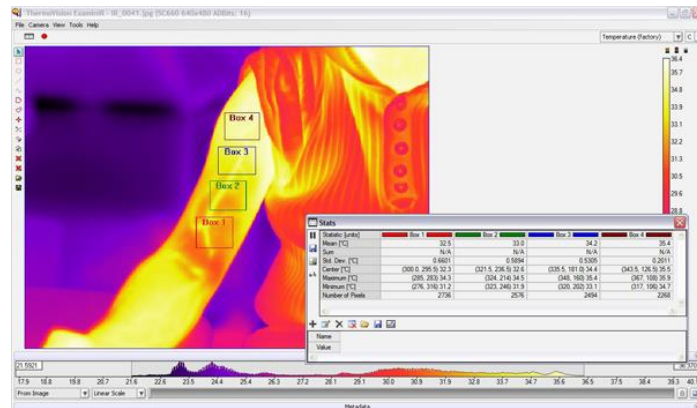
Şekil 2. 25. A) Egzersizden önce bir denneğin egzersiz yapılmamış kolunun tipik bir termal görüntüsü B) Egzersizden 24 saat sonra aynı denneğin kolunun termal görüntüsü (Al-Nakhli et al., 2012)

Kaslar egzersiz yaparken, kas liflerinin sürtünme kuvvetleri ve artan metabolizma nedeniyle kasta muazzam bir ısı gelişmektedir. Kaslarda artan kan akışı, egzersiz yaptıktan sonra kastaki ısının artmasına da katkıda bulunmuştur. Kas bir kabuk dokusu olduğundan, sıcaklık genellikle 32 ila 33 °C'dir, ancak egzersiz yapılan kaslara kan akışı arttırıldığında, çekirdek dokuların sıcaklığına yaklaşır, bu da 37°C'dir. Bu artan kan akışı, egzersizin sona ermesinden birkaç saat sonra normale

dönmelidir. Ancak, egzersizden 24 saat sonra sıcaklıklar hala yükseldiğinde, bu, egzersiz yapılan kasın hasar gördüğünü göstermektedir. Kastaki bu hasar, kastan üstteki cilde ek ısı transferine neden olmaktadır ve bu da cildin altında tespit edilebilir bir sıcak noktaya neden olmaktadır. İnsan vücudunun sıcaklıklarındaki değişiklikler her zaman artan ısıнын esas olarak bir çeşit iltihaplanma veya enfeksiyonla ilişkili olduğu işlev bozukluğunun göstergeleri olmuştur. Bu nedenle, tüm deneklerde egzersizden 24 saat sonra bulunan yüksek cilt sıcaklıkları, muhtemelen iltihaplanma ve doku hasarı onarımı nedeniyle kastaki daha yüksek kan akışlarının bir sonucudur. Sonuçlarda 2. günde artan cilt sıcaklıkları ile aynı gün artan ağrı seviyeleri arasında bir ilişki olduğu görülmüştür (Al-Nakhli et al., 2012) (Şekil 2.26) (Şekil 2.27).



Şekil 2. 26. Kolun termal görüntüsünü analiz etmek için ilgilenilen 4 bölgenin bir örneği (Al-Nakhli et al., 2012)



Şekil 2. 27. Egzersiz yapılan bir kolun termal görüntüsündeki 4 ilgi alanını gösteren "ThermoVision Examiner" için yazılım arayüzü (Her kutu için istatistiksel yorumlar da gösterilmiştir) (Al-Nakhli et al., 2012)

IR termal görüntüleme, gecikmiş başlangıçlı kas ağrısının erken evrelerinde tespit edilmesinde büyük bir değere sahip olacağı sonucuna varılmıştır. Ayrıca,

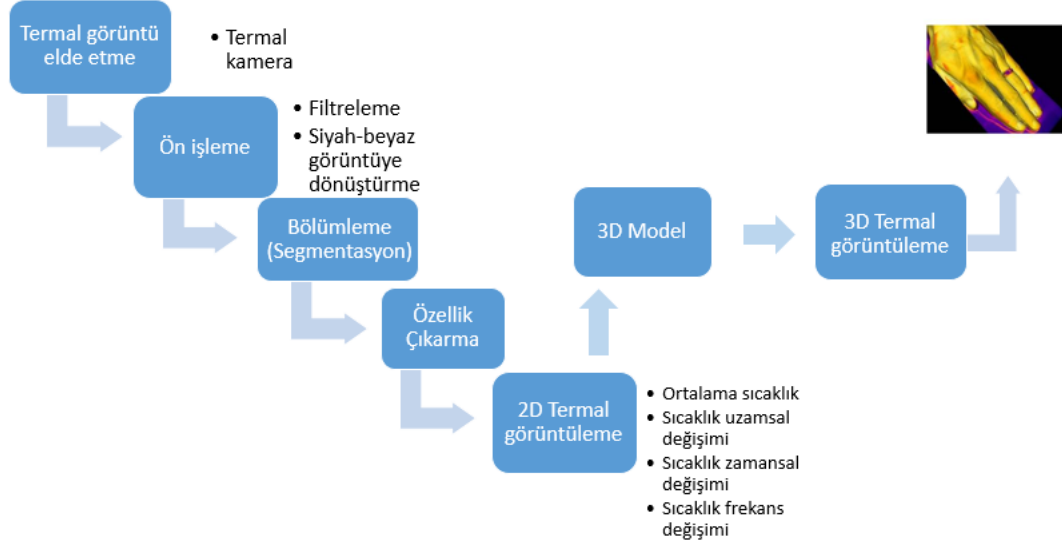
egzersiz bittikten birkaç saat sonra egzersiz yapan ve ağrıyan kaslara bakmanın ilginç ve ağrısız bir yolu olacağı düşünülmüştür. Bu nedenle, mevcut çalışmada, ilişkili kas ağrısını tespit etmek için uygulanan kasın üzerindeki cildin termal kızılötesi (IR) görüntüleme tekniği test edilmiştir. Bu araştırmanın temel amacı, bu güvenli ve invaziv olmayan tekniği kullanarak gecikmiş başlangıçlı kas ağrısındaki değişiklikleri incelemektir (Al-Nakhli et al., 2012).

2.4. Termal Görüntülerin İşlenmesi ve İyileştirilmesi

Termal görüntüleme, bir nesnenin görünmez radyasyon modelini görünür görüntülere dönüştüren bir tekniktir (Ishimwe et al., 2014). Daha sonra, daha fazla işlem için bu termal görüntülere özellik çıkarma ve analiz uygulanmaktadır. Sonuç olarak, kızılötesi termal görüntüleme kullanımı birçok alanda yaygın olarak artmaktadır. Bir ürünün veya sürecin teşhisini, değerlendirmesini veya analizini desteklemek için sıcaklık farklılıklarının gerekli olduğu tüm uygulamalarda uygulanabilmektedir (Dey et al., 2017).

Görüntü işleme teknikleri, bir dizi adımdan oluşur ve bu adımlar görüntüyü elde etme, görüntü zenginleştirme, görüntü iyileştirme, görüntü sıkıştırma, morfolojik işlemler, bölütleme, sunma ve tanıma gibi işlemleri içermektedir. Her bir adımda, belirli amaçlara yönelik işlemler gerçekleştirilir. Bu işlemler sonucunda, sistemin çıkışı olarak yeni bir görüntü, giriş görüntüsünün bir kısmı veya giriş görüntüsündeki nesneler elde edilebilmektedir (Çalışan ve Türkoğlu, 2013).

Şekil 2.28’de kızılötesi termal görüntü işleme adımları verilmiştir. Termal görüntü elde etme, başlangıçta termal kamera termal görüntüleri yakalamak için kullanılmaktadır. Termal kameralarda ilk aşama, dizi kamera görüntüsünden iki boyutlu bir görüntü elde etmektir. İkinci aşamada ise bu görüntüdeki dedektör farklılıkları giderilir. Daha sonra, görüntüyü ekrana aktarmak için histogram eşleme algoritmalarından biri kullanılmaktadır. Termal kameralar, gündüz kameralarından farklıdır çünkü düzenli piksel dizilimine sahip değildirler (Çalışan ve Türkoğlu, 2013).



Şekil 2. 28. Kızılötesi termal görüntü işleme adımları (Dey et al. 2017’den uyarlandı)

Ön işleme adımı işlemden önce gereksiz bölgeleri ve arka planı termal görüntülerinden kaldırmak gerekmektedir. Isı değişim dalgalanmaları nedeniyle ortaya çıkan içsel termal gürültüyü (düşük frekanslı gürültüyü) kaldırmak gerekmektedir. Bu nedenle filtreleme, gürültüyü azaltmak için bir ön işleme adımı olarak kullanılmaktadır. Termal görüntüler gri tonlamalı görüntülere dönüştürülmektedir (binarization). Algoritmaları daha verimli hale getirmek için herhangi bir gri ölçekli görüntüyü (çok tonlu görüntü) siyah-beyaz görüntüye (iki tonlu görüntü) dönüştürme yöntemidir. Yani bir görüntünün gri skalasını 0-255 spektrumundan 0-1 spektrumuna dönüştürmektedir. Termal görüntülerin gri tonlamalı dönüşümünden sonra ROI segmentasyonu adımı takip edilmektedir. Termal görüntü analizinde, ROI segmentasyonu hayati bir rol oynamaktadır (Bezerra et al., 2013). Termal görüntülerdeki nesneleri ve sınırları bulmak için, termal görüntüyü bir dizi piksel veya süper piksel olarak birden fazla parçaya bölmek için segmentasyon gerçekleştirilmektedir. Segmentasyondan sonra, özelliklerin çıkarılması, termal görüntünün ölçülebilir özelliklerini ve önemli özelliklerini belirlemektedir. Görüntüden çıkarılan özellikler, bir görüntüdeki çeşitli bölgelerin ayırt edilmesine yardımcı olabilmektedir. Bu özellikler hem düşük seviyeli özellikler hem de yüksek seviyeli özellikler olabilmektedir (Dey et al., 2017).

2D termal görüntüleme ile;

- Ortalama sıcaklık
- Sıcaklık uzamsal değişimi
- Sıcaklık zamansal değişimi
- Sıcaklık frekans değişimi gibi sonuçlar elde edilebilmektedir.

Elde edilen 2D termal görüntülerle, bir 3D tarayıcıdan alınan 3D model, 3D termal modeli üretmek için termal kamera kullanılarak birleştirilebilmektedir (Şekil 2.28).

2.5. Termal Görüntü Kalite Değerlendirme Metrikleri

Görüntüler, görsel bilgilerin iletilmesi için güçlü bir araçtır. Ancak, dijital görüntülerin alınması ve iletilmesi sırasında genellikle gürültüden dolayı bozulmalar meydana gelmektedir. Gürültü, yakalanan görüntüde istenmeyen parlaklık veya renk değişikliklerine neden olan rastgele sinyal bozulmalarıdır. Bu bozulmalar, dış kaynaklar veya görüntüleme sürecindeki hatalardan kaynaklanabilir. Dijital görüntülerdeki bozulmalar, görüntü elde etme veya iletimi sırasında ortaya çıkmaktadır. Görüntüleme sistemlerinin performansı, çevresel koşullar ve kullanılan algılama bileşenlerinin kalitesi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Örneğin, bir kamera ile görüntü alırken, ışık seviyeleri ve sensör sıcaklığı gibi faktörler, elde edilen görüntünün gürültü miktarını etkiler. İletim sırasında ise görüntüler, kullanılan iletim kanalındaki parazitler nedeniyle bozulabilmektedir (Woods & Gonzalez, 2008; Boyat & Joshi, 2015; Sontakke & Kulkarni, 2015; Owotogbe et al., 2019).

Görüntü kalitesi değerlendirmesi, nesnel ve öznel kalite olmak üzere iki ana sınıfa ayrılabilir. Öznel kalite yöntemleri, insanın kalite algısına, nesnel yöntemler ise matematiksel algoritmalara dayanmaktadır. Objektif kalite yöntemleri, insan görsel sistemini göz önünde bulundurarak tasarlanmıştır. Nesnel yöntemlerin, onu faydalı kılmak için öznel kalite ile yüksek bir korelasyona sahip olması gerekmektedir. Yapısal Benzerlik İndeksi (Structural Similarity Index, SSIM) ve Tepe Sinyal Gürültü Oranı (Peak Signal to Noise Ratio, PSNR) en çok kullanılan objektif yöntemlerindendir (Javaid et al., 2013). MSE (Mean Square Error-Ortalama kare hata) de, görüntü kalitesi ölçüm metriklerinin en yaygın kullanılanlarındandır. Hata, tahmin edilen sonuç ile gerçek değer arasındaki farktır. Sıfıra yakın değerlerin daha iyi olduğu bir referans metriğidir (Artuğer & Özkaynak, 2022).

2.5.1. MSE (Ortalama Kare Hata) ve PSNR (Tepe Sinyal Gürültü Oranı)

MSE değeri, görüntüler arasındaki farkın büyüklüğünü temsil etmektedir. Görüntü kalitesinin bozulmasında rol oynayan önemli faktörlerden biri gürültüdür. PSNR, referans görüntü ile bozulmuş görüntü arasında bir kalite ölçümü olarak kullanılmaktadır. Maksimum piksel değerinin, piksellerin kalitesini etkileyen gürültüye oranıdır ve logaritmik desibel cinsinden hesaplanmaktadır. Daha düşük bir MSE değeri, iki görüntü arasındaki benzerliğin arttığını göstermektedir. Daha yüksek bir PSNR değeri, daha kaliteli bir görüntü ve daha düşük bir gürültü seviyesini ifade etmektedir. PSNR'yi hesaplamak için bir giriş görüntüsü referans olarak alınmaktadır ve giriş görüntüsündeki gürültü seviyesini çıkış görüntüsüne kıyasla ölçmek için bir çıkış görüntüsüyle karşılaştırılmaktadır. PSNR değeri ne kadar yüksekse, çıktı görüntüsünün kalitesi o kadar iyidir (Javaid et al., 2013; Hemanth et al., 2019). MSE kayıp görsel olarak iyileşme ile birlikte PSNR/SSIM değerlerini de artırabilmek için kullanılmaktadır. Böylece hem piksel hem de algısal farklılıkları en aza indirmek amaçlanmaktadır (Goodfellow et al., 2014). PSNR şu şekilde tanımlanabilir:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{(L-1)^2}{MSE} \right) \quad (2.7)$$

Burada L, bir görüntüdeki olası maksimum yoğunluk seviyelerinin sayısıdır. Görüntünün mümkün olan maksimum piksel değeri, 8 bitlik gri tonlamalı bir görüntü için genellikle "MAX" olarak adlandırılan 255'tir. Bu değer, Maksimum (MAX) değeri, $2^n - 1$ şeklinde bulunur, burada n, bit sayısını temsil eder. 8 bitlik bir görüntü ile çalışıldığında $2^8 - 1 = 255$ elde edilir (Erkan et al., 2020).

$$PSNR = 10 \log \frac{255^2}{MSE(I, I_0)} \quad (2.8)$$

Burada I referans giriş görüntüsünü, I_0 ise çıkış görüntüsünü temsil etmektedir. MSE , ortalama kare hatasıdır ve şu şekilde hesaplanabilir:

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{y=1}^M \sum_{x=1}^N [I - I_0]^2 \quad (2.9)$$

PSNR ve MSE arasında ters orantı vardır. Daha düşük bir MSE, daha düşük hata ve dolayısıyla daha yüksek PSNR anlamına gelmektedir (Javaid et al., 2013). MSE değeri her zaman pozitif bir değere sahiptir ve uygulanan yöntemin performansını değerlendirmek için kullanılır. Burada kayıp değeri sıfıra ne kadar yakınsa, yöntemin o derece başarılı olduğu anlaşılır (Şenalp ve Ceylan, 2022).

2.5.2. SSIM (Yapısal Benzerlik İndeksi)

SSIM, iki çerçeve arasındaki yapısal benzerliği değerlendiren bir kalite metriğidir. SSIM, algısal görüntü kalitesinin değerlendirilmesi için hala bir alternatif olarak kullanılmaktadır (Shahid et al., 2011). SSIM, çerçevelerdeki kalite bozulmalarını, yapısal bilgilerin iki çerçeve arasındaki değişiminde algılanan değişiklikler olarak değerlendirmektedir (Javaid et al., 2013). SSIM değerinin formülü şu şekilde tanımlanır:

$$SSIM = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N SSIM(n) \quad (2.10)$$

SSIM, N uzunluğundaki tüm görüntü dizisi için hesaplanmaktadır (Javaid et al., 2013). SSIM, parlaklık, kontrast ve yapısal veya korelasyon terimlerine dayanan bir kalite ölçüm metriğidir. Bu indeks, bu üç özelliğin çarpımının bir kombinasyonu olarak hesaplanır (Brooks et al., 2008). Yapısal Benzerlik İndeksi aşağıdaki denklemde ifade edilir:

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha \cdot [c(x, y)]^\beta \cdot [s(x, y)]^\gamma \quad (2.11)$$

Burada parlaklık terimi (l), iki görüntü arasındaki parlaklık farkını karşılaştırmak için kullanılmaktadır. Kontrast terimi (c), en parlak ve en karanlık bölgeler arasındaki aralığı ayırt etmek için kullanılmaktadır. Yapısal terim (s), iki görüntü arasındaki yerel parlaklık modelini karşılaştırarak görüntülerin benzerlik ve farklılığını ölçmektedir. α , β ve γ ise pozitif sabitlerdir ve terimlerin ağırlıklarını belirlemektedir (Kumar & Moyal, 2013).

$$SSIM(x,y)=(2\mu_x\mu_y+C_1)(2\sigma_x\sigma_y+C_2) / (\mu_x^2+\mu_y^2+C_1)(\sigma_x^2+\sigma_y^2+C_2) \quad (2.12)$$

Burada C_1 , C_2 ise yapısal benzerlik karşılaştırmasındaki herhangi bir kararsızlıktan kaçınmak için kullanılan sabitlerdir (Javaid et al., 2013).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Katılımcılar

Bu çalışma protokolü Ondokuz Mayıs Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu (OMÜ KAEK 2021-580) tarafından onaylanmıştır. Bu çalışma için, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesine başvuran 21 hasta ve 21 kontrol grubu gönüllü çalışmaya alınmıştır. Hastalar 1. grup olarak ve kontrol grubu gönüllüler 2. grup olarak iki grup halinde çalışmaya dahil edilmişlerdir. Katılımcılar kura yöntemiyle belirlenip, 65 yaş üstü hastaların da başvurduğu ve dışlanma koşullarına uygun servislerden seçilmiştir. Hastanede servislerde yatan ve kriterleri sağlayan hastalardan el kavrama gücü ve antropometrik yöntemler uygulanarak değerlendirme ölçütlerine göre sarkopenisi olduğu belirlenenler “sarkopeni grubu”, dışlanma kriterlerindeki herhangi bir hastalığı olmayanlar ise “kontrol grubu”nu oluşturmuştur. Her sarkopeni hastasına karşılık aynı serviste yatan benzer cinsiyette ve yaşta kontrol grubu gönüllünün de çalışmaya alınması planlanmıştır. Çalışmamıza 18-65 yaş arası kontrol grubu gönüllüler dahil edilmiştir. Çalışma hakkında detaylı bilgiler araştırmacılar tarafından katılımcılara anlatılmış ve çalışmaya katılmayı kabul eden her gönüllüden bilgilendirilmiş gönüllü olur formu alınmıştır. Bu çalışmada kas kütlesi değerlendirilmesinde el kavrama gücü ölçüm testi, antropometrik ölçümler, katılımcıların aktif kullandıkları kolları üzerinde uygulanmıştır. Ayrıca bazı sosyodemografik özelliklerini ve günlük besin tüketim sıklığını içeren bir anket araştırmacılar tarafından yüz yüze uygulanmıştır. Hazırlanan bilgilendirilmiş gönüllü olur formu Ek 2’de ve anket formu Ek 3’te verilmiştir. Çalışmaya dahil edilmeyecek katılımcılar aşağıda sıralanmıştır.

1. Uzun süre felçli yatalak hastalar
2. İmmobil hastalar
3. Yoğun bakım hastaları
4. Onkoloji hastaları
5. Nöroloji hastaları
6. Kalp pili olan veya herhangi bir implantı olan hastalar

Yukarıda verilen dışlanma kriterlerindeki bireyler çalışmaya dahil edilmediği için hasta grubundaki katılımcılarda yaş ortalaması yaklaşık 65 iken kontrol grubu katılımcıların yaş ortalaması 18-65 yaş arasındadır. Katılımcılardan çalışma

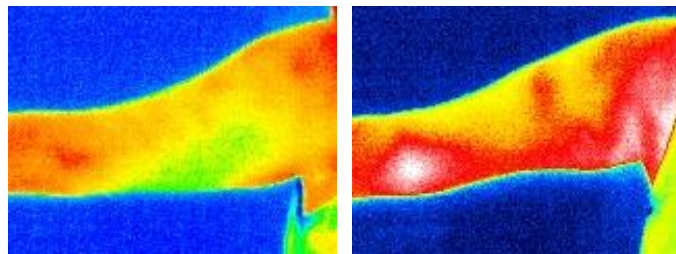
kriterlerine uygun olan kişilerin vücut ağırlığı ve boy ölçümleri de dahil olmak üzere demografik özellikleri Ek 4'te verilen veri bilgi formuna kaydedilmiştir. Çalışmamız, klinik çalışmalara alternatif bir yöntem olarak termal kamera görüntülerinin işlenerek bir yazılım geliştirme çalışmasıdır. Bu geliştirilen yazılım programının klinik uygulamalarda kullanımı sorgulanmıştır.

3.2. Çalışmanın Tasarımı

Bu çalışmada, hasta ve kontrol grubu katılımcılara ısı uygulaması gerçekleştirilerek kas gücü performansının üst kol kaslarında cilt sıcaklığı değişikliklerinin sarkopenik olma durumu üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Testo 865 termal kamera¹ ile üst kol termal görüntüler elde edilip, bu görüntülerin Python programlama dili kullanılarak yazılım geliştirmesi yapılmıştır. Bu yazılım ile analiz bilgileri, normalde uygulanan yöntemlerden olan antropometrik ölçümler, el kavrama gücü ölçümü gibi ölçüm yöntemleri ile karşılaştırılıp doğruluğunu tespit etmek hedeflenmiştir. Planlanan çalışma, hasta ve kontrol grubu katılımcılara uygulanmadan önce bir ön çalışma yapılmıştır.

3.2.1. Ön Çalışma/Değerlendirme

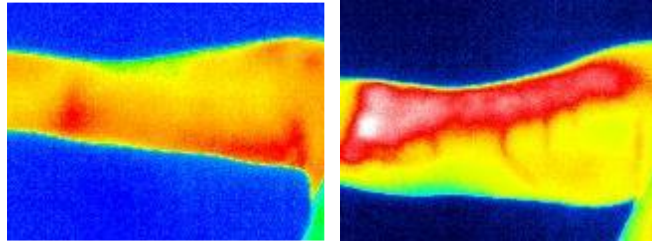
Ön çalışmada, kol kasının belirgin görüntülenebilmesi için kol egzersizi uygulaması ve sıcak su torbası uygulaması olarak iki farklı metot uygulanmıştır. İlk olarak dinlenmiş gönüllü bir katılımcıdan üst kol bölgesinin termal görüntüsü alınmıştır. Daha sonra aynı gönüllüye ısı (3 dk sıcak su torbası) uygulaması ve kol egzersizi uygulaması olarak iki uygulama ayrı ayrı uygulanmıştır. Şekil 3.1'de katılımcının dinlenmiş halde termal görüntüsü ve yorulana kadar kol egzersizi yaptıktan sonraki termal görüntüsü görülmektedir.



Şekil 3. 1. Dinlenme halindeki ve kol egzersizi sonrası kolun termal görüntüleri

¹ Bu çalışmada kullanılan Testo 865 termal kamera sıcaklık tespit cihazı PYO.TIP.1907.20.002 numaralı BAP projesinden temin edilmiştir.

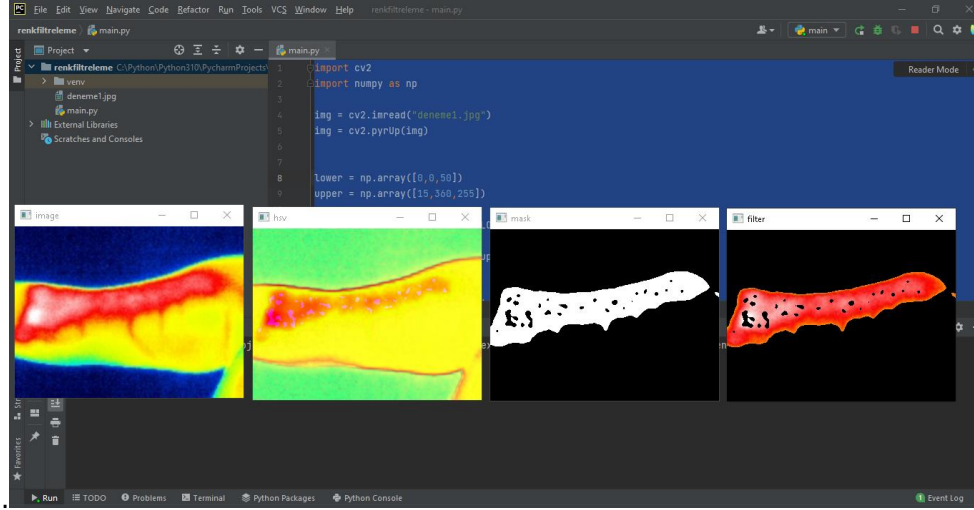
Şekil 3.2’de aynı katılımcının dinlenmiş halde termal görüntüsü ve ısı uygulaması sonrası termal görüntüsü görülmektedir.



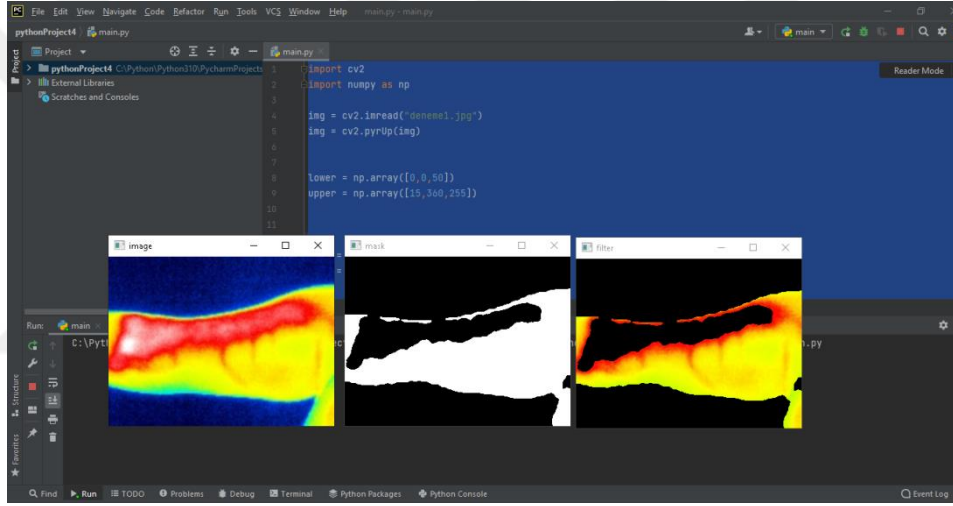
Şekil 3. 2. Dinlenme halindeki ve ısı uygulaması sonrası kolun termal görüntüleri

El sıcaklıklarının değerlendirilmesi için 20'den fazla farklı yöntem bildirilmiştir. Fakat standart olarak oluşturulan en uygun yöntem, 1 dakika boyunca 20°C'lik suya daldırma ve soğuğa maruz kaldıktan 20 dakika sonra sıcaklığın gözlemlenmesi yöntemidir (Ammer, 2009; Ring & Ammer, 2012). Bu çalışmada da bu kullanılan yöntemden yola çıkarak soğuğa maruz bırakma yerine kol kası bölgesine sıcak su torbası presi ve yorulana kadar kol egzersizi uygulayarak bir ön çalışma yapılmıştır. Uygulamalar sonrası tekrar termal görüntüler alınmıştır. Kol egzersizi uygulamasının yaşlı bireylerde zor ve yorucu olması ve görüntü olarak da kas belirlemede etkili olmaması gibi dezavantajları nedeniyle çalışmaya dahil edilmemesine karar verilmiştir. Görüntülere göre ısı uygulamasının daha etkin, alınan görüntülerin daha anlamlı, özellikle yatan hastalarda daha kolay uygulanabilir olduğu sonucuna varılmış ve materyal metot belirlenmiştir. Elde edilen bu görüntülere Python programlama dili kullanılarak filtreleme, maskeleme gibi bazı morfolojik işlemler uygulanmıştır.

Çalışmada, metabolik aktivitesi artan üst koldaki kırmızı alanı hesaplama için, Pycharm isimli IDE (Integrated Development Environment) ortamında Python dilinde bir yazılım geliştirilmiştir. Termal görüntü üzerinde Python yazılımı kullanılarak yapılan renk filtreleme işlemi uygulaması Şekil 3.3’te gösterilmiştir. Aynı görüntü üzerinde maskelenmiş görüntüsü Şekil 3.4’te gösterilmiştir



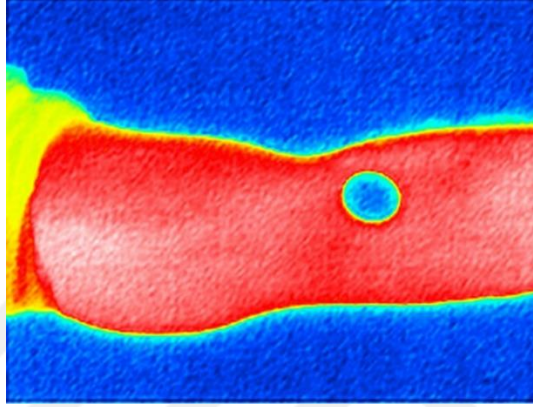
Şekil 3. 3. Renk filtreleme işlemi uygulaması



Şekil 3. 4. Aynı görüntü üzerinde maskelenmiş görüntüsü

İlk aşamada, görüntü siyah beyaz renge dönüştürüldü ve ardından yaygın olarak kullanılan bir ayrıştırma algoritması olan eşikleme yöntemi uygulanarak kas alanı ile arka plan arasındaki ayırım sağlanmıştır. Sonrasında, kenar bulma algoritması kullanılarak görüntüdeki kenarlar tespit edilmiştir. İşlemler tamamlandıktan sonra, renkli görüntü üzerinde kas alanının kenar tespiti daha net görülebilmesi için yapay olarak kenarlar çizilmiştir.

Ayrıca bir gönüllü katılımcının kolunun üstüne madeni para yerleştirildi (Şekil 3.5). Yerleştirilen madeni paranın gerçek fiziksel boyutu bilindiği için burdan hareketle kol termal görüntünün biceps alanı Adobe Photoshop 2020 (21.2.12) programında cm^2 cinsinden hesaplandı. ÜOKKA'nın formülünde cm^2 olarak hesaplandığı bilindiği için ve bu verileri bizim yöntemimiz olan termal görüntü biceps kası alanı ile karşılaştırmak için iki verinin de cm^2 cinsinden elde edilmesi sağlanmış oldu.



Şekil 3. 5. Katılımcının koluna madeni paranın yerleştirilmiş görüntüsü

3.2.2. El Kavrama Gücü (EKG) Ölçümü

EKG ölçümü için, bireylere günlük yaşam aktivitelerinde ve güç gerektiren işlerde hangi eli kullandıkları sorulmuş ve baskın el belirlenmiştir. Çalışmaya dahil olan katılımcıların el kavrama güçleri, Hand Grip Cihazı olarak da bilinen Takei Grip-D el dinamometresi kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 3.6(a)). Mathiowetz ve arkadaşlarının uyguladığı gibi ölçümler, katılımcıların diz ve kalça 90° fleksiyonda, önkol nötral pozisyonda, el bileği $0-30^\circ$ ekstansiyonda iken yapılmıştır (Mathiowetz et al., 1985). Ölçüm sırasında katılımcıdan cihazın tutamaçlarını mümkün olduğu kadar kuvvetli bir şekilde sıkması istenmiştir (Şekil 3.6(b)). Baskın olan elde 5'er saniye ara ile ölçümler üçer kez tekrarlanarak, ortalama değerleri hesaplanmış ve kg cinsinden kaydedilmiştir. Bu çalışmada tüm katılımcılara el kavrama gücü testi yukarıda tanımlanan protokole göre uygulanmıştır.



Şekil 3. 6. (a) Hand Grip cihazı ve (b) el kavrama gücü ölçümü

3.2.3. Antropometrik Ölçümler

Bireylerin vücut ağırlığı, boy uzunluğu beyana dayalı alınmıştır, buna göre BKİ değerleri hesaplanmıştır. Üst orta kol çevresi (ÜOKÇ) ve triseps deri kıvrım kalınlığı(TDKK) ise araştırmacı tarafından alınmıştır. Bu verilere göre üst orta kol kas alanı (ÜOKKA) değerleri saptanmış ve değerlendirilmiştir. ÜOKÇ ve ÜOKKA ölçümleri iskelet kası protein kütlelerinin etkili bir göstergesidir. ÜOKÇ ve TDKK bireyin sıklıkla kullandığı kolu sorulup o kol üzerinden uygulanmıştır. ÜOKÇ omuzda akromial çıkıntı ile dirsekte olekranon çıkıntı arası orta nokta işaretlenip ve kol dirsekten 90° bükülerek esnemeyen mezura ile cm cinsinden ölçülmüştür (Pekcan, 2008) (Şekil 3.7).



Şekil 3. 7. Üst orta kol çevresi (ÜOKÇ) ölçümü (S. Bakanlığı, 2010)

Bu çalışmada triseps deri kıvrım kalınlığı, bireyin sağ kolu dirsekten 90 derece bükülürölerek, akromion ve olekranon çıkıntıları arasındaki orta noktanın işaretlendiği ve kolun serbest bırakıldığı durumda, Şekil 3.8'deki Cambridge Maryland Kaliper (Lange Skinfold Caliper) cihazıyla milimetre cinsinden ölçülmüştür.



Şekil 3. 8. Cambridge Maryland Kaliper (Lange Skinfold Caliper) aleti ve TDKK ölçümü

Yukarıda belirlenen değerlerle üst orta kol kas alanı hesabı ise aşağıda verilen formüle göre yapılmıştır. ÜOKÇ, TDKK, ÜOKKA referans değerleri Ek1’de verilmiştir.

$$\text{Üst Orta Kol Kas Alanı (ÜOKKA)}(\text{cm}^2) = \frac{[C - (\pi \times \text{TDKK})]^2}{4\pi} - X$$

(C = Üst orta kol çevresi (cm), TDKK = Triseps deri kıvrım kalınlığı (cm), $\pi = 3.1416$)

(X = Erkek için 10 cm², Kadın için 6.5 cm²)

Kemik alanı için bir düzeltme yapılarak kemiksiz kol kas alanını bulmak için erkeklerde 10 cm² ve kadınlarda 6.5 cm² kol kas alanı değerinden çıkarılır (Pekcan, 2008).

3.2.4. Termal Parametrelerin Ölçülmesi

Tüm çalışma, protokollere uygun olarak Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesinde yapılmıştır. Termal görüntüler oda sıcaklığı sabit tutulan, katılımcı üzerinde direkt hava akımının olmadığı, güneş ışınlarına maruz kalınmayan bir ortamda alınmıştır. Gönüllüler oda sıcaklığına uyum sağlayabilmeleri için protokol öncesi 15 dakika bekletilmiştir. Kasların sıcaklık dağılımını görüntülemek için, görüntülerin bilgisayar ortamına aktarılması ve değerlendirilmesini sağlayan IRSofit adlı yazılımı olan, insan vücudunun ışıma gücü olan 0,98 ϵ ’de çalışabilen, 160x120 piksel çözünürlükte, 7,5-14 μm spektral aralıklı, kolay taşınabilir bir termal kamera olan Testo 865 kullanılmıştır Şekil 3.9’deki bu kamera, biyofizik anabilim dalı öğrenci laboratuvarından temin edilmiştir.



Şekil 3. 9. Çalışmamızda kullandığımız Testo 865 termal kamera

Tablo 3.1’de teknik özellikleri verilen, çekimlerin yapıldığı bu termal kamera, sıcaklıktaki değişimi ve üst kol boyunca dağılımı ile kas aktivitesini değerlendirmek için kullanılmıştır.

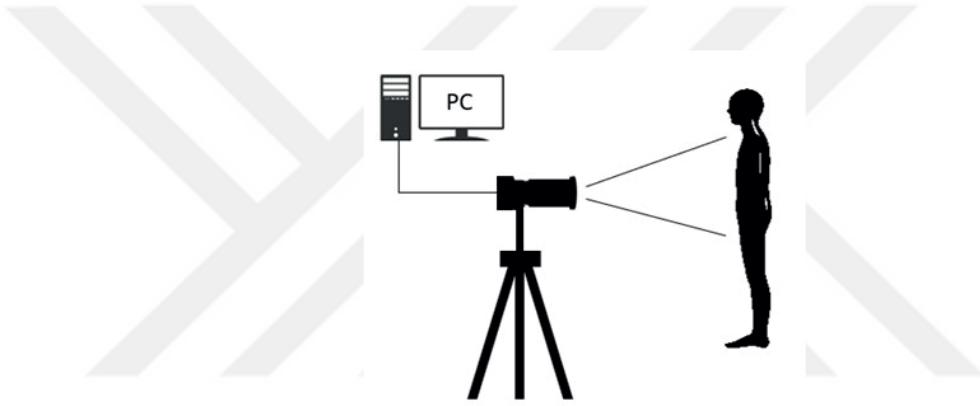
Tablo 3. 1. Çalışmamızda kullandığımız TESTO 865 termal kameranın teknik özellikleri

Kameranın özellikleri	Teknik bilgi
Ölçüm Aralığı	-20...+280 °C
İnfrared Çözünürlük	160 x 120 piksel
SuperResolution	320 x 240 pixels / 2.1 mrad
Spektral Aralık	7.5 - 14µm
Lens Kalitesi	31° x 23°
Görüş Alanı	31° x 23°
Geometrik çözünürlük	3.4 mrad
Ölçüm modları	Ortalama hesabı, sıcak/soğuk nokta belirleme, Delta T

Öncelikle bir sıcaklık referansı elde etmek için dinlenmiş halde tüm katılımcıların, üst kol termal kamera görüntüleri alınmıştır. Dinlenme sonrası termal görüntüsü alınan gönüllülere kol egzersizi yaptırılmıştır. Katılımcılardan baskın kullandığı kol üzerinden kol kasları yorulana kadar dinamik kol kasılmaları yapması istenmiştir. Kontrollü testin süresi gönüllünün gücüne bağlı belirlenmiştir (Sancibrian

et al., 2016). Kol egzersizi sonrası tekrar termal görüntüsü alınmıştır. Tüm uygulamalar katılımcının üst ekstremité kaslarından kol kaslarında gerçekleştirilmiştir.

Termal görüntüler Şekil 3.10'da da görüldüğü gibi 0,8 metre uzaklıktan koronal olarak alınmıştır (Atalay vd., 2018). Termal görüntü sonuçları, uygulamalardan önce ve sonrasında ölçülen cilt sıcaklığındaki farklılıklar, kas bölgelerine odaklanan görüntü üzerinde uygun bir yazılım (Python 3.10) kullanılarak analiz edilmiştir. Bu analizlerle belirtilen kas bölgelerinin üzerindeki sıcaklık değişimleri bireylerdeki kas gücü performansını değerlendirmek için kullanılmıştır. Buradaki sıcaklık değişimini analiz etmek için geliştirilen algoritma ile, üst koldaki en sıcak bölgeleri belirler ve sıcaklıktaki artıştan etkilenen kas grubuyla ilişkilendirir.



Şekil 3. 10. Termal görüntü ediniminin şekli

3.3. Veri Analizi

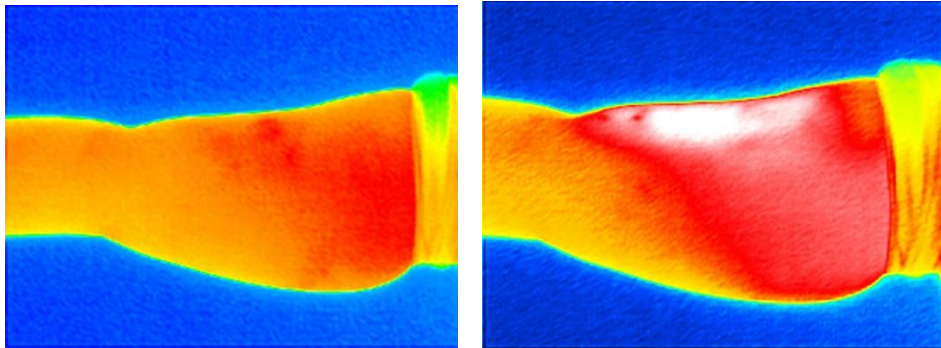
3.3.1. Termal Görüntülerin Analizi

Bu çalışmada, termal kamera sistemine yönelik yazılım geliştirme süreci Python programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yazılım geliştirme aşamasında PyCharm adlı entegre geliştirme ortamı (IDE) tercih edilmiştir. Python dili, matematiksel işlemlerin stabil bir şekilde programlanabilmesi özelliği nedeniyle görüntü işleme alanında uygun bir seçenektir. Yazılım geliştirme süreci, PyCharm yazılım ortamında gerçekleştirilmiştir. PyCharm, Python için bir geliştirme ortamıdır. Kod analizi, hata ayıklama araçları, entegre sürüm kontrol sistemi desteği ve Python ile Django kullanımını desteklemesi gibi özelliklere sahiptir. Bu çalışmada elde edilen termal görüntüler, Python programlama dilinin 3.10 sürümü ve OpenCV kütüphanesi kullanılarak işlenmiştir. OpenCV'nin tercih edilmesindeki avantajlar arasında ücretsiz kullanım imkanı, gömülü sistemlerde etkili performansı, çeşitli işletim sistemlerinde

kullanılabilmesi ve kapsamlı bir görüntü işleme kütüphanesine sahip olması yer almaktadır.

Termal kameralarla elde edilen görüntüler, çeşitli dış etkenlerden dolayı kalibrasyon eksikliği, ışık miktarı, hava şartları ve gürültü gibi faktörlerden olumsuz etkilenebilir. Bu nedenle, termal görüntülerin kalitesini artırmak ve iyileştirmek için görüntülerin önceden işlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, matematiksel ve geometrik bilgilerin termal görüntülere uygulanarak görüntü kalitesinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, gürültü ve diğer eksikliklerin giderilmesi için ön işleme adımları da uygulanacaktır. Bu şekilde, elde edilen termal görüntülerin daha net, daha keskin ve daha bilgilendirici hale getirilmesi hedeflenmektedir. Elde edilen iyileştirilmiş termal görüntüler, bazı unsurlar göz önünde bulundurularak analiz edilmiştir: görüntülerin sırayla filtrelenmesi, maskelenmesi ve ROI'nin çizilmesi gibi. Analiz için gerekli görüntüyü seçtikten sonra, yazılım arayüzü üzerinde üst kolun elde edilen görüntüsünde metabolik aktivenin arttığı kırmızı ve daha çok beyaz alanlar, ROI olarak tanımlanmıştır. Her görüntüdeki en sıcak bölge olarak belirlenen kas alanını yani aktive edilen biceps alanını bulup bu alanı ÜOKKA ve EKG değerleri ile karşılaştırmak, sarkopenik hastalarla kontrol grubu bireyleri karşılaştırmak için önemlidir. Sıcaklıktaki değişimleri hesaplamak için ROI'nin çizilmesi esastır. Antropometrik ölçümler ve el kavrama gücü testi sonuçlarının bu çizilen ROI'lerle anlamlı bir ilişki olup olmadığı istatistiksel olarak sorgulanmıştır.

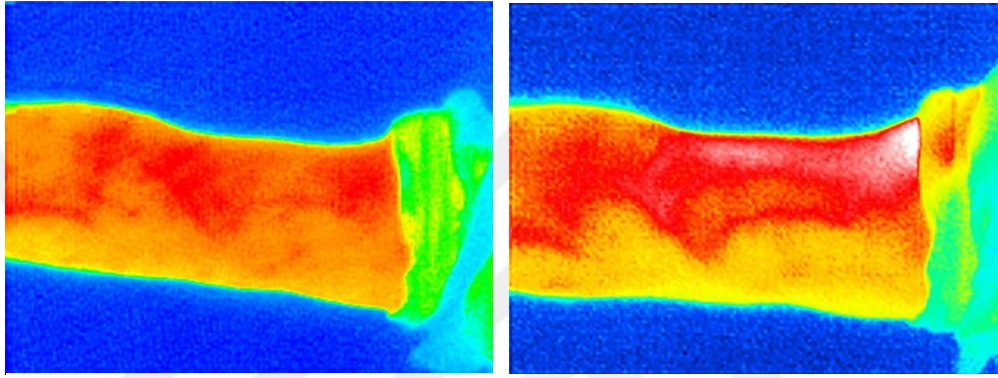
Kontrol grubu katılımcılardan birinden elde edilen termal görüntülerin bir örneği Şekil 3.11'de verilmiştir. Şekildeki ilk termogram katılımcının dinlenmiş halde, ikinci termogram uygulama sonrası üst kolundaki termal değişiklikleri gösterir.



Şekil 3. 11. Kontrol grubu katılımcıdan elde edilen üst kol termal görüntüleri

Uygulama sonrası ısı kas aktivitesi nedeniyle sıcaklığın arttığı üst kolda geniş bir bölge sağlar. Şekil 3.11'deki görüntüler, uygulamanın kas üzerinde sıcaklık artışını açıkça göstermektedir, bu durumda verilerin kas değerlendirmesi için önemi görülmektedir.

Hasta grubu katılımcılardan birinden elde edilen termal görüntülerin de bir örneği Şekil 3.12'de verilmiştir. Uygulama sonrası ısı kas aktivitesi nedeniyle sıcaklığın arttığı üst koldaki bölge kontrol grubu ile kıyaslandığında daha dar bir alanı kapsadığı görülmektedir.



Şekil 3. 12. Hasta grubu katılımcıdan elde edilen üst kol termal görüntüleri

Termal görüntülerin işlenmesinde bir sonraki adım, morfolojik yöntemlerin uygulanmasıdır. Morfoloji, matematiksel işlemlere dayanan ve şekil analizlerinde kullanılan bir çıkış yöntemidir. Görüntülerdeki istenmeyen nesneleri ve gürültüleri kaldırmak, görüntüyü iyileştirmek ve özellikleri vurgulamak amacıyla sıkça kullanılan bir tekniktir. Bu çalışmada, termal görüntülerin kalitesini iyileştirmeyi hedeflediğimiz için, morfolojik işlemler uygulanarak giriş termal görüntüsündeki istenmeyen nesnelerin çıkarılması amaçlanmaktadır.

Morfolojik İşlemler

Tezimizde, tıbbi görüntü işleme alanında çalışmalar yürütülmektedir. İlk olarak, OpenCV (Open Source Computer Vision Library) kütüphanesini kullanarak görüntü işleme işlemlerini gerçekleştirmek için gerekli olan kütüphaneleri ve fonksiyonları import edilmektedir. OpenCV, görüntüleri işlemek, nesneleri algılamak, görüntüleri filtrelemek ve analiz etmek için bir dizi işlev sağlamaktadır.

Morfolojik işlemler, görüntü işleme alanında kullanılan bir dizi işleme tekniğidir. Bu işlemler, görüntüdeki şekil, büyüklük, yapısallık veya diğer morfolojik

özelliklere dayalı olarak görüntüyü değiştirir veya iyileştirir. Filtreleme, görüntüdeki gürültüyü azaltmak, kenarları belirginleştirmek veya görüntüyü yumuşatmak gibi amaçlarla kullanılan bir morfolojik işlemdir. Görüntüdeki piksel değerlerinin komşu piksellerle karşılaştırılması ve belirli bir kurala göre düzenlenmesiyle gerçekleştirilir. Bu nedenle, filtreleme işlemi morfolojik işlemler arasında yer alır ve görüntü işlemede yaygın bir kullanıma sahiptir.

Tezimizde termal görüntü dosyası jpg formatında yüklenip ardından ham termal görüntülere farklı filtreler kullanılarak filtreleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Gaussian Bulanıklık Filtresi

Gaussian bulanıklık filtresi, bir görüntünün üzerinde yumuşatma işlemi uygulayarak görüntüdeki gürültüyü azaltmayı hedefleyen bir filtreleme tekniğidir. Bu filtre, her pikselin etrafındaki komşu piksellerin ağırlıklı ortalamasını alarak çalışmaktadır. Ağırlıklı ortalama kullanılan ağırlıklar, bir Gauss fonksiyonu ile belirlenmektedir. Gaussian bulanıklık filtresi, görüntü işlemede yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir ve görüntüdeki detayları azaltırken kenarları korumaktadır. Bu sayede, görüntü üzerindeki gürültüyü azaltırken, genel bir yumuşatma etkisi sağlamaktadır (Agarwal & Singh, 2017).

Python kodunda `cv2.GaussianBlur` fonksiyonu kullanılarak Gaussian bulanıklık filtresi uygulanmıştır. 5x5 boyutunda bir filtre kullanılmıştır. Yani (5, 5) parametresi, filtre boyutunu belirtmektedir. Sonuç olarak, `filtered_image1` değişkeninde filtrelenmiş görüntü elde edilir. Filtrelenmiş görüntüler ekranda gösterilir ve kullanıcının bir tuşa basması ile görüntülenir. Bununla ilgili kodlar Ek 5'te verilmiştir. Gaussian Bulanıklık Filtresi'nin termal görüntülerdeki kullanımının avantajları şunlardır:

1. **Gürültü Azaltma:** Termal görüntülerde genellikle düşük sinyal-gürültü oranı bulunur. Gaussian Bulanıklık Filtresi, pikseller arasındaki gürültüyü azaltarak daha temiz ve net görüntüler elde etmeyi sağlar.
2. **Kenar Koruma:** Termal görüntülerdeki önemli detaylar ve sıcaklık geçişleri genellikle kenarlar üzerinde bulunur. Gaussian Bulanıklık Filtresi, görüntüyü yumuşatırken kenarları korur, böylece sıcaklık geçişlerini ve detayları bozmadan gürültüyü azaltır.

3. Yumuşatma ve Düzleştirme: Termal görüntülerde bazen pürüzlü veya kusurlu bölgeler bulunabilir. Gaussian Bulanıklık Filtresi, bu bölgelerdeki küçük kusurları düzleştirerek daha homojen ve estetik olarak daha hoş görüntüler elde etmeyi sağlar.

Bu bilgiler, Gaussian Bulanıklık Filtresi'nin termal görüntülerdeki uygulamalarını ve sağladığı faydaları açıklamaktadır. Tezimizde kullandığımız bu yöntem, termal görüntülerde görüntü kalitesini artırmak ve gürültüyü azaltmak için etkili bir araç olarak kullanılabilir. Ayrıca, Gaussian bulanıklık filtresi ile görüntülerin bulanıklığı azaltılmaktadır. Her bir termal görüntü üzerinde görüntü bulanıklığını azaltmak ve görüntü kalitesini artırmak için Gaussian filtresi uygulanmıştır (Şekil 3.13). Daha sonra, elde edilen görüntülerin görüntü kalitesini değerlendirmek için kullanılan MSE, PSNR ve SSIM metrikleri hesaplanmıştır.

Median Filtresi

Median filtresi, bir görüntü üzerinde gürültüyü azaltmak için sıklıkla kullanılan bir filtreleme tekniğidir. Özellikle termal görüntülerde, çeşitli faktörlerden dolayı gürültü oluşabilir. Gürültü, termal kamera sensörünün hata payı, sıcaklık dalgalanmaları veya çevresel etkiler gibi faktörlerden kaynaklanabilir. Bu gürültü, görüntü üzerindeki önemli detayları bozarak görüntü kalitesini düşürebilir ve analiz veya tanıma işlemlerini zorlaştırabilir. Median filtresi, bu gürültüyü azaltmada etkili bir yöntemdir. Çalışma prensibi, her bir pikselin etrafındaki komşu piksellerin değerlerini sıralar ve bu sıralama sonucunda ortadaki (medyan) piksel değerini seçer. Bu, gürültülü piksel değerlerinin etkisini azaltırken, gerçek görüntü özelliklerini korur.

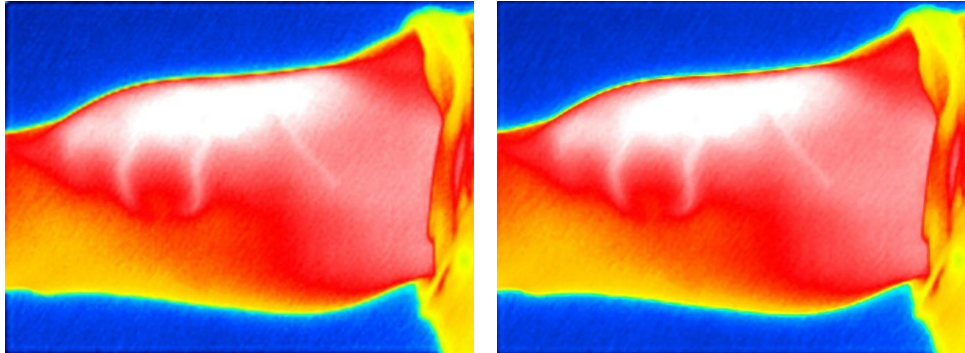
Median filtresi, Python'da `cv2.medianBlur()` fonksiyonu kullanılarak uygulanır. Bu filtre, her pikselin etrafındaki komşu piksellerin medyan değerini alarak çalışır. Bu, görüntüdeki gürültüyü azaltmaya yardımcı olur. Bununla ilgili kodlar Ek 5'te verilmiştir. Termal görüntülerde Median filtresinin kullanımının avantajları şunlardır:

1. Gürültü azaltma: Median filtresi, termal görüntülerdeki gürültüyü azaltmada etkili bir yöntemdir. Gürültü, piksel değerlerindeki rastgele dalgalanmalardır ve görüntü üzerinde yanlış bilgi veya bozulma yaratmaktadır. Median filtresi,

bu gürültüyü filtreleyerek daha temiz ve net bir görüntü elde etmeyi sağlamaktadır.

2. Detayların korunması: Median filtresi, diğer filtreleme yöntemlerine kıyasla daha iyi bir şekilde görüntü detaylarını korur. Özellikle termal görüntülerdeki sıcaklık gradyanları ve önemli nesne ayrıntıları, analiz ve tanıma işlemleri için kritik olabilir. Median filtresi, gürültüyü azaltırken bu detayların korunmasına yardımcı olmaktadır.
3. Kenar koruması: Median filtresi, kenarları koruma konusunda da etkilidir. Termal görüntülerde nesnelerin sıcaklık değişimleri genellikle keskin kenarlar oluşturmaktadır. Diğer filtreleme yöntemleri, kenarları yumuşatarak bu detayları kaybedebilir fakat Median filtresi, kenarların korunmasına yardımcı olarak daha keskin ve doğru sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır.

Bu bilgiler, Median filtresinin termal görüntülerde kullanımının ve görüntü kalitesine etkisinin anlaşılmasına yardımcı olmaktadır (Abreu et al., 2017; Liu et al., 2018; Jena & Das, 2019; Priya & Selvathi, 2019). Her bir termal görüntü üzerinde gürültüyü azaltmak ve görüntü kalitesini iyileştirmek için Median filtresi uygulanmıştır (Şekil 3.13). Ayrıca, MSE, PSNR ve SSIM gibi görüntü kalite metrikleri hesaplanarak filtrelenmiş ve orijinal görüntüler arasındaki farkları değerlendirmemiz sağlanmıştır.

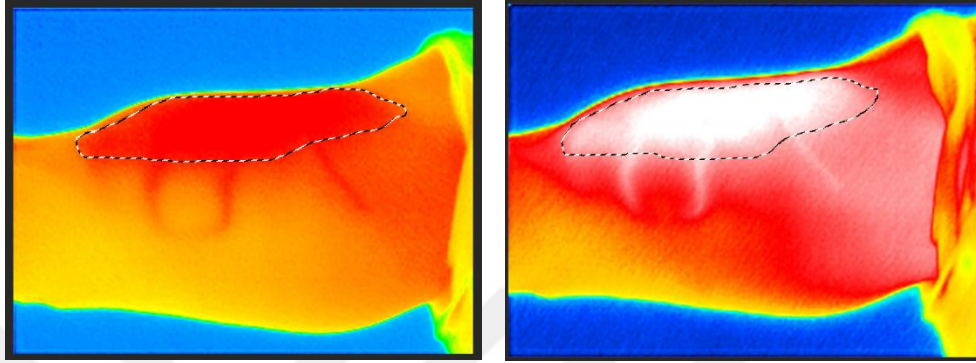


Şekil 3. 13. Aynı görüntü üzerinde sırasıyla Gaussian ve Median filtre uygulanmış termal görüntüler

MSE, filtrelenmiş ve orijinal görüntüler arasındaki ortalama kare hata miktarını ölçmektedir. PSNR, MSE değerini kullanarak görüntünün kalitesini ölçerken, SSIM, görüntüler arasındaki yapısal benzerliği ölçmektedir.

ROI Çizimi

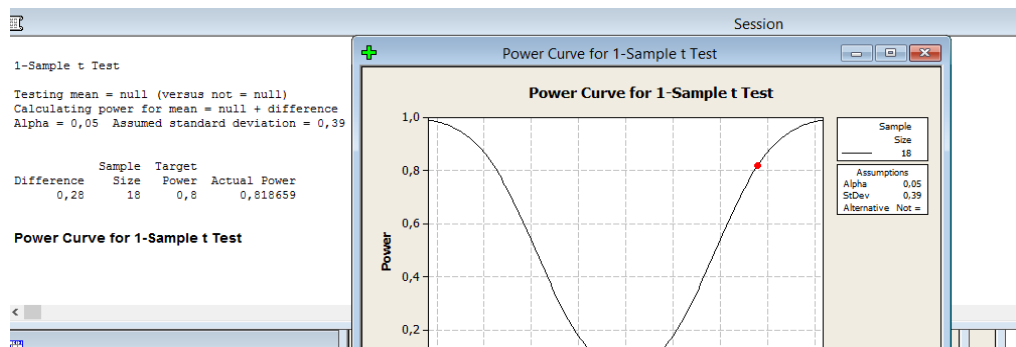
Ayrıca kol termal görüntülerindeki biceps bölgesine ROI çizimi Photoshop programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. ROI'nin alanı cm^2 cinsinden hesaplanmıştır. Görüntü üzerinde çizimler yapılarak sonuçların görselleştirildiği Şekil 3.14'te kontrol grubundan sağlıklı bir bireyin termal görüntüsü görülmektedir.



Şekil 3. 14. Sıcak su torbası uygulanmadan önce (T1) ve uygulama sonrası(T2) ROI çizilmiş termal görüntüler

3.3.2. İstatistiksel Analiz

Çalışmanın örneklem büyüklüğü benzer bir çalışma verisi (Al-Nakhli et al., 2012) dikkate alınarak Minitab 16.0 programında hesaplanmıştır. Infrared ısı grafilerinden elde edilen IR değerleri, %80 güçte ve %5 hata payı ile karşılaştırıldığında iki grup arasındaki fark 0,28 ve standart sapmaları 0,39 iken elde edilen verilerin istatistiksel anlamlı gösterilebilmesi için her bir gruba en az 18 gönüllü alınması gerektiği belirlenmiştir (Şekil 3.15). Ancak olası veri kayıpları dikkate alınarak örneklem sayısı %10-20 arasında artırılarak her gruba 21 olmak üzere toplam 42 gönüllü alınması gerektiği düşünülmüştür.



Şekil 3. 15. Power analizi sonuçları

Termal görüntülerin analiz sonuçları, açık kaynak kodlu OpenCV görüntü işleme kütüphanesi ve Python programlama dili kullanılarak analiz edilmiştir. Diğer verilerin istatistiksel analizlerinde SPSS 22.0 paket programı kullanılmıştır. Verilerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testiyle değerlendirilmiştir. Normal dağılım gösteren veriler ortalama $\pm$ standart sapma ile normal dağılım göstermeyen veriler ise ortanca (en küçük değer-en büyük değer) ile ifade edilirken, kategorik veriler sayı (%) kullanılarak ifade edilmiştir. Normal dağılıma uyan verilerin 2 grup arası karşılaştırması Student T Testi ile yapılmıştır. Normal dağılıma uymayan verilerin 2 grup arası karşılaştırmasında ise non parametrik test olan “Mann-Whitney U Testi” kullanılmıştır. Tekrarlayan ölçümlerin ikili karşılaştırılmasında Wilcoxon İşaretli Sıra Testi (Wilcoxon Signed Ranks Test) kullanılmıştır. Verilerin birbirleri arasındaki doğrusal ilişkinin varlığı nonparametrik test olan Spearman Testi ile yapılmıştır. Elde edilen korelasyon katsayısı (r)’nın değerine göre ilişkinin gücü $r=0,00-0,24$ ise “zayıf”, $r=0,25-0,49$ ise “orta”, $r=0,50-0,74$ ise güçlü ve $r=0,75-1,00$ ise çok güçlü olarak kabul edilmiştir. Termal görüntüleme verisi ile bireye sarkopenik ya da sağlıklı diyebilmek için gerekli cut-off değerini belirlemek için ROC analizi yapılmıştır. Belirlenen cut-off değerinde bir tanı yöntemi olarak termal kamera görüntülemesinin olabilirlik oranları (sensitivite ve spesifite değerleri) hesaplanmıştır. Tüm istatistiksel karşılaştırmalarda anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak kabul edilmiştir.

3.3.3. Termal Görüntü Kalitesinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada elde edilmiş görüntülerin, görüntü kalite kontrol standartlarına uygun olup olmadığı sorgulanmıştır. Diğer görüntüleme metotlarında olduğu gibi termal kameralarda da görüntü kalitesini belirleyen birçok parametre vardır. Görüntüler arasındaki farklılıkları hesaplamak için MSE (Ortalama Kare Hata), PSNR (Piksel Sinyal-Gürültü Oranı) ve SSIM (Yapısal Benzerlik İndeksi) metrikleri kullanılmaktadır.

MSE ve PSNR

MSE , PSNR ve SSIM gibi değerler, görüntü iyileştirme işlemlerinin etkinliğini ve kalitesini değerlendirmek için kullanılan metriklerdir.

Tüm görüntülerin MSE ve PSNR değerleri, bu çalışmada uygulanan her bir filtreleme tekniğinin performansını nicel olarak ölçmek için hesaplanmıştır. Görüntü işleme çalışmalarında, genellikle düşük bir MSE değeri ve yüksek bir PSNR değeri,

görüntüdeki bozulmanın az olduğunu ifade eder. PSNR değerinin 30 dB'den yüksek olması, kabul edilebilir bir seviye olarak kabul edilir (Jabade & Gengaje, 2011). Diğer çalışmalarda iyi bir sonuç elde edebilmek için PSNR değerinin 35 dB'den büyük olması gerektiği vurgulanmıştır (Hore & Ziou, 2010; Karakış vd., 2015). PSNR değeri, desibel (dB) ile ölçülen bir ölçüttür ve bu değer yükseldikçe, iki görüntü arasındaki benzerlik oranı da artacaktır (Kaushik & Sharma, 2012). PSNR'yi hesaplamak için termal kamera ile elde edilen orijinal görüntü ile çıkışta elde edilen görüntünün gürültü seviyesi karşılaştırılmaktadır.

Tüm görüntülerin ortalama kare hatası (MSE) ve tepe sinyal gürültü oranı (PSNR) değerleri, bu çalışmada benimsenen her bir geliştirme tekniğinin performansını nicel olarak ölçmek için hesaplanmıştır. Daha düşük bir MSE daha az hata anlamına gelirken, daha yüksek bir PSNR, temiz sinyalin gürültüden çok daha güçlü olduğu anlamına gelir. Bu nedenle, en iyi geliştirme tekniği, MSE değerinin en düşük olduğu ve PSNR değerinin en yüksek olduğu tekniktir (Gonzalez & Woods, 2007; Varnan et al., 2011).

SSIM

Yapı Benzerlik İndeksi, korelasyona dayalı bir ölçümdür. Korelasyon fonksiyonu aracılığıyla iki dijital görüntü arasındaki benzerliği ölçer. Bu metrik, farka dayalı bir ölçümü ifade eden tanımlayıcı bir niteliğe sahiptir (Kahdum, 2017). Yapısal benzerlik indeksinin görüntü kalitesini değerlendirmek için uygun bir hata metriği olduğu kanıtlanmıştır ve $[0, 1]$ aralığında bir değer vermektedir, burada 1'e daha yakın bir değer daha yüksek korelasyonun göstergesidir (Erkan et al., 2020).

SSIM değeri bu tezde görüntüleri daha kaliteli hale getirmek için uygulanan filtreleme işlemi için görüntüler arasındaki farkı azaltmada başarılı olup olmadığını sorgulamaya yardımcı olmuştur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez çalışmasının bu bölümünde, katılımcıların sosyodemografik özelliklerini ve günlük besin tüketim sıklığını içeren anket formu istatistiksel bulguları ve yaş, vücut ağırlığı, boy uzunluğu, BKİ, el kavrama gücü ve diğer antropometrik ölçüm verilerinin alındığı veri toplama formu bulguları sunulmuştur. Kol bölgesinden dinlenmiş halde ve ısı uygulaması sonrası alınan termal görüntü alanının elde edilmesi ile mevcut verilerin kullanılan geleneksel yöntemlerle karşılaştırılması ile ilgili bulgular, bu görüntülerin iyileştirilmesi ile ilgili görüntü kalite kontrol metrikleri bulguları verilmiştir. Son olarak ROC analizi sonucu elde edilen bulgular ve bunların değerlendirmeleri sunulmuştur.

4.1. Anket Formu Bulguları ve Değerlendirilmesi

Çalışma, 42 gönüllü katılımcı (24 erkek, 18 kadın) ile tamamlandı. Kontrol grubu katılımcıların 13'ü (%61,9) erkek, 8'i (%38,1) kadındı. Hasta katılımcıların 11'i (%52,4) erkek, 10'u (%47,6) kadındı. Her sarkopeni hastasına karşılık aynı serviste yatan benzer cinsiyette kontrol grubu gönüllü çalışmaya alındı. İstatistiksel karşılaştırmada kontrol ve hasta grubu arasında cinsiyet açısından anlamlı fark olmadığı belirlendi ($p=0,53$). Hastaların yaş ortalaması $65,9 \pm 9,8$ yıldır (en küçük:45- en büyük:80). Kontrol grubu katılımcıların yaş ortalaması ise $39,2 \pm 10,7$ yıldır (en küçük:23-en büyük:60). Gençlerde yaşlılara göre kas kütlelerinin ve protein dokusunun daha yüksek olması beklenmekte, bu yüzden kontrol grubunun daha çok gençlerden oluşması anlamlı veriler almayı sağlamaktadır.

Kronik hastalık ve sürekli ilaç kullanma durumu parametrelerinden hem hasta grubu hem kontrol grubu için istatistiksel anlamlı sonuçlar saptandı ($p<0,001$) (Tablo 4.1). Hastanede servislerde yatan ve kriterleri sağlayan hastalardan sarkopenisi olduğu belirlenenler hasta grubu, dışlanma kriterlerindeki herhangi bir hastalığı olmayanlar ise kontrol grubunu oluşturduğu için kronik hastalık ve sürekli ilaç kullanma durumunda fark çıkmış olması anlamlı bir veridir. Sarkopenik hasta grubundaki tüm bireylerde kronik hastalık olması ve sürekli ilaç kullanımı durumu beklenen ve grubu belirlemede dikkat edilen bir durumdur.

Katılımcıların beslenme durumlarından olan günlük yüksek protein (et,süt,yumurta...) ve karbonhidrat (ekmek, tahıl...) içeren besin grupları ile sebze-meyve tüketim sıklıklarında ve porsiyon miktarlarında fark çıkmaması ve yakın

değerlerde çıkması hasta ve kontrol grubunun eşit oranda beslendiğini, gruplar arasında bu konuda fark olmadığını gösteren önemli ve anlamlı bir sonuçtur($p>0,001$). Bunlar çalışmamızın demografik bilgisi olduğu için katılımcının aldığı protein ve kalori kas kütlesini etkileyeceğinden dolayı bu homojen bir denge kurulduğunu, her iki grubun da protein açısından farklı olmadan beslendiğini göstermektedir. Çünkü protein, kas kütlesinin birikimi için önemlidir ve çalışmanın güvenilirliğini gösteren sonuçlardır. Elde edilen veriler sonucu bize grupların beslenme konusunda eşit olduğunu, katılımcıların tez için uygun katılımcı olduğunu göstermiş oldu.

Egzersiz ve fiziksel aktivite de çalışmamızda değerlendirdiğimiz verilerdendi. Katılımcılarda bu anket verisinde de homojen dağılım sağlanmıştır. Anket sorularında da yer alan kişilerin spor yapma sıklığı, kaslarının kullanma durumu için bizi bilgilendirmiştir.

Tablo 4. 1. Katılımcıların bazı sosyodemografik özelliklerini ve günlük besin tüketim sıklığını içeren anket formu istatistiksel verileri

Anket verileri	Değişkenler	Hasta (n:21)		Kontrol (n:21)		p değeri
		Sayı	%	Sayı	%	
Cinsiyet	Erkek	11	52,4	13	61,9	0,53
	Kadın	10	47,6	8	38,1	
Kronik hastalık	Evet	21	100,0	0	0,0	<0,001
	Hayır	0	0,0	21	100,0	
Sürekli ilaç kullanımı	Var	21	100,0	4	19,0	<0,001
	Yok	0	0,0	17	81,0	
Günlük protein(et,süt,yumurta...) tüketimi	Evet	18	85,7	20	95,2	0,29
	Hayır	3	14,3	1	4,8	
Karbonhidrat(ekmek, tahıl...) tüketim sıklığı	Haftada 4 gün	0	0,0	1	4,8	0,31
	Hergün	21	100,0	20	95,2	
Sebze-meyve yeme sıklığı	Haftada 1	1	5,0	2	9,5	0,47
	Haftada 2-3	2	10,0	4	19,0	
	Haftada 4-6	0	0,0	1	4,8	
	Hergün	18	85,0	14	66,7	
Porsiyon tüketimi	Çeyreğini	2	9,5	0	0,0	0,14
	Yarısını	6	28,6	3	14,3	
	Hepsini	13	61,9	18	85,7	
Fiziksel aktivite	Hiç	11	52,4	3	14,3	0,09

sıklığı	Haftada 1	1	4,8	2	9,5
	Haftada 2-3	3	14,3	9	42,9
	Haftada 4-6	1	4,8	2	9,5
	Haftada 4-7	1	4,8	0	0,0
	Hergün	4	19,0	5	23,8

4.2. Veri Toplama Formu Bulguları ve Değerlendirilmesi

Hasta katılımcıların vücut ağırlığı ortalaması $77,0 \pm 18,2$ kg idi ve BKİ ortalaması $28,3 \pm 5,4$ kg/m² olarak hesaplandı. Kontrol grubu katılımcıların vücut ağırlığı ortalaması $74,0 \pm 9,8$ kg ve BKİ ortalaması $25,1 \pm 2,4$ kg/m² olarak belirlendi (Tablo 4.2). Vücut ağırlığı ortalaması açısından iki grup arasında fark yoktu ($p=0,50$). Ancak BKİ açısından iki grup arasındaki fark anlamlı düzeydeydi ($p=0,02$) (Tablo 4.2). Bu sonuç çalışmanın güvenilirliğini destekleyen bir bulguydu.

Hasta katılımcıların EKG ortalaması $18,2 \pm 5,7$ kg ve kontrol grubu katılımcıların EKG ortalaması $34,3 \pm 11,1$ kg'dı ve iki grup arasındaki farkın istatistiksel anlamlı olduğu belirlendi ($p<0,001$) (Tablo 4.2). Hasta katılımcıların baskın olan elinde EKG ortalama değerleri sırasıyla, erkeklerde $22,58$ kg, kadınlarda ise $13,54$ kg olarak bulunmuştur. Kontrol grubu katılımcıların baskın olan elinde EKG ortalama değerleri sırasıyla, erkeklerde $42,08$ kg, kadınlarda ise $21,88$ kg olarak bulunmuştur. Sarkopeni tanısında kas gücü için cut-off değerinin kadınlarda $<16-20$ kg ve erkeklerde $<26-30$ kg arasında değişmekte (Choi, 2013; Batsis & Villareal, 2018) olduğu bilindiğine göre grup seçimi güvenilirdir.

Hasta katılımcıların ÜOKÇ ortalaması $26,0 \pm 2,6$ cm ve kontrol grubu katılımcıların ÜOKÇ ortalaması $29,2 \pm 2,0$ cm idi ve iki grup arasındaki farkın istatistiksel anlamlı olduğu belirlendi ($p<0,001$) (Tablo 4.2). Hasta katılımcıların TDKK ortalaması 9 mm ve kontrol grubu katılımcıların TDKK ortalaması 12 mm idi ve iki grup arasında istatistiksel anlamlı bir fark çıkmadığı belirlendi ($p=0,04$) (Tablo 4.2). Hasta katılımcıların ÜOKKA ortalaması $33,3 \pm 7,9$ cm² ve kontrol grubu katılımcıların ÜOKKA ortalaması $43,9 \pm 8,1$ cm² idi ve iki grup arasındaki farkın istatistiksel anlamlı olduğu belirlendi ($p<0,001$) (Tablo 4.2). Sağlıklı kontrol grubu bireylerde beklenen durum olan kas kuvvetinin yani el kavrama gücünün, kas kütlesi ölçümlerinin yani antropometrik ölçümlerden üst orta kol kas alanı ölçümlerinin daha

yüksek çıkması sonuçların anlamlı olduğunu göstermektedir. Sarkopenik hasta grubun seçiminde güvenilirliği açıklamaktadır.

Tablo 4. 2. Katılımcılara uygulanan geleneksel yöntemlerin ölçümsel verilerinin hasta ve kontrol grubu için karşılaştırılması

Değişkenler	Hasta (n:21)	Kontrol (n:21)	p değeri
	$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$	
Vücut ağırlığı(kg)	77,0±18,2	74,0±9,8 kg	0,50 ^a
BKİ (kg/m²)	28,3 ±5,4	25,1±2,4	0,02^a
El kavrama gücü(kg)	18,2±5,7	34,3±11,1	<0,001^a
Üst orta kol çevresi(cm)	26,0±2,6	29,2±2,0	<0,001^a
Triseps Deri Kıvrım Kalınlığı(mm)	9 (5-25)	12 (5-20)	0,04^b
Ortanca (en küçük-en büyük)			
Üst Orta Kol Kas Alanı(cm²)	33,3±7,9	43,9±8,1	<0,001^a

^aStudent T testi, ^bMann Whitney –U testi

4.3. Geleneksel Yöntemlerle ve Termal Görüntüleme Yöntemiyle Elde Edilen Bulgular ve Değerlendirilmesi

Kontrol grubunda T1 ısı uygulanmamış ham termal görüntüsünde çizilen biceps kası alanının(cm²) T2 ısı uygulanmış termal görüntüsünde çizilen biceps kası alanı(cm²) ile arasında anlamlı fark olduğu saptanmıştır (p<0,001) (Tablo 4.3). Yine hasta grubunda bu alanların arasında bir fark olduğu görüldü (p=0,001). Böylece burda ısı uygulamasının güvenilirliği belirlenmiş oldu. Ayrıca grubu belirlemedeki güvenilirlik için saptanan hem T1 hem T2 alanları için çıkan p değerinin 0,001 olduğu görüldü. Bu durumda da sarkopenik hasta seçiminin doğru yapıldığı gözlemlenmiş oldu (Tablo 4.3).

Tablo 4. 3. Isı uygulaması öncesi ve sonrası görüntülerin alanlarının hasta ve kontrol grubu için karşılaştırılması

	T1	T2	p değeri	T2F1	T2F2	p değeri
	(cm ²)	(cm ²)		(cm ²)	(cm ²)	
Kontrol	34,4±9,0	42,1±11,1		10,34±2,04	11,40±2,29	
(n:21)	35,2	44,2	<0,001^a	10,39	11,19	<0,001^a
	(15,7-49,9)	(17,8-61,3)		(7,10-15,62)	(7,98-17,10)	
Hasta	24,0±9,4	31,6±7,8		7,50±2,20	8,71±2,64	
(n:21)	22,0	29,3	0,001^a	6,62	7,59	<0,001^a
	(9,5-45,4)	(22,2-48,2)		(4,52-11,61)	(5,35-13,68)	
p değeri	0,001^b	0,001^c		<0,001^c	0,003^c	

a: Wilcoxon işaretlenmiş sıralar testi b: Student T testi c:Mann Whitney U testi

T1: Isı uygulanmamış termal görüntü biceps kası alanı T2: Isı uygulanmış termal görüntü biceps kası alanı T2F1: Isı uygulanmış ve 1. filtre uygulanmış termal görüntü biceps kası alanı T2F2: Isı uygulanmış ve 2. filtre uygulanmış termal görüntü biceps kası alanı

Kas kütleini ve alanını ölçmek için kullanılan geleneksel yöntemlerden olan ÜOKKA ve EKG ölçüm yöntemlerinin termal görüntü biceps kası alanları ile doğrusal ilişkisinin olup olmadığı korelasyonel analizlerle değerlendirildi. Sonuçlar Tablo 4.4. ve Tablo 4.5’ te sunuldu. Korelasyonel analizlere göre kontrol grubunda ÜOKKA değerlerinin T2, T2F1 ve T2F2 ile pozitif yönde orta güç seviyesinde istatistiksel anlamlı doğrusal bir ilişkisi vardı (sırasıyla $r=0,48$ $p=0,02$; $r=0,47$ $p=0,02$; $r=0,42$ $p=0,04$) . T1 , T2 ,T2F1 ve T2F2 parametrelerinin birbirleriyle ilişkilerinin de istatistiksel düzeyde anlamlı olduğu belirlendi ($p<0,05$) (Tablo 4.4).

Tablo 4. 4. Kontrol grubunda geleneksel yöntemlerden üst orta kol kas alanı ve el kavrama gücü ile termal görüntü piksel alanlarının (T1-T2-T2F1-T2F2) korelasyonel karşılaştırılması

Değişkenler	ÜOKKA	EKG	T1	T2	T2F1	T2F2
	(cm ²)	(kg)	(cm ²)	(cm ²)	(cm ²)	(cm ²)
ÜOKKA	-	$r=0,36$ ($p=0,10$)	0,35 (0,11)	0,48	0,47	0,42
(cm²)				(0,02)	(0,02)	(0,04)
EKG	0,36 (0,10)	-	0,40 (0,07)	0,15 (0,49)	0,9	0,09
(kg)					(0,68)	(0,68)

T1	0,35 (0,11)	0,40 (0,07)	-	0,79 (<0,001)	0,59 (0,005)	0,56 (0,008)
(cm²)						
T2	0,48 (0,02)	0,15 (0,49)	0,79 (<0,001)	-	0,61 (0,003)	0,66 (0,001)
(cm²)						
T2F1	0,47 (0,02)	0,9 (0,68)	0,59 (0,005)	0,61 (0,003)	-	0,84 (<0,001)
(cm²)						
T2F2	0,42 (0,04)	0,09 (0,68)	0,56 (0,008)	0,66 (0,001)	0,84 (<0,001)	-
(cm²)						

ÜOKKA: Üst orta kol kas alanı EKG: El kavrama gücü T1: Isı uygulanmamış termal görüntü biceps kası alanı T2: Isı uygulanmış termal görüntü biceps kası alanı T2F1: Isı uygulanmış ve 1. filtre uygulanmış termal görüntü biceps kası alanı T2F2: Isı uygulanmış ve 2. filtre uygulanmış termal görüntü biceps kası alanı

Sarkopenik hasta grubunda ise hem ÜOKKA değerlerinin hem T1 hem de T2 ile anlamlı korelasyonu olmadığı belirlendi (Sırasıyla $p=0,56$ ve $p=0,16$). EKG değerlerinin ise T1 ile pozitif yönde kuvvetli düzeyde istatistiksel anlamlı bir ilişkisi vardı ($r=0,56$ ve $p=0,009$). EKG ve T2 arasında yine pozitif yönde kuvvetli düzeyde istatistiksel anlamlı ilişki olduğu belirlendi ($r=0,52$ ve $p=0,01$) (Tablo 4.5).

Sarkopenik hasta grubunda ÜOKKA değerlerinin T1 ve T2 ile pozitif yönde çok güçlü istatistiksel olarak çok anlamlı düzeyde korelasyonunun olduğu belirlendi. [Sırasıyla $r=0,74$; $p<0,001$ ve $r=0,86$; $p<0,001$]. ÜOKKA ile T2F1 ve T2F2 arasında ise orta güçte korelasyon vardı (sırasıyla $r=0,52$ $p=0,01$ ve $r=0,55$ ve $p=0,009$). EKG değerlerinin ise incelenen diğer parametrelerle bir korelasyonunun olmadığı belirlendi. Hasta grubunda T1'in T2 ile arasındaki korelasyonda güçlü ve istatistiksel olarak anlamlı düzeydeydi ($r=0,71$ ve $p<0,001$) T2'nin ise T1 dışında T2F1 ve T2F2 ile arasında güçlü bir korelasyon vardı ($r=0,65$ $p=0,001$; $r=0,68$ $p=0,001$) (Tablo 4.5).

Sonuç olarak sarkopenik hasta grubunda ÜOKKA'nın T1 ve T2 ile çok güçlü; T2F1 ve T2F2 ile ise orta güçte bir korelasyonu varken, kontrol grubunda ise ÜOKKA'nın T2, T2F1 ve T2F2 ile arasında orta güçte bir korelasyonu mevcuttu.

Tablo 4. 5. Sarkopenik hasta grubunda geleneksel yöntemlerden üst orta kol kas alanı ve el kavrama gücü ile termal görüntü piksel alanlarının (T1-T2-T2F1-T2F2) korelasyonel karşılaştırılması

Değişkenler	ÜOKKA (cm ²)	EKG (kg)	T1 (cm ²)	T2 (cm ²)	T2F1 (cm ²)	T2F2 (cm ²)
ÜOKKA (cm ²)	-	r=-0,03 (p=0,88)	0,74 (<0,001)	0,86 (<0,001)	0,52 (0,01)	0,55 (0,009)
EKG (kg)	-0,03 (0,88)	-	0,07 (0,75)	0,01 (0,95)	0,25 (0,27)	0,42 (0,06)
T1 (cm ²)	0,74 (<0,001)	0,07 (0,75)	-	0,71 (<0,001)	0,35 (0,11)	0,40 (0,07)
T2 (cm ²)	0,86 (<0,001)	0,01 (0,95)	0,71 (<0,001)	-	0,65 (0,001)	0,68 (0,001)
T2F1 (cm ²)	0,52 (0,01)	0,25 (0,27)	0,35 (0,11)	0,65 (0,001)	-	0,93 (<0,001)
T2F2 (cm ²)	0,55 (0,009)	0,42 (0,06)	0,40 (0,07)	0,68 (0,001)	0,93 (<0,001)	-

ÜOKKA: Üst orta kol kas alanı EKG: El kavrama gücü T1: Isı uygulanmamış termal görüntü biceps kası alanı T2: Isı uygulanmış termal görüntü biceps kası alanı

4.4. Görüntü Kalite Kontrol Metrikleri Bulguları ve Değerlendirilmesi

Termal görüntülerin iyileştirilmesine dayalı kullanılan farklı filtrelerin MSE, PSNR ve SSIM değerleri gösterilmektedir. MSE değeri, orijinal görüntü ile iyileştirilmiş görüntü arasındaki ortalama karesel farkı temsil etmektedir. MSE'nin düşük olması, iyileştirme işleminin orijinal görüntüye daha yakın bir sonuç ürettiğini göstermektedir. MSE değerinin yüksek çıkması, görüntüler arasındaki farkın büyük olduğunu göstermektedir. Hangi filtreleme yönteminin daha iyi sonuçlara yol açtığını analiz etmek için Tablo 4.6 incelenmiştir. Bu durumda, tabloda MSE değerleri incelendiğinde hem kontrol hem hasta grubunda Gaussian ve Median filtreleme işlemi sonrasında iki görüntü arasında daha fazla fark olduğu görülmektedir. Isı uygulaması sonrası görüntülen T2 görüntüsünün Gaussian filtreleme öncesi ve sonrası

görüntülerinin karşılaştırılmasında hasta ve kontrol grubu için anlamlı fark görülmüştür ($p<0,001$)(Tablo 4.6). Bu durumda iyileştirme işleminin kontrol grubunda hasta gruba göre anlamlı bir şekilde bazı farklılıklar içerdiğini göstermektedir. Kontrol grubunda MSE değeri istenildiği gibi daha düşüktür (Artuğer & Özkaynak, 2022) (Tablo 4.6). Fakat T1 ısı uygulanmamış görüntü için çok sınırda fark çıktığı için anlamlı denilebilir ($p=0.007$). Aynı görüntülere Median filtre uygulaması sonrasında hem T1 hem de T2 görüntülerinde MSE değerleri karşılaştırıldığında anlamlı fark görülmüştür ($p<0,001$) (Tablo 4.6). Ayrıca MSE değerlerinin termal görüntülerde farklılık ve gürültü miktarı fazla olduğundan genel olarak yüksek bir değer çıkması da normaldir.

PSNR, orijinal görüntü ile iyileştirilmiş görüntü arasındaki sinyal-gürültü oranını temsil etmektedir. PSNR'nin yüksek olması, iyileştirilmiş görüntünün orijinal görüntüye göre daha az gürültülü olduğunu göstermektedir. Jabade ve Gengaje 2011'deki çalışmasında belirtilen bir kriter olarak, PSNR değerinin kabul edilebilir olması için 30 dB'den yüksek olması gerektiğini belirtmiş fakat literatürdeki diğer çalışmalar da PSNR'nin 35 dB'den büyük olması iyi bir sonuç elde edebilmek için gerektiğini belirtmiştir (Hore & Ziou, 2010; Karakış vd., 2015). Tablo 4.6 incelendiğinde tüm PSNR değerlerinin 35 dB'den yüksek ve kabul edilebilir değerlerde olduğu görülmektedir. Bu yüksek PSNR değerleri iyileştirme işleminin kaliteli sonuçlar ürettiğini göstermektedir. Hasta ve kontrol grubu için hem T1 hem T2 görüntülerinde PSNR değerlerinin Gaussian filtre uygulamasında anlamlı fark görülmezken ($p>0,001$), Median filtre uygulamasında iki görüntü için de anlamlı fark görülmüştür ($p<0,001$)(Tablo 4.6). Burdan anlaşılaacağı üzere bizim çalışmamız için termal görüntülere Median filtre uygulanmasının Gaussian filtre uygulanmasına göre görüntülerde iyileştirmenin daha iyi olduğu ve gürültüyü azalttığı saptanmıştır. Ayrıca tabloyu incelediğimizde T1 ve T2 görüntüleri için her iki filtre uygulamasında da kontrol grubunun PSNR değerleri hasta grubuna göre yüksek çıkmıştır. Burdan da anlaşılaacağı üzere kontrol grubu görüntülerinin gürültüsü daha az ve kaliteli olduğu saptanmıştır.

MSE değeri PSNR değeriyle ters orantılıdır. Yani hata değeri büyüdükçe sinyal-gürültü oranı azalmaktadır. Tablo 4.6'daki MSE ve PSNR değerlerine bakıldığında da ters orantılı olduğu görülmektedir. Yapılan sayısal kalite kontrol analizinin destekleyici olduğunu ve elde edilen görüntülerin güvenilirliğini göstermektedir.

SSIM, orijinal görüntü ile iyileştirilmiş görüntü arasındaki yapısal benzerlik indeksini temsil etmektedir. Erkan ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada belirttikleri SSIM değerinin [0, 1] aralığında bir değer verdiği ve 1'e daha yakın bir değer olması daha yüksek korelasyonun göstergesidir. Tablo 4.6'da görüldüğü gibi tüm görüntülerde elde edilen 0.99 SSIM değeri, yüksek korelasyonu ve filtreleme işlemi sonrasında iyileştirilmiş görüntünün orijinal görüntüye yapısal olarak benzer olduğunu göstermektedir.

Tablo 4. 6. Görüntü kalite kontrol metriklerinin hasta ve kontrol grubu için karşılaştırılması

FİLTRELER	GÖRÜNTÜ ZAMANI	GÖRÜNTÜ KALİTE METRİKLERİ	KONTROL	HASTA	p değeri
GAUSSİAN FİLTRE	T1-T1F1	MSE	4,15±1,27	6,11±3,38	0,007
		PSNR	39,74±1,54	38,56±2,14	0,023
		SSIM	0,99±0,0	0,99±0,0	1,00
	T2-T2F1	MSE	5,72±0,94	8,23±2,37	<0,001
		PSNR	38,15±1,47	37,25±1,31	0,049
		SSIM	0,99±0,0	0,99±0,0	1,00
MEDİAN FİLTRE	T1-T1F2	MSE	3,89 ±1,99	8,25±5,76	<0,001
		PSNR	41,63±2,16	38,76±2,92	<0,001
		SSIM	0,99±0,0	0,99±0,0	1,00
	T2-T2F2	MSE	6,33±2,14	12,06±4,67	<0,001
		PSNR	38,91±1,48	36,38±1,84	<0,001
		SSIM	0,99±0,0	0,99±0,0	1,00

*SSIM değeri [0, 1] aralığındadır.

*PSNR değerinin 35dB'den yüksek olması gerekmektedir.

4.5. ROC Analizi Bulguları ve Değerlendirilmesi

Sarkopenik hastalar ile kontrol grubu gönüllülere T2 değerlerinin öngörmedeki etkisini değerlendirmek ve bir kesim noktası (Cut-off değeri) bulmak için ROC analizi yapıldı.

Sarkopeni durumu için, T2 parametrelerin kesim noktaları değerlendirildiğinde istatistiksel düzeyde anlamlı sonuçlar olmadığı ve sensitivite ve spesifite değerlerinin

çok düşük olduğu belirlendi (AUC değeri=0,08; Standart hata=0,04; $p<0,001$; %95Güven Aralığı=0,004-0,16). Ancak sağlıklılık durumunu belirlemede T2 için sensitivite ve spesifite değerlerinin kabul edilebilir düzeylerde olduğu görüldü (AUC değeri=0,91; Standart hata=0,04; $p<0,001$; %95GA=0,83-0,99). Buna göre bir kişinin T2 değerine bakarak sağlıklı diyebilmek için ideal kesim (cut-off) noktası olarak **37,525** alınması halinde sensitivite %95 ve spesifite %71 olarak değerlendirilmiştir. Bir başka deyişle bu kesim noktası ile sağlıklı olduğu bilinen bireylerin %95 ihtimalle doğru şekilde sağlıklı diyebilirken, sarkopenik hastaların %71'ini doğru şekilde sarkopenik olarak tanımlanabilmektedir.

Yapılan ROC analizi sonuçları (Tablo 4.7.A ve 4.7.B) ve ROC eğrisi Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

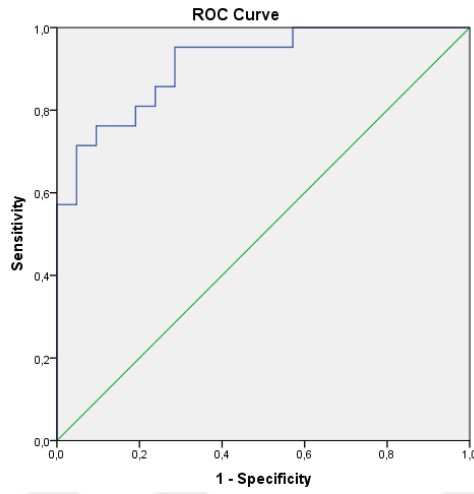
Tablo 4.7. A. T2 değerlerinin sağlıklılık durumunu belirlemede etkisi

Sağlıklılık durumu için	Eğri altında kalan alan (%)	Standart hata	P değeri	% 95 GA
T2	95,0	0.04	<0,001	0.83-0.99

Tablo 4.7. B. T2 değerlerinin sağlıklılık durumunu belirlemedeki kesim noktaları

Sağlıklılık durumu için	Kesim noktası	Duyarlılık (%) (Sensitivite)	Özgüllük (%) (Spesifite)
T2	30,5800	0,952	0,429
	31,5600	0,952	0,476
	32,5500	0,952	0,524
	33,2750	0,952	0,571
	34,8350	0,952	0,619
	36,6250	0,952	0,667
	37,5250	0,952	0,714
	37,6400	0,905	0,714
	37,9500	0,857	0,714
	38,5150	0,857	0,762

39,0650	0,810	0,762
40,2650	0,810	0,81
41,8150	0,762	0,81
42,5950	0,762	0,857
42,9400	0,762	0,905
43,6000	0,714	0,905



Şekil 4. 1. Sağlıklılık durumuna yönelik T2 değeri için ROC eğrisi

Bu çalışmada bireylerden alınan dinlenmiş halde ve ısı uygulaması sonrası termal görüntüler anlamlı değişim olup olmadığı saptanmıştır. Veri seti oluşturulurken Testo 865 termal kamera kullanılarak elde edilen dinlenmiş halde termal görüntüler (T1) ve sıcak su torbası uygulaması sonrası elde edilen termal görüntüler (T2) olarak değerlendirilmiştir. Hasta ve kontrol grubunun karşılaştırmasında istatistiksel olarak anlamlı değişimler saptanmıştır. Bu sonuçlara göre daha ucuz ve ulaşılabilir bir cihaz olan termal kameraların ısı uygulaması sonrası cilt sıcaklığını göstermede etkin olduğu düşünülmektedir. Gerçekleştirilen iyileştirme uygulamalarının görüntü kalite kontrol metriklerinden MSE, PSNR ve SSIM kullanılarak yorumlanmıştır. Ayrıca, görsel olarak da sonuçları değerlendirebilmek amacıyla her iki uygulamaya ait örnek görüntüler de sunulmuştur. Sonuç olarak, görülen değerler iyileştirme işleminin kaliteli ve etkili olduğunu göstermektedir. MSE'nin düşük olması, PSNR'nin yüksek olması ve SSIM'nin 1'e yakın olması, iyileştirme işleminin orijinal görüntüye yakın bir sonuç ürettiğini ve gürültüyü azalttığını göstermektedir.

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasının araştırılması sırasında, sarkopenik bireylerin tanısında kullanılan geleneksel yöntemlerin dezavantajlarının bulunması nedeniyle bu yöntemlere alternatif bir yöntem arayışının yapılması gerektiği görülmüştür. Araştırmalarda gözlemlenen termal kameraların tıpta diğer bir çok alanda geniş uygulanabilirliği olması sarkopenik bireyler için de kas görüntüleme yararları olup olmadığı sorgulanmıştır.

Bu yüksek lisans tezinde, çalışma 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, kontrol ve sarkopenik hasta grubunun belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada, sarkopeni tanısında kas kütlesi değerlendirilmesinde kullanılan geleneksel yöntemlerden el kavrama gücü ölçüm testi, ÜOKÇ, TDKK, ÜOKKA içeren antropometrik ölçümler katılımcılara uygulanmıştır. Üçüncü aşamada, kol kası termal görüntüleme, görüntülerin iyileştirilmesi ve görüntü kalite-kontrollerinin analizi yapılmıştır. Çalışmanın bu aşamalarında şu sonuçlar elde edilmiştir:

- 1) Anket formu bulguları: Kontrol ve hasta grubu arasında cinsiyet açısından anlamlı fark olmadığı ($p=0,53$), kronik hastalık ve sürekli ilaç kullanma durumu parametrelerinden hem hasta grubu hem kontrol grubu için istatistiksel anlamlı olduğu görüldü ($p<0,001$). Günlük protein(et,süt,yumurta...) ve karbonhidrat(ekmek, tahıl...) tüketiminin, sebze-meyve yeme sıklığının, porsiyon tüketiminin fark çıkmaması ve yakın değerlerde çıkması hasta ve kontrol grubunun doğru seçildiğini, her iki grubun da besin grupları açısından farklı olmadan benzer oranda beslendiğini gösterdi. Egzersiz ve fiziksel aktivite verileri sonuçlarında da homojen dağılım sağlanarak kişilerin spor yapma sıklığı, kaslarını kullanma durumu hakkında bizi bilgilendirdi. Anket bulguları değerlendirildiğinde sonuçlar grup seçiminin güvenilir olduğunu gösterdi.
- 2) Veri toplama formu bulguları: Sırasıyla BKİ, EKG, ÜOKÇ ve ÜOKKA değerlerinde iki grup arasındaki farkın istatistiksel anlamlı olduğu görüldü. Bunlar çalışmanın güvenilirliğini destekleyen bulgulardır.
- 3) Geleneksel yöntemlerle ve termal görüntüleme yöntemiyle elde edilen bulgular: Kontrol ve hasta grubunda dinlenmiş halde(ısı uygulanmamış) T1 ham termal görüntüsünde çizilen biceps kası alanının(cm^2), T2 ısı uygulanmış termal görüntüsünde çizilen biceps kası alanı(cm^2) ile arasında anlamlı fark

olduğu saptandı ve ısı uygulamasının kas kütlesi ölçümünde güvenilirliği belirlendi. Ayrıca grubu belirlemedeki güvenilirlik için saptanan hem T1 hem T2 alanları için çıkan p değerinin 0,001 olduğu görüldü. Bu durumda da sarkopenik hasta seçiminin doğru yapıldığı gözlemlendi. Korelasyonel analizlere göre kontrol grubunda ÜOKKA değerlerinin T2, T2F1 ve T2F2 ile pozitif yönde orta güç seviyesinde istatistiksel anlamlı doğrusal bir ilişkisi ve T1, T2, T2F1 ve T2F2 parametrelerinin birbirleriyle ilişkilerinin de istatistiksel düzeyde anlamlı olduğu belirlendi. Sarkopenik hasta grubunda ÜOKKA değerlerinin T1 ve T2 ile pozitif yönde çok güçlü istatistiksel olarak çok anlamlı düzeyde korelasyonunun olduğu ve ÜOKKA ile T2F1 ve T2F2 arasında ise orta güçte korelasyonunun olduğu belirlendi.

- 4) Görüntü kalite kontrol metrikleri bulguları: Kontrol grubunda MSE değeri istenildiği gibi daha düşük olduğu görüldü. Biceps kas alanı hesabında uygulanan filtrelerin sayısal verilerinde ÜOKKA değerleri ile istatistiksel anlamda uyumlu olmadığı fakat T2 termal görüntülerinde ÜOKKA ile değerlerin uyumlu olduğu bulundu. Median filtre uygulaması sonrasında hem T1 hem de T2 görüntülerinde MSE değerleri karşılaştırıldığında anlamlı fark görüldü. Hasta ve kontrol grubu için hem T1 hem T2 görüntülerinde PSNR değerlerinin Gaussian filtre uygulamasında anlamlı fark görülmezken ($p>0,001$), Median filtre uygulamasında iki görüntü için de anlamlı fark bulundu ($p<0,001$). Bizim çalışmamız için termal görüntülere Median filtre uygulanmasının Gaussian filtre uygulanmasına göre görüntülerde iyileştirmenin daha iyi olduğu ve gürültüyü azalttığı saptandı. T1 ve T2 görüntüleri için her iki filtre uygulamasında da kontrol grubunun PSNR değerleri hasta grubuna göre yüksek çıkmıştır. Kontrol grubu görüntülerinin gürültüsü daha az ve kaliteli olduğu saptandı. Yapılan sayısal kalite kontrol analizinin destekleyici olduğunu ve elde edilen görüntülerin güvenilirliğini görüldü. SSIM'nin 1'e yakın olması, iyileştirilmiş görüntünün orijinal görüntüye yapısal olarak benzer olduğunu gösterdiğinden tüm görüntülerde elde edilen 0.99 SSIM değeri, yüksek korelasyonun göstergesidir.
- 5) ROC analizi bulguları; Bu tez çalışmasında önerilen ısı uygulamalı T2 görüntüleri üzerinden biceps alanı hesaplandı ve tanı desteği amaçlı bir cut-off değeri bulmak amacıyla ROC analizi yapıldı. Bir kişinin T2 değerine bakarak sağlıklı diyebilmek için ideal kesim (cut-off) noktası olarak 37,525 alınması

halinde sensitivite %95 ve spesifite %71 olarak değerlendirildi. Bir başka deyişle bu kesim noktası ile sağlıklı olduğu bilinen bireylerin %95 ihtimalle doğru şekilde sağlıklı diyebilirken, sarkopenik hastaların %71'ini doğru şekilde sarkopenik olarak tanımlanabilmektedir. Bu değerin üstünde ise sağlıklı denilebilir, altında ise sarkopenik olarak değerlendirme testlerine tabi tutulmalı denilebilir. Cut-off değerinin altındaki bireyler sarkopeni açısından değerlendirilsin önerisinde bulunulabilir. Bulunan cut-off değeri henüz başlangıç halinde sarkopeniye eğilimli hastaların belirlenmesi için önemlidir ve hafif, orta ve şiddetli sarkopeni vakalara sınıflandırmak için kullanılabilir. Bu çalışmada elde edilen bulgular çalışmanın başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini ve birbiri ile uyumlu olduğunu göstermektedir.

Tez çalışmasında sonuç olarak, invaziv olmayan, iyonlaştırıcı radyasyonsuz, yüzey teması olmayan bir yöntem olmasının avantajları ile termal kamera ile görüntüleme yönteminin tıp alanında geleneksel yöntemlere alternatif olarak kullanılabileceği öngörülmüştür. Böylece, termal görüntüleme teknikleri, X-ışınları, BT gibi radyolojik yöntemlerin iyonize radyasyon içermeleri ve pahalı olmaları, USG, MRG yöntemlerin de pahalı olmaları nedeniyle hasta sağlığına dezavantaj etkisini ortadan kaldırarak bu araştırmalara tamamlayıcı olabilir. Çözünürlüğü yüksek bir termal kamera ve uygun yazılımlarla 3 boyutlu hale getirilen görüntülerle daha etkili sonuçlar elde edilebileceği öngörülmektedir. Bu öngörünün desteklenmesi için tespit edilen bölgeleri sıcaklığa göre sınıflandırmak için sınıflandırma kriterleri kullanılarak daha ileri görüntü işleme kullanılabilir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda hedef kısımlara odaklanılmasının ve daha iyi çözünürlükte termal kameralarla uygulamaların başarıyı daha da artırabileceği öngörülmektedir. Ayrıca, düşük çözünürlükteki termal kamera ile elde edilen termal görüntülerle bile sonuçların belirgin olması, renk tonları ve yapı olarak yüksek çözünürlüklü bir termal kamera ile çekilmesi durumunda görüntülerdeki iyileşmenin MSE/PSNR/SSIM gibi sayısal sonuçlara da yansması o derecede mümkün olacaktır.

Bu çalışma, termal kamera ile elde edilen kol görüntülerinin kaslı bölgeye odaklanılarak o bölgenin analizini uygun bir yazılımla gerçekleştirmesi yönünden özellikle sarkopenik bireyler için bize umut vermektedir. Termal kameranın tıptaki farklı ilgi alanlarında kullanımının yaygınlaşması için araştırmacıların daha fazla termal görüntüleme uygulamalarına odaklanmalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKÇA

- Abreu, G., Sbaiz, L., Fernández, V., & Sánchez, J. (2017). Thermal Image Denoising using Median Filters with Adaptive Window Sizes. *In 2017 Conference on Design of Circuits and Integrated Systems (DCIS)* (pp. 1-6). Barcelona.
- Agarwal, A., & Singh, G. K. (2017). Image enhancement techniques for thermal images: a survey. *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, 38(12), 1689-1711.
- Alan, A. (2012). Termografi ve veteriner hekimliğinde kullanımı. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 9(2), 133-140.
- Al-Nakhli, H. H., Petrofsky, J. S., Laymon, M. S., & Berk, L. S. (2012). The use of thermal infra-red imaging to detect delayed onset muscle soreness. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, (59), e3551.
- Ammer, K. (2009). Cold challenge to provoke a vasospastic reaction in fingers determined by temperature measurements: a systematic review. *Thermol Int*, 19(4), 109-118.
- Artuğer, F., & Özkaynak, F. (2022). Görüntü Sıkıştırma Algoritmalarının Performans Analizi İçin Değerlendirme Rehberi. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 8(1), 102-110.
- Atalay, Y. B., Ünal, A. M., Oğul, A., Ercan, S., & Çetin, C. (2018). Patellar Tendon Üzerine Sıcak-Soğuk Uygulamalarının Tork-Zaman Parametrelerine Etkisi. *Spor Hekimliği Dergisi*, 53(4), 152-159.
- Bagavathiappan, S., Saravanan, T., Philip, J., Jayakumar, T., Raj, B., Karunanithi, R., ... & Jagadeesan, K. (2009). Infrared thermal imaging for detection of peripheral vascular disorders. *Journal of medical physics/Association of Medical Physicists of India*, 34(1), 43.
- Bakanlığı, S. (2010). Türkiye beslenme ve sağlık araştırması (TBSA) 2010: Saha uygulaması el kitabı. *Sağlık Bakanlığı Yayın*, (931).
- Barazzoni, R., Bischoff, S., Boirie, Y., Busetto, L., Cederholm, T., Dicker, D., ... & Vettor, R. (2018). Sarcopenic obesity: time to meet the challenge. *Obesity facts*, 11(4), 294-305.
- Barkoukis, H. (2016). Nutrition recommendations in elderly and aging. *Medical Clinics*, 100(6), 1237-1250.
- Batsis, J. A., Mackenzie, T. A., Barre, L. K., Lopez-Jimenez, F., & Bartels, S. J. (2014). Sarcopenia, sarcopenic obesity and mortality in older adults: results from the National Health and Nutrition Examination Survey III. *European journal of clinical nutrition*, 68(9), 1001-1007.
- Batsis, J. A., & Villareal, D. T. (2018). Sarcopenic obesity in older adults: aetiology, epidemiology and treatment strategies. *Nature Reviews Endocrinology*, 14(9), 513-537.
- Baumgartner, R. N., Koehler, K. M., Gallagher, D., Romero, L., Heymsfield, S. B., Ross, R. R., ... & Lindeman, R. D. (1998). Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico. *American journal of epidemiology*, 147(8), 755-763.
- Bleakley, C. M., & Costello, J. T. (2013). Do thermal agents affect range of movement and mechanical properties in soft tissues? A systematic review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 94(1), 149-163.
- Boyat, A. K., & Joshi, B. K. (2015). A review paper: noise models in digital image processing. *arXiv preprint arXiv:1505.03489*.
- Bronzino, J. D. (2006). Infrared imaging of the breast—an overview. *Biomedical Engineering handbook—Medical Systems and Devices*, 30 ed., CRC.

- Brooks, A. C., Zhao, X., & Pappas, T. N. (2008). Structural similarity quality metrics in a coding context: exploring the space of realistic distortions. *IEEE Transactions on image processing*, 17(8), 1261-1273.
- Burton, L. A., & Sumukadas, D. (2010). Optimal management of sarcopenia. *Clinical interventions in aging*, 217-228.
- Cannon, B., & Nedergaard, J. A. N. (2004). Brown adipose tissue: function and physiological significance. *Physiological reviews*.
- Chechi, K., Nedergaard, J., & Richard, D. (2014). Brown adipose tissue as an anti-obesity tissue in humans. *Obesity Reviews*, 15(2), 92-106.
- Choi, K. M. (2013). Sarcopenia and sarcopenic obesity. *Endocrinology and metabolism*, 28(2), 86-89.
- Choi, K. M. (2016). Sarcopenia and sarcopenic obesity. *Korean J Intern Med* 31, 1054-60.
- Collins, A. J., Ring, E. F., Cosh, J. A., & Bacon, P. A. (1974). Quantitation of thermography in arthritis using multi-isothermal analysis. I. The thermographic index. *Annals of the rheumatic diseases*, 33(2), 113.
- Cruz-Jentoft, A. J., Landi, F., Topinková, E., & Michel, J. P. (2010). Understanding sarcopenia as a geriatric syndrome. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 13(1), 1-7.
- Cruz-Jentoft, A. J., Bahat, G., Bauer, J., Boirie, Y., Bruyère, O., Cederholm, T., ... & Zamboni, M. (2019). Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age and ageing*, 48(1), 16-31.
- Çalışan, M., & Türkoğlu. (2013) İ. Improvement of Thermal Camera Images Termal Kamera Görüntülerinin İyileştirilmesi. *7th International Advanced Technologies Symposium (IATS'13)* (Vol. 30).
- Çalışan, M., 2013, Termal Kamera Görüntülerinin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimler Enstitüsü, Elazığ
- Çaylı, A., Akyüz, A., Baytorun, A. N., Üstün, S., & Boyacı, S. (2016). Seralarda Isı Kaybına Neden Olan Yapısal Sorunların Termal Kamera ile Belirlenmesi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 19(1), 5-14.
- Dey, N., Ashour, A. S., & Althoupey, A. S. (2017). Thermal imaging in medical science. *Recent Advances in Applied Thermal Imaging for Industrial Applications*, 87-117.
- Dişçigil, G., & Sökmen, Ü. N. (2017). Yaşlılıkta sarkopeni. *The Journal of Turkish Family Physician*, 8(2), 49-54.
- Drzazga, Z., Binek, M., Pokora, I., & Sadowska-Krępa, E. (2018). A preliminary study on infrared thermal imaging of cross-country skiers and swimmers subjected to endurance exercise. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 134(1), 701-710.
- Erkan, U., Thanh, D. N., Enginoğlu, S., & Memiş, S. (2020, June). Improved adaptive weighted mean filter for salt-and-pepper noise removal. In *2020 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE)* (pp. 1-5). IEEE.
- Elmas, Ö. (2018). Sarkopenik Yaşlı Bireylerde Fonksiyonel Durumun Değerlendirilmesi.
- Fearon, K., Strasser, F., Anker, S. D., Bosaeus, I., Bruera, E., Fainsinger, R. L., ... & Baracos, V. E. (2011). Definition and classification of cancer cachexia: an international consensus. *The lancet oncology*, 12(5), 489-495.
- Fess, E. E. M. C. (1981). Clinical assessment recommendations. *American society of hand therapists*, 6-8.

- Friedman, P. J., Campbell, A. J., & Caradoc-Davies, T. H. (1985). Prospective trial of a new diagnostic criterion for severe wasting malnutrition in the elderly. *Age and ageing*, 14(3), 149-154.
- Gonzalez, R.C. & Woods, R.E. (2007). Digital Image Processing, 3rd Edition. *Pearson Prentice Hall*.
- Goodfellow I., Pouget-Abadie J., Mirza M., Xu B., Warde-Farley D., Ozair S., Courville A. and Bengio Y. (2014). Generative adversarial networks. *In Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS)*, 2672–2680.
- Goodpaster, B. H., Carlson, C. L., Visser, M., Kelley, D. E., Scherzinger, A., Harris, T. B., ... & Newman, A.B. (2001). Attenuation of skeletal muscle and strength in the elderly: The Health ABC Study. *Journal of applied physiology*, 90(6), 2157-2165.
- Guyot, G. (1998). Physics of the Environment and Climate.(Wiley-Praxis Series in Atmospheric Physics and Climatology). *John Wiley and Sons-Praxis Publishing Association*, GB, 632 pp
- Hagerman, F. C., Walsh, S. J., Staron, R. S., Hikida, R. S., Gilders, R. M., Murray, T. F., ... & Ragg, K. E. (2000). Effects of high-intensity resistance training on untrained older men. I. Strength, cardiovascular, and metabolic responses. *The journals of gerontology series A: Biological Sciences and medical sciences*, 55(7), B336-B346.
- Hasten, D. L., Pak-Loduca, J., Obert, K. A., & Yarasheski, K. E. (2000). Resistance exercise acutely increases MHC and mixed muscle protein synthesis rates in 78–84 and 23–32 yr olds. *American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism*, 278(4), E620-E626.
- Hemanth, G., Janardhan, M., & Sujihelen, L. (2019, April). Design and implementing brain tumor detection using machine learning approach. *In 2019 3rd international conference on trends in electronics and informatics (ICOEI)* (pp. 1289-1294). IEEE.
- Hildebrandt, C., Raschner, C., & Ammer, K. (2010). An overview of recent application of medical infrared thermography in sports medicine in Austria. *Sensors*, 10(5), 4700-4715.
- Hillman, T. E., Nunes, Q. M., Hornby, S. T., Stanga, Z., Neal, K. R., Rowlands, B. J., ... & Lobo, D. N. (2005). A practical posture for hand grip dynamometry in the clinical setting. *Clinical nutrition*, 24(2), 224-228.
- Hirschfeld, H. P., Kinsella, R., & Duque, G. J. O. I. (2017). Osteosarcopenia: where bone, muscle, and fat collide. *Osteoporosis International*, 28, 2781-2790.
- Hore, A., & Ziou, D. (2010, August). Image quality metrics: PSNR vs. SSIM. *In 2010 20th international conference on pattern recognition* (pp. 2366-2369). IEEE.
- Hossam, A., Harb, H. M., & Abd El Kader, H. M. (2018). Automatic image segmentation method for breast cancer analysis using thermography. *JES. Journal of Engineering Sciences*, 46(1), 12-32.
- Hurnik, J. F., Boer, S. D., & Webster, A. B. (1984). Detection of health disorders in dairy cattle utilizing a thermal infrared scanning technique. *Canadian Journal of Animal Science*, 64(4), 1071-1073.
- Ishimwe, R., Abutaleb, K., & Ahmed, F. (2014). Applications of thermal imaging in agriculture—A review. *Advances in remote Sensing*, 3(03), 128.
- Jabade, V. S., & Gengaje, S. R. (2011). Literature review of wavelet based digital image watermarking techniques. *International Journal of Computer Applications*, 31(7), 28-35.

- Javaid, H., Babar, T. K., Rasool, A., & Saghir, R. U. (2013). Video colour variation detection and motion magnification to observe subtle changes.
- Jena, S. K., & Das, B. B. (2019). Thermal Image Denoising using Median Filtering and Wavelet Transform. In *2019 International Conference on Computer, Communication, Chemical, Material and Electronic Engineering (IC4ME2)* (pp. 1-5). Bhubaneswar, India.
- Jiang, L. J., Ng, E. Y. K., Yau, W. Y., & Jiang, S. (2005). Wu XD, A Perspective on Medical IR Imaging. *Int. J. Med. Eng. Technol*, 29(6), 257-267.
- Jo, Y. H., Lee, C. H., & Yoo, J. H. (2013). Study on applicability of passive infrared thermography analysis for blistering detection of stone cultural heritage. *Journal of Conservation Science*, 29(1), 55-67.
- Jozsi, A. C., Campbell, W. W., Joseph, L., Davey, S. L., & Evans, W. J. (1999). Changes in power with resistance training in older and younger men and women. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, 54(11), M591-M596.
- Kahdum, A. I. (2017). Image steganalysis using image quality metrics (Structural Contents Metric). *Ibn AL-Haitham Journal For Pure and Applied Science*, 21(4), 24-31.
- Kapoor, P., Prasad, S. V. A. V., & Patni, S. (2012). Automatic analysis of breast thermograms for tumor detection based on biostatistical feature extraction and ANN. *International journal of emerging trends in engineering and development*, 2(7), 245-255.
- Karakış, R., Güler, İ., Çapraz, I., & Bilir, E. (2015). A novel fuzzy logic-based image steganography method to ensure medical data security. *Computers in biology and medicine*, 67, 172-183.
- Kaushik, P., & Sharma, Y. (2012). Comparison of different image enhancement techniques based upon PSNR & MSE. *International Journal of Applied Engineering Research*, 7(11), 2010-2014.
- Keller, K. (2019). Sarcopenia. *Wiener Medizinische Wochenschrift*, 169(7), 157-172.
- Keskinler, M. V., Tufan, F., & Oğuz, A. (2013). Geriatrik sendromlar. *Okmeydanı tıp dergisi*, 29(2), 41-48.
- Kumar, R., & Moyal, V. (2013). Visual image quality assessment technique using fsm. *International Journal of Computer Applications Technology and Research*, 2(3), 250-254.
- Kutsal, Y. G., Özdemir, O., Sarıdoğan, M., Günendi, Z., Küçükdeveci, A., Kirazlı, Y., & Meray, J. (2020). Osteosarkopeni: Klinik Perspektif. *Turkish Journal of Osteoporosis/Turk Osteoporoz Dergisi*, 26(2).
- Kuyumcu, M. E. (2014). Sarkopenik Yaşlı Hastalarda Ultrasonografik Olarak Kas Mimarisinin Değerlendirilmesi.
- Lahiri, B. B., Bagavathiappan, S., Jayakumar, T., & Philip, J. (2012). Medical applications of infrared thermography: a review. *Infrared physics & technology*, 55(4), 221-235.
- Lauretani, F., Russo, C. R., Bandinelli, S., Bartali, B., Cavazzini, C., Di Iorio, A., ... & Ferrucci, L. (2003). Age-associated changes in skeletal muscles and their effect on mobility: an operational diagnosis of sarcopenia. *Journal of applied physiology*, 95(5), 1851-1860.
- Law, J., Chalmers, J., Morris, D. E., Robinson, L., Budge, H., & Symonds, M. E. (2018). The use of infrared thermography in the measurement and characterization of brown adipose tissue activation. *Temperature*, 5(2), 147-161.

- Law, J., Morris, D. E., Izzi-Engbeaya, C., Salem, V., Coello, C., Robinson, L., ... & Symonds, M. E. (2018). Thermal imaging is a noninvasive alternative to PET/CT for measurement of brown adipose tissue activity in humans. *Journal of Nuclear Medicine*, 59(3), 516-522.
- Legrand, D., Vaes, B., Matheï, C., Swine, C., & Degryse, J. M. (2013). The prevalence of sarcopenia in very old individuals according to the European consensus definition: insights from the BELFRAIL study. *Age and ageing*, 42(6), 727-734.
- Liguori, I., Russo, G., Aran, L., Bulli, G., Curcio, F., Della-Morte, D., ... & Abete, P. (2018). Sarcopenia: assessment of disease burden and strategies to improve outcomes. *Clinical interventions in aging*, 13, 913.
- Liu, C. J., & Latham, N. K. (2009). Progressive resistance strength training for improving physical function in older adults. *Cochrane database of systematic reviews*, (3).
- Liu, J., Wang, X., Li, Y., Liu, J., & Yang, X. (2018). Thermal Image Denoising Based on Multi-Stage Median Filter. In *2018 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)* (pp. 3203-3207). Athens, Greece.
- Mathiowetz, V., Weber, K., Volland, G., & Kashman, N. (1984). Reliability and validity of grip and pinch strength evaluations. *The Journal of hand surgery*, 9(2), 222-226.
- Mathiowetz, V., Kashman, N., Volland, G., Weber, K., Dowe, M., & Rogers, S. (1985). Grip and pinch strength: normative data for adults. *Arch Phys Med Rehabil*, 66(2), 69-74.
- Messina, C., Maffi, G., Vitale, J. A., Ulivieri, F. M., Guglielmi, G., & Sconfienza, L. M. (2018). Diagnostic imaging of osteoporosis and sarcopenia: a narrative review. *Quantitative imaging in medicine and surgery*, 8(1), 86.
- Modest, M. F. (1993). Radiative heat transfer. *New York: McGraw-Hill International Editions*.
- Morley, J. E. (2008). Sarcopenia: diagnosis and treatment. *The Journal of Nutrition Health and Aging*, 12(7), 452-456.
- Mouahid, A. (2018). Infrared thermography used for composite materials. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 191, p. 00011). EDP Sciences.
- Mourtzakis, M., Prado, C. M., Lieffers, J. R., Reiman, T., McCargar, L. J., & Baracos, V. E. (2008). A practical and precise approach to quantification of body composition in cancer patients using computed tomography images acquired during routine care. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 33(5), 997-1006.
- Owotogbe, J. S., Ibiyemi, T. S., & Adu, B. A. (2019). A comprehensive review on various types of noise in image processing. *int. J. Sci. eng. res*, 10(11), 388-393.
- Pan, Z., & Atungulu, G. G. (2010). *Infrared heating for food and agricultural processing*. CRC Press.
- Papadopoulou, S. K., Tsintavis, P., Potsaki, G., & Papandreou, D. (2020). Differences in the prevalence of sarcopenia in community-dwelling, nursing home and hospitalized individuals. A systematic review and meta-analysis. *The journal of nutrition, health & aging*, 24, 83-90.
- Pekcan, G. (2008). Beslenme durumunun saptanması. *Diyet El Kitabı*, 726, 67-141.
- Petak, S., Barbu, C. G., Elaine, W. Y., Fielding, R., Mulligan, K., Sabowitz, B., ... & Shepherd, J. A. (2013). The Official Positions of the International Society for Clinical Densitometry: body composition analysis reporting. *Journal of Clinical Densitometry*, 16(4), 508-519.
- Priya, K., & Selvathi, S. (2020). Denoising of Thermal Images using Modified Median Filter and Image Fusion. In *2020 IEEE International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCAN)* (pp. 206-211). Chennai, India.

- Purcell, S. A., MacKenzie, M., Barbosa-Silva, T. G., Dionne, I. J., Ghosh, S., Olobatuyi, O. V., ... & Prado, C. M. (2020). Sarcopenia prevalence using different definitions in older community-dwelling Canadians. *The journal of nutrition, health & aging*, 24, 783-790.
- Puri, C., Olson, L., Pavlidis, I., Levine, J., & Starren, J. (2005, April). StressCam: non-contact measurement of users' emotional states through thermal imaging. In *CHI'05 extended abstracts on Human factors in computing systems* (pp. 1725-1728).
- Rajmanova, P., Nudzikova, P., & Vala, D. (2015). Application and technology of thermal imagine camera in medicine. *IFAC-PapersOnLine*, 48(4), 492-497.
- Ring, E. F. J. (1990). Quantitative thermal imaging. *Clinical Physics and Physiological Measurement*, 11(4A), 87.
- Ring, E. F. J. (2000). The discovery of infrared radiation in 1800. *The Imaging Science Journal*, 48(1), 1-8.
- Ring, E. F. J., & Ammer, K. (2012). Infrared thermal imaging in medicine. *Physiological measurement*, 33(3), R33.
- Rolland, Y., Czerwinski, S., Van Kan, G. A., Morley, J. E., Cesari, M., Onder, G., ... & Vellas, B. (2008). Sarcopenia: its assessment, etiology, pathogenesis, consequences and future perspectives. *The Journal of Nutrition Health and Aging*, 12(7), 433-450.
- Rosenberg, I. H. (1997). Sarcopenia: origins and clinical relevance. *The Journal of nutrition*, 127(5), 990S-991S.
- Roth, S. M., Martel, G. F., Ivey, F. M., Lemmer, J. T., Tracy, B. L., Metter, E. J., ... & Rogers, M. A. (2001). Skeletal muscle satellite cell characteristics in young and older men and women after heavy resistance strength training. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 56(6), B240-B247.
- Rybárová, S., & Novotný, J. (2015). Skin temperature changes of muscle regions in training swimmers. *Journal of Human Sport and Exercise*, 10(1), S192-S197.
- Sancibrian, R., Gutierrez-Diez, M. C., Redondo-Figuero, C., Sarabia, E. G., Benito-Gonzalez, M. A., & Manuel-Palazuelos, J. C. (2016, April). Thermal Imaging-Based Muscular Activity in the Biomechanical Study of Surgeons. In *International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering* (pp. 163-174). Springer, Cham.
- Simsek, H., Meseri, R., Sahin, S., Kilavuz, A., Bicakli, D. H., Uyar, M., ... & Akcicek, F. (2019). Prevalence of sarcopenia and related factors in community-dwelling elderly individuals. *Saudi medical journal*, 40(6), 568-574.
- Sivanandam, S., Anburajan, M., Venkatraman, B., Menaka, M., & Sharath, D. (2012). Medical thermography: a diagnostic approach for type 2 diabetes based on non-contact infrared thermal imaging. *Endocrine*, 42, 343-351.
- Shahid, M., Rossholm, A., & Lövfström, B. (2011, October). A reduced complexity no-reference artificial neural network based video quality predictor. In *2011 4th International Congress on Image and Signal Processing* (Vol. 1, pp. 517-521). IEEE.
- Sidossis, L., & Kajimura, S. (2015). Brown and beige fat in humans: thermogenic adipocytes that control energy and glucose homeostasis. *The Journal of clinical investigation*, 125(2), 478-486.
- Sontakke, M. D., & Kulkarni, M. S. (2015). Different types of noises in images and noise removing technique. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, 3(1), 102-115.
- Sousa, A. S., Guerra, R. S., Fonseca, I., Pichel, F., Ferreira, S., & Amaral, T. F. (2016). Financial impact of sarcopenia on hospitalization costs. *European journal of clinical nutrition*, 70(9), 1046-1051.

- Söyleme, R. 65 yaş ve üzeri tip 2 diyabetli bireylerde sarkopeni sıklığının saptanması ve sarkopeni risk faktörlerinin tanımlanması (Master's thesis, Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
- Steffl, M., Sima, J., Shiells, K., & Holmerova, I. (2017). The increase in health care costs associated with muscle weakness in older people without long-term illnesses in the Czech Republic: results from the Survey of Health, Ageing and Retirement in Europe (SHARE). *Clinical interventions in aging*, 2003-2007.
- Suetta, C., Haddock, B., Alcazar, J., Noerst, T., Hansen, O. M., Ludvig, H., ... & Simonsen, L. (2019). The Copenhagen Sarcopenia Study: lean mass, strength, power, and physical function in a Danish cohort aged 20–93 years. *Journal of cachexia, sarcopenia and muscle*, 10(6), 1316-1329.
- Sun, L., Yan, J., Velan, S. S., & Leow, M. K. S. (2017). A synopsis of brown adipose tissue imaging modalities for clinical research. *Diabetes & metabolism*, 43(5), 401-410.
- Şenalp, F. M., & Ceylan, M. (2022). Deep learning based super resolution application for a new data set consisting of thermal facial images. *Journal Of Polytechnic-Politeknik Dergisi*.
- Şirel, D., Akgül, E., Bayaroğulları, H., Sarpel, Y. (2001). Synovial hemangioma of the knee. *Official Journal of the Turkish Society of Radiology*, 7(1), 131-134.
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2022) İstatistiklerle Yaşlılar, 49667. Erişim: 17 nisan 2023 <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Istatistiklerle-Yasli-lar-2022-49667>
- Tüzün, S. (2019). Sarkopenik Obezite ile İlgili Güçlükler. *Jour Turk Fam Phy*, 10(4), 214-216.
- Vardasca, R. Â. R. (2010). The effect of work related mechanical stress on the peripheral temperature of the hand. *University of South Wales (United Kingdom)*.
- Varnan, C. S., Jagan, A., Kaur, J., Jyoti, D., & Rao, D. S. (2011). Image Quality Assessment Techniques On Spatial Domain. *International Journal of Computer Science and Technology*, 2(3), 2229-4333.
- Vural, M. F., Kiziloğlu, C., & Turgay, E. (2009, April). FPGA based real-time efficient histogram equalization. In *2009 IEEE 17th Signal Processing and Communications Applications Conference* (pp. 49-52). IEEE.
- Woods, R.E & Gonzalez, R.C. (2008). Digital image processing.
- World Health Organization. (1998). Obesity: preventing and managing the global epidemic: report of a WHO consultation on obesity. In *WHO Consultation on Obesity*. World Health Organization.
- Yamada, M., Nishiguchi, S., Fukutani, N., Tanigawa, T., Yukutake, T., Kayama, H., ... & Arai, H. (2013). Prevalence of sarcopenia in community-dwelling Japanese older adults. *Journal of the American Medical Directors Association*, 14(12), 911-915.
- Yarasheski, K. E., Zachwieja, J. J., & Bier, D. M. (1993). Acute effects of resistance exercise on muscle protein synthesis rate in young and elderly men and women. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 265(2), E210-E214.
- Yılmaz, E. (2019). Subklinik Ateroskleroz ve Sarkopeni İlişkisi.

EKLER

Ek 1: 18-74 Yaş Grubu Erkek ve Kadınlarda Triseps Deri Kıvrım Kalınlığı, Üst Orta Kol Çevresi, Üst Orta Kol Kas Alanı Referans Değerleri-NCHS

Yaş (yıl)	x	Persentiller						
		5	10	25	50	75	90	95
A.Triseps Deri Kıvrım Kalınlığı (mm)								
ERKEK	12,0	4,5	6,0	8,0	11,0	15,0	20,0	23,0
18-74								
KADIN	23,0	11,0	13,0	17,0	22,0	28,0	34,0	37,5
18-74								
B. Üst Orta Kol Çevresi (cm)								
ERKEK	31,8	26,4	27,6	29,6	31,7	33,9	36,0	37,3
18-74								
KADIN	29,4	23,2	24,3	26,2	28,7	31,9	35,2	37,8
18-74								
C. Üst Orta Kol Kas Alanı (cm²)								
ERKEK	62,4	45,1	49,0	55,1	62,0	69,8	78,5	84,1
18-74								
KADIN	39,2	27,0	28,7	32,5	37,8	44,3	53,0	59,8
18-74								

Ek 2:Hasta Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formu(BGOF)

HASTA BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU (BGOF)

ARAŞTIRMANIN ADI (ÇALIŞMANIN AÇIK ADI)
Kas etkinliğini değerlendirme yöntemlerine alternatif olarak termal kamera kullanımı ve termal görüntülerin iyileştirilmesi
Bir araştırma çalışmasına kabmanız istenmektedir. Kabulmak isteyip istemediğinize karar vermeden önce araştırmanın neden yapıldığını bilgilerinizin nasıl kullanılacağını çalışmanın neleri içerdığını ve olası yararlarını risklerini ve rahatsızlık verebilecek konuları anlamamız önemlidir Lütfen aşağıdaki bilgileri dikkatlice okumak için zaman ayırınız.
BU ÇALIŞMAYA KATILMAK ZORUNDA MIYIM?
Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi Öğretim Üyelerinden Doç. Dr. Ayşegül AKAR sorumluluğunda yürütülecek olan "Kas etkinliğini değerlendirme yöntemlerine alternatif olarak termal kamera kullanımı ve termal görüntülerin iyileştirilmesi" başlıklı araştırmaya davet edilmiş bulunuyorsunuz.Katılımınız isteğe bağlı olup istediğiniz zaman, herhangi bir cezaya veya yaptırıma maruz kalmaksızın, hiçbir hakkınızı kaybetmeksizin araştırmaya katılmayı reddedebilirsiniz veya araştırmadan çekilebilirsiniz.
ÇALIŞMANIN KONUSU VE AMACI NEDİR?
Bu çalışmada gönüllülerin kol kası termal kamera ile görüntülenerek, kas gücü ve performansı düşük hastalarda, kas gücü ve performansı değerlendirme yöntemlerine alternatif olarak termal kamerayı kullanmak hedeflenmiştir. Kol kası dokularının termal kamera ile görüntülenmesi sonucu tespit edilmesi ve bir yazılım geliştirilerek termal görüntülerin analizinin yapılması ile kas değerlendirmenin kolay, ucuz, güvenilir, kliniklerde uygulanabilir yöntem olacağı düşünülmektedir.
ÇALIŞMA İŞLEMLERİ
Bu çalışmada sizden el kavrama gücü ölçümleri ve bazı vücut ölçümlerinden olan üst orta kol çevresi, deri kıvrım kalınlığı, üst orta kol kas alanı ölçümleri alınacaktır. Ayrıca bazı sosyodemografik özelliklerini ve günlük besin tüketim sıklığını içeren bir anket de araştırmacılar tarafından yüz yüze uygulanacaktır. Daha sonra sizin dinlenmiş halde ve kol egzersizi yaptıktan sonra üst kol termal kamera görüntüleriniz alınacaktır. Termal görüntüler, bir termal kamera ile temassız bir şekilde alınacaktır. Gönüllülerin üst kollarından alınacak termal görüntüler kas dokularını termal haritalamak amacıyla alınmış olup görüntülerin iyileştirilmesi, analiz edilmesi bir yazılım ile gerçekleştirilecektir.
BENİM NE YAPMAM GEREKİYOR?
Sizin sadece hazırlanmış bulunan anketi doldurmanız ve araştırmacının el kavrama gücü, üst orta kol çevresi, deri kıvrım kalınlığı, üst orta kol kas alanı ölçümleri almasına izin vermeniz gerekiyor.

ÇALIŞMAYA KATILMAMIN NE GİBİ OLASI YAN ETKİLERİ, RİSKLERİ VE RAHATSIZLIKLARI VARDIR? Termal görüntüler, bir termal kamera ile temassız bir şekilde alınacaktır. Kameranin ve diğer ölçüm testlerinin size olası bir yan etkisi, riski yoktur.
GEBELİK VE DOĞUM KONTROLÜ Gebe olan bireyler çalışmaya alınmayacaktır.
ÇALIŞMAYA KATILMANIN OLASI YARARLARI NELERDİR? Araştırmaya katılmayı kabul etmek suretiyle bu araştırmaya önemli bir katkı sağlamış olacaksınız. Bu araştırmanın ilerde pratikte uygulanması ile kas hastalığı olan hastalarda kas görüntülerini termal kamera ile kolay, ucuz, temassız bir şekilde görüntüleyip doğrudan sağlık harcamalarının azalmasına katkı sağlanması düşünülmektedir. İşbirliği ve katılımınız için şimdiden teşekkür ederiz.
GÖNÜLLÜ KATILIM Çalışmaya gönüllü olarak katılıp, istediğiniz zaman gerekçeli veya gerekçesiz olarak araştırmadan ayrılabilirsiniz.
ÇALIŞMAYA KATILMAMIN MALİYETİ NEDİR? Çalışmaya katılmanızın maliyeti yoktur.

KİŞİSEL BİLGİLERİM NASIL KULLANILACAK?
Bizimle paylaşacağınız bilgiler yalnızca bu araştırma amacıyla kullanılacak, kişisel verilerinizin gizliliği korunacaktır. Gönüllü olmayı kabul etmeme ya da araştırma sürecinin bir aşamasında araştırmadan çekilme durumunuzda sizden elde edilen veriler kullanılmayacaktır.

ARAŞTIRMA SÜRESİNCE 24 SAAT ULAŞILABİLECEK KİŞİLER
Çalışma öncesinde bilgilendirileceksiniz fakat araştırmayla ve kendi haklarınızla ilgili herhangi bir durum hakkında daha fazla bilgi temin edebilmemiz için temasa geçebileceğiniz kişi: Rabia Hatice GÖLEN E-posta: rhgulen@gmail.com Telefon: 0536 660 17 00

ÇALIŞMADAN AYRILMAMI GEREKTİRECEK DURUMLAR
Gönüllü olmayı kabul etmeme ya da araştırma sürecinin bir aşamasında araştırmadan çekilme hakkınız vardır.

YENİ BİLGİLER ÇALIŞMADAKİ ROLÜMÜ NASIL ETKİLEYEBİLİR
Sadece el kavrama gücü testi, bazı vücut ölçümleri ve termal görüntülemeye rolünüz bulunacağından yeni bilgilerin sizin çalışmadaki rolünüze etkisi yoktur.

Çalışmaya Katılma Onayı Bilgilendirmiş Gönüllü Olur Formundaki tüm açıklamaları okudum. Bana, yukarıda konusu ve amacı belirtilen araştırma ile ilgili yazılı ve sözlü açıklama aşağıda adı belirtilen hekim tarafından yapıldı. Araştırmaya gönüllü olarak katıldığımı, istediğim zaman gerekçeli veya gerekçesiz olarak araştırmadan ayrılabileceğimi ve kendi isteğimle bakılmaksızın araştırmacı tarafından araştırma dışı bırakılabileceğimi biliyorum. Söz konusu araştırmaya, hiçbir baskı ve zorlama olmaksızın kendi rızamla katılmayı kabul ediyorum. Saklamam için bu belgenin bir kopyasını çalışma sırasında dikkat edeceğim noktaları da içerecek şekilde bana teslim etmiştir
--

Gönüllünün Adı Soyadı / Tarih / İmzası			
Açıklamaları Yapan Adı Soyadı / Tarih / İmzası			
Olur İşlemine Tanık Olan Adı Soyadı / Tarih / İmzası			
Yasal Temsilcinin Adı Soyadı / Tarih / İmzası	/		

Ek 3: Çalışmamızda Kullandığımız Anket Formu Soruları

ANKET

Adı Soyadı:

1)Kronik bir hastalığınız var mı?

2)Sürekli kullandığınız bir ilaç var mı? Varsa günde kaç adet ilacınız var?

3)Günde kaç öğün yemek yersiniz?

4)Et, süt yoğurt, peynir, balık grubundan günlük yer misiniz? Evetse günlük kaç çeşit yersiniz?

5)Ekmek ve unlu gıdalar, çorba, pilav, makarna grubundan yer misiniz? Evetse günlük kaç çeşit yersiniz?

6)Meyve, sebze günlük yer misiniz? Günde kaç kez yersiniz?

7)Genel olarak yemek tabaklarının ne kadarını yersiniz?

hepsini ☐ yarısını ☐ çeyreğini ☐ tüketiyorum

8)Spor yapıyor musunuz? Evetse ne sıklıkla yaparsınız?


```

# PSNR hesaplama
psnr1 = cv2.PSNR(image1, filtered_image1)
psnr2 = cv2.PSNR(image2, filtered_image2)

# SSIM hesaplama
ssim1 = structural_similarity(image1, filtered_image1, win_size=3, multichannel=True)
ssim2 = structural_similarity(image2, filtered_image2, win_size=3, multichannel=True)

# Sonuçları yazdırma
print("MSE DEĞERLERİ:")
print("MSE1:", mse1)
print("MSE2:", mse2)
print("PSNR DEĞERLERİ:")
print("PSNR1:", psnr1)
print("PSNR2:", psnr2)
print("SSIM DEĞERLERİ")
print("SSIM1:", ssim1)
print("SSIM2:", ssim2)

# Sonuçları gösterme
cv2.imshow("Birinci Goruntu", image1)
cv2.imshow("Ikinci Goruntu", image2)
cv2.imshow("Filtrelenmis Birinci Goruntu", filtered_image1)
cv2.imshow("Filtrelenmis Ikinci Goruntu", filtered_image2)
cv2.waitKey(0)

```

-Median Filtesi Python Kodu

```

import cv2
import numpy as np
from skimage.metrics import structural_similarity

# Görüntülerin yüklenmesi
image1 = cv2.imread("KONTROL1-T1.jpg")
image1 = cv2.resize(image1, (640, 480))

image2 = cv2.imread("KONTROL1-T2.jpg")
image2 = cv2.resize(image2, (640, 480))

# T1 için Median filtresi uygulanması
filtered_image1 = cv2.medianBlur(image1, 5)

# T2 için Median filtresi uygulanması
filtered_image2 = cv2.medianBlur(image2, 5)

# T1 için MSE hesaplama
mse1 = np.mean((image1 - filtered_image1) ** 2)

# T1 için PSNR hesaplama
psnr1 = cv2.PSNR(image1, filtered_image1)

# T1 için SSIM hesaplama
ssim1 = structural_similarity(image1, filtered_image1, win_size=3, multichannel=True)

```

```
# T2 için MSE hesaplama
mse2 = np.mean((image2 - filtered_image2) ** 2)

# T2 için PSNR hesaplama
psnr2 = cv2.PSNR(image2, filtered_image2)

# T2 için SSIM hesaplama
ssim2 = structural_similarity(image2, filtered_image2, win_size=3, multichannel=True)

# Sonuçları yazdırma
print("MSE DEĞERLERİ:")
print("MSE1:", mse1)
print("MSE2:", mse2)

print("PSNR DEĞERLERİ:")
print("PSNR1:", psnr1)
print("PSNR2:", psnr2)

print("SSIM DEĞERLERİ")
print("SSIM1:", ssim1)
print("SSIM2:", ssim2)

# Görüntüleri gösterme
# cv2.imshow("T1", image1)
cv2.imshow("T1 Filtrelenmiş", filtered_image1)

# cv2.imshow("T2", image2)
cv2.imshow("T2 Filtrelenmiş", filtered_image2)

cv2.waitKey(0)
cv2.destroyAllWindows()
```

ETİK KURUL KARARI



T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU

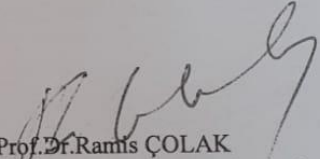
Sayı: B.30.2.ODM.0.20.08/788

09.12.2021

Sayın Doç. Dr. Ayşegül Akar

Etik Kurulumuza sunmuş olduğunuz **Kas etkinliğini değerlendirme yöntemlerine alternatif olarak termal kamera kullanımı ve termal görüntülerin iyileştirilmesi** başlıklı OMÜ KAEK 2021/580 Karar nolu Anket çalışması nitelikli araştırma projeniz Klinik Araştırmalar Etik Kurulu yönergesine göre 08.12.2021 tarihli Etik Kurulumuzda incelenmiş etik açıdan uygun bulunmuştur. Ancak araştırmanın yapılacağı yerlerdeki ilgili kurumlardan izin yazısı alınmadığından ilgili kurumlardan izin yazısı alınıp, tarafımıza bildirilmesinden sonra başlanmasına oy birliği ile karar verilmiştir.

Bilgilerinize arz/rica ederim.


Prof. Dr. Ramis ÇOLAK

Klinik Araştırmalar Etik Kurulu Başkanı

ÖZ GEÇMİŞ

Rabia Hatice KEKEÇ, Adana Mehmet Özöncel Anadolu Lisesi’ni bitirdikten sonra Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Biyomedikal Mühendisliği bölümünden 2018 yılında mezun oldu. 2019 yılında Samsun Bafra Mimar Sinan Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde Biyomedikal Cihaz Teknolojisi Öğretmeni olarak göreve başladı. 2020 yılında OMÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Radyolojik Bilimler Anabilim Dalı’nda yüksek lisansa başladı. 2023 yılı itibariyle Samsun Canik Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde Biyomedikal Cihaz Teknolojisi Öğretmeni olarak görev yapmaktadır.

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000-0002-9599-9712

Yayınlar:

1. **Kekeç R.H.**, Karadayı (Akar) A., Tümer G., Terzi Ö. (2022, Aralık). “Can Thermal Imaging Be An Alternative To Evaluate Muscle Activity in Sarcopenic Patients?”. *Uluslararası Tıp ve Sağlık Bilimleri Çalışmaları Kongresi*, Ankara.
2. Yıldırım, Ç.S.; **Gülen, R.H.**; Levent, Y.M. (2021). Biyomedikal Teknik Resim. Meslekî ve Teknik Eğitim Genel Müdürlüğü, 10. Sınıf Ders Materyali. Ankara.
3. Ünlü, A.H.; Yıldırım, Ç.S.; Esas, M.; Akçur, M.; **Gülen, R.H.**; Bilir, S.S.; Ekinci, T.; Tunçer, Y.M. (2022). Yaşam Destek Cihazları Atölyesi, Meslekî ve Teknik Eğitim Genel Müdürlüğü, 11. Sınıf Ders Materyali. Ankara.
4. Ünlü, A.H.; Yıldırım, Ç.S.; Erdoğan Aysel, D.; Girgin, E.; **Gülen Kekeç, R.H.**; Ekinci, T. (2023). Ameliyathane ve Yoğun Bakım Cihazları Atölyesi, Meslekî ve Teknik Eğitim Genel Müdürlüğü, 11. Sınıf Ders Materyali. Ankara.