

APPL CAT ONS OF INFRARED SENSORS N F ELD OF HEALTH KIZILÖTES SENSÖRLER N SA LİK ALANINDAK UYGULAMALARI

Emine ALTIN¹, Serkan DEM REL²

¹ nönü Üniversitesi, BTAM, 44280 Malatya, Türkiye

² nönü Üniversitesi, Fizik Bölümü, 44280 Malatya, Türkiye

ÖZET

Kızılötesi sensör teknolojisi son yıllarda hızlı bir ekilde geli ip güncel hayatımızın farklı alanlarında kullanılmaya ba lanmı tır. Özellikle algılama dalga boyu ve hassasiyetine ba lı olarak farklı sensor türleri geli tirilerek teknolojide yerini almaya ba lamı tır. Kullanılan malzeme ve üretim tekniklerine ba lı olarak bu tip sensorler farklı isimlerle anılmaktadırlar. Kızılötesi sensör teknolojisi savunma sanayi,enerji sektörü özellikle sa lık alanında uygulamalara sahiptir. Kızılötesi sensörler kullanılarak geli tirilen görüntüleme sistemleri ile insan vücudunda lokal meydana gelen ısısal de i imler tespit edilerek tümör veya kanser gibi hastalıklı bölgelerin te his edilmesinin mümkün oldu u görülmektedir. Özellikle bu tür hastalıkların öntanısının yapılmasında kızılötesi sensörlerin kullanımının en önemli avantajlarından birisi ise zararlı bir ın içermemesi olarak görülebilir. Dolayısı ile hızla ilerleyen teknoloji ile birlikte daha yüksek çözünürlü e sahip ve daha dü ük boyutlarda kızılötesi sensörlerin geli tirilmesi sa lık alanındaki önceden te his çalı malarında büyük bir etkiye sahip olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kızılötesi, Kuantum Kuyu Kızılötesi Dedektörler, Sensörler, Görüntüleme

ABSTRACT

Infrared sensor technology has been developed quickly and used in different areas of our daily lives in recent years. In particular, depending on the detection wavelength and sensitivity, different types of sensors have been developed and have taken their place in the technology. Depending on material used and production technique, such sensors are referred to by different names. Infrared sensor technology has applications in the field of defense industry, energy sector and particularly in the medicine. With imaging systems using infrared sensors, it appears to be possible to detect a diseased area (e.g. cancer involvement) by determining local thermal changes occurring in the human body. In particular, being free of harmful rays is one of the most important advantages of using this type of infrared sensor in scanning the body for diseases. Thereby rapidly advancing technology, development of

infrared sensors that have higher resolution and smaller size may have major impact on early diagnostic studies in the health field.

Key Words: Infrared, Quantum Well Infrared Photodetectors, Sensors, Visulation

G R

Gündelik hayatımızda güne ten yayınlanan ve elektromanyetik spektrumun görünür bölgesine dü en fotonların önemli bir yeri vardır. Gündelik yaşamımızda farkında bile olmadığımız ve kendimizden de yayımlanan kızılötesi fotonlarla sürekli bir etkile im içinde olu umuz a ikardır. Gözle görülemeyen ve genellikle ısı formunda algılanan bu kızıl ötesi fotonları algılayan kızılötesi dedektörler günlük hayatımızda yerini almaya ba lamı tır.

Bilindi i gibi kızılötesi dedektörler yapılan malzemelere, çalı ma prensipleri ve dalga boylarına göre farklılıklar göstermektedir. Özellikle son yıllarda teknolojinin hızla ilerlemesi bu sensorlerin kullanım alanlarının da yaygınlaşmasına sebep olmu tur. Kızılötesi sensör teknolojisi kullanılarak vücut ısısındaki de i im algılanarak yer tespiti ve hastalıklı bölgenin sıcaklı ının

di er bölgelere göre daha farklı bir durum sergilemesinden faydalanılarak farklı uygulamalar geli tirilmektedir. Benzer ekilde enej i santrallerinin kurulaca ı bölgelerin belirlenmesi, füze sistemleri, suç biliminde, ısısal yalıtım sistemlerinin geli tirilmesi ve korunmasında ve son olarak da sa lık sektöründe yerlerini almaya ba lamı tır. Özellikle sa lık alanında tümörlerin tespiti, hastalıklı bölgelerin belirlenmesi gibi yeni ve vücuda zararlı olmayan yöntemlerin geli tirilmesinde kızılötesi dedektörlerin kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

1- Kızılötesi dedektör türleri

Malzeme yapısına ve algılama mekanizmasına ba lı olarak kızılötesi dedektörler iki gruba ayrılmaktadır: Termal dedektörler ve kuantum ya da foton dedektörler (1,2). Bu iki dedektör çe idi arasındaki temel fark gelen ı mın so urucu malzemeyi nasıl etkiledi idir.

2.1. Termal dedektörler

Termal dedektörlerin çalı masındaki temel prensip malzemenin sıcaklı ındaki dalgalanmalar kaynaklıdır. Termal dedektörlerde so urulan ı ık dedektörün sıcaklı mını de i tirir. Bu tür dedektörlerde algılama süreci iki a amadan olu maktadır: radyasyon dedektörün sıcaklı mını de i tirmeli ve daha sonra bu sıcaklık de i imi bazı ölçülebilir parametrelerin de i imine neden olmalıdır. Bunun en iyi bilinen bir örne i sıcaklıkla yarıiletkenlerin direncinin de i mesidir.

2.2. Termopil

Civa göstergeli termometreden sonraki ilk geli me termopil yapımı olmu tur ve en eski kızılötesi dedektör türlerinden bir tanesidir (3). Termopil termal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren elektronik bir alettir. ki farklı metal birbiriyle bir termoçift olu turacak ekilde birleştirilip iki ucu farklı sıcaklıkta tutuldu unda sıcaklık

de i imine ba lı olarak voltaj olu ur. Duyarlılı ın fazla oldu u termopil ise termoçiftlerin genellikle seri olarak ba lanması sonucu olu maktadır.

2.3. Pnömatik dedektör

Pnömatik kelimesi hava basıncı ile i leyen anlamına gelmektedir. Golay hücresi, bir metal film ile kontak halinde bulunan küçük hacme sahip gaz odacı ından olu ur. Metal film ı ı so urur ve bunun sonucunda ısınır. Metalin ısınması sonucunda ısı gaza transfer olur. Hacim sabit oldu undan artan sıcaklık gazın basıncını artırır. Golay hücresinin bir duvarı dı yüzeyinden gümü lenmi hareket edebilen bir ayna ile kapatılmış bir deli e sahiptir. Bu deli i kapatan aynanın oda ı odacık içindeki basınçla de i ebilmektedir. Gaz odacı ında meydana gelen basınç de i imi Golay hücresi içerisinde bulunan ve optik yükseltecin yolunu de i tiren aynanın

açısının de i mesine neden olur ve algılama bu eilde gerçekleştirir (4).

2.4 Piroelektrik (Pyroelektrik) dedektör

Payro kelimesinin anlamı sıcaklı a ait demektir. Piroelektrik dedektörler sıcaklı a ba lı olarak kutuplanabilirli i de i en malzemelerden yapılmaktadırlar. Dedektör yapısına bakıldı ında bir ferroelektrik malzeme üzerine buharla tırma yolu ile kaplanmı elektrotlar ile yüksekçe bir de ere sahip (1011 ohm a kadar) yükleme direncinden olu tu u görülmektedir. Bu dedektörlerde sıcaklık de i imine ba lı olarak ferroelektrik malzemenin kutuplanması de i mekte ve elektriksel kutuplanmadaki de i im yüzey yükünün zamanla de i imine (elektriksel akım) neden olmaktadır (5). Sıcaklı ın sabit olması halinde ise bir akım olu mayacaktır.

2.5. Bolometre

Bolometre, direnci sıcaklıkla de i en bir termal dedektör çe ididir. İlk bolometre 1880 yılında Amerikalı gökbilimci Samuel Pierpont Langley tarafından yapılmı tır (6). Çalı ma prensibine bakılacak olursa Wheatstone köprüsünü olu turan dirençlerden biri olarak radyasyona duyarlı dirençli bir malzeme seçilir. Gelen radyasyon so urucu malzemenin elektriksel direncinin de i imine neden olarak radyasyon algılanması gerçekleştirilmektedir. Dirençli malzeme olarak yarıiletken film, süperiletkenler ya da elektriksel direnci sıcaklıkla de i en bir malzeme seçilebilir. Günümüzde metallere ziyade yarıiletken ve süperiletkenler so urucu malzeme olarak kullanılmaktadırlar. Bu malzemeler kullanılarak yapılan bolometreler dü ük sıcaklıklarda çalı abilmekte ve duyarlılıkları oldukça iyi olabilmektedir.

2.6. Foton dedektörler

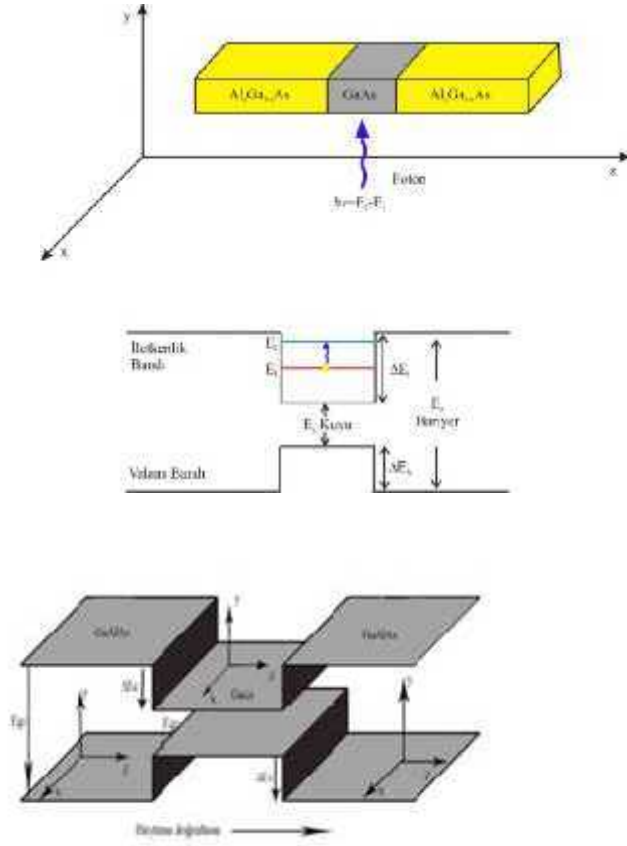
Optoelektronikte önemli olan fotodedektörler vericiden gelen ışık elektriksel sinyale (voltaj ya da akım) çevirirler (7,8). En önemli parametreleri spektrum, duyarlılık ve hızdır. Foton dedektörlerde algılama, gelen ışığın malzemenin atomik örgüsü ile etkileşimi sonucunda oluşmaktadır. Işık ile malzemenin bu etkileşimi sonucunda malzemenin bazı fiziksel özelliklerinde (direnc, voltaj, akım gibi) değişim oluşmaktadır. Foton dedektörlerde, soğurulan ışık elektronları daha üst seviyelere uyarır ve bu elektronlar eski konumlarına dönmeden önce algılanırlar. Foton dedektörlerde soğurma işlemi bir dizi kuantum olayı ile gerçekleşir. Bu yüzden foton dedektörlerin çıkışı, ışık taneciklerinin soğurulma oranıyla doğrudan ilişkilidir. Ayrıca ele alınan bütün foton işlemleri kendilerini başlatacak belirli bir

minimum foton enerjisine ihtiyaç duyarlar. Bir tek foton için enerji $E = hc/\lambda$ ile verilir.

2.7. QWIP fotodedektörler

İki soğurma ortam olarak hacimli tabakalar yerine kuantum kuyularının kullanılması farklı bir dedektör çeşidini ortaya çıkarmıştır: kuantum kuyu fotodedektörler (9-12).

Özellikle MBE ve MOCVD gibi tabakalı yapı büyütme tekniklerinin gelişmesinden sonra bu dedektörler yoğun olarak kullanım alanına sahip olmuştur. Farklı dedektör türlerinin geliştirilmesine rağmen bunlar içerisinde en yaygın olarak kullanılan dedektör yapıları Kuantum Kuyu Kızılötesi Fotodetektörler (Quantum Well Infrared Photodetectors; QWIP) ile Tip-II süperörgülerdir. İki dedektör çeşidi arasındaki temel fark bant yönelimlerinin farklı olmasıdır.



ekil 1: Kuantum kuyusunun bant yapısının ematik gösterimi (13).

Kuantum kuyu kızılötesi fotodedektörler, elektromagnetik spektrumun kızılötesi bölgesinde farklı dalgaboylarını algılayabilen cihazlardır. Bu dedektörler belirli bir dalgaboyunu ya da dalgaboyu aralığını algılayabilecek şekilde üretilmektedirler. Sonlu kuantum kuyuların nasıl oluştuna da inecek olursak; dar yasak enerji aralına sahip

ince tabaka halindeki bir yarıiletken malzemenin yasak enerji aralını daha geni olan iki yarıiletken malzemenin arasına sıkı tırılıp heteroeklem yapı oluşturma ile meydana gelmektedirler. Bu yapılar için en çok kullanılan malzemeler de GaAs ve $Ga_{1-x}Al_xAs$ 'dir. Bu iki yapının çok rahat bet görmesinin en önemli sebeplerinden biri örgü uyumlarının mükemmel olması ve

dolayısıyla örgü parametrelerinin farklı olmasından kaynaklanan gerilme etkisinin yok sayılacak kadar az olmasıdır. GaAlAs, üçlü yarıiletken bir ala ımdır ve bant aralı ı Al konsantrasyonu ile do ru orantılı bir ekilde de i mektedir. Bu malzemenin di er bir önemli özelli i de Al konsantrasyonu $x>0.45$ oldu unda ortaya çıkmaktadır. Bu durumda malzeme direk yasak bant aralıklı yarıiletken durumundan dolayı yasak bant aralıklı yarıiletken durumuna geçmektedir.

3. Kızılötesi sensörlerin sa lık alanındaki uygulamaları

Kızılötesi sensörlerin sa lık alanında uygulamalarında en önemli özelli i insan vücüuduna zarar verecek herhangi bir kaynak kullanmaması olarak verilebilir (14). Kullanılan

sensörün hassasiyeti ve çalı ma dalga boyuna ba lı olarak kullanılan sensor ve üretildi i malzemeler de i iklik göstermektedirler. Termal görüntüleme en çok kullanılan malzemeleri sıralayacak olursak (15);

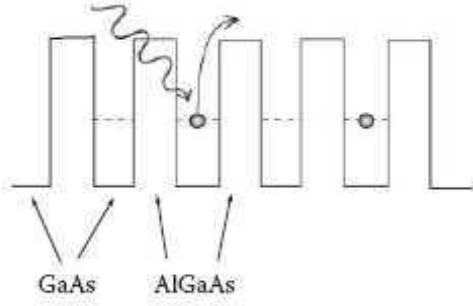
1- $5\mu\text{m}$ orta dalga infrared görüntüleme için InSb

2- 5 ve $10\mu\text{m}$ uzun dalga infrared görüntüleme için $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$

3- 5 ve $10\mu\text{m}$ görüntüleme için QWIP

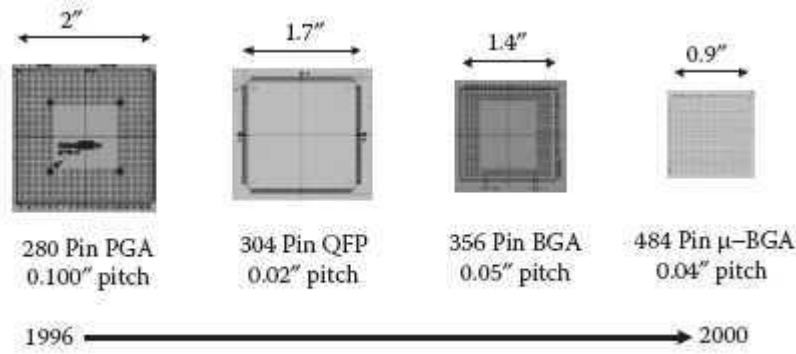
4- $10\mu\text{m}$ görüntüleme için so utulmayan bolometre

örnek olarak verilebilir. Bunlar arasında en çok dikkat çeken QWIP ler geni ve dar bant yapısına sahip de i en yarıiletken tabakaları içerir. Bu ekilde sıralı üretilen farklı yarıiletkenler MBE gibi yüksek teknikler gerektirmektedir.



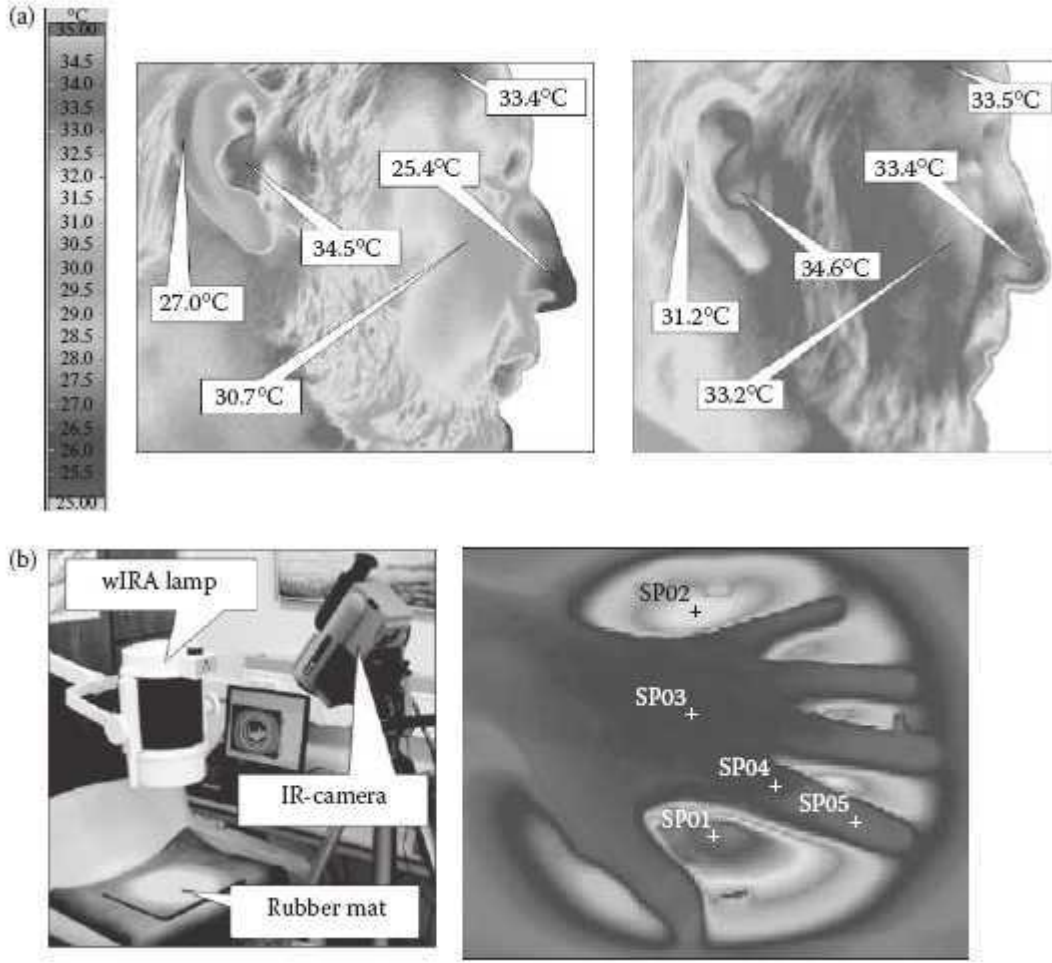
ekil 2: Kuantum kuyu fotodedektörde algılama mekanizması (14).

ekilde görüldü ü gibi QWIP dar bant aralı ına sahip GaAs ve geni bant aralı ına sahip AlGaAs yarıiletkenleri kullanılarak olu turulur. Genel olarak QWIP dedektörler 60 K sıcaklıklarda çalı maktadırlar. Görüntülemeye kullanılan dedektör dizinlerinin tarihsel geli imi a a ıdaki ekilde verilmektedir (14).



ekil 3: Dedektör dizinlerinin tarihsel geli imi (14).

Görüldü ü gibi son yıllarda 0.9 inçlik bir alanda daha yüksek çözünürlükte görüntü elde etmek mümkündür.



ekil 4: a) so uk bir ortamda, sa lıklı 52 ya ındaki bir erkek öznenin (yakla ık 15 C; sol panel) ve sıcak bir ortamda (yakla ık 25 C; sa panel) termogram görüntüsü. b) ısı transferi için deri kan akı ının etkinli i (16).

Kızılötesi sensör teknolojisi kullanılarak geliştirilen termal kameralarda vücudun farklı bölgelerindeki sıcaklık değişimini takip etmek mümkündür.¹⁶ Bilindiği gibi normal vücut sıcaklığında sempatik

damar daraltan sinirler anastomozu kapalı tutmaktadır. Ancak, vücut fazla ısındığı zaman, sempatik bozalma büyük miktarda azaltılır, anastomoz deri altında bulunan damarlardan ılık kanın geçmesine izin vererek vücudun ısı

kaybetmesini sağlar (ekil 4a). Termal fizyolojide, eller ve ayaklar etkin termal pencereler gibi tanımlanmaktadır (14,16). Kol ve bacaklar yoluyla yayılan kan akışı miktarının kontrol edilmesi, deri yüzeyinin sıcaklığını geniş bir sıcaklık aralığında de i tirebilmektedir. Böylesine yüzeysel bölgelerde, kan akışındaki de iimler ve bununla beraber deri sıcaklığındaki de iimler belirlenebilmektedir (16).

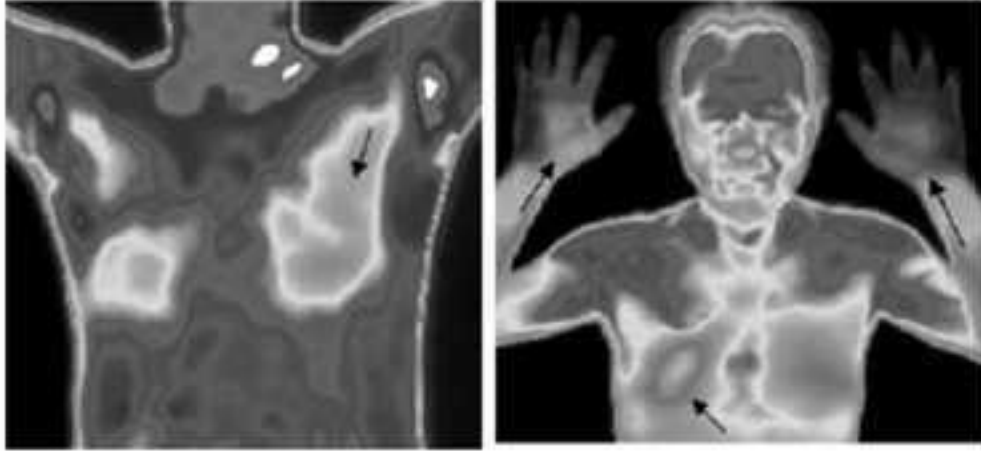
ekil 4b de ise bir elin derisinde meydana gelen kan akışının, radyant ısı yüklemesinin üzerindeki etkisini göstermektedir. Buradaki radyant ısı yüklemesi, su-filtreli Hydrosun tip 501 infrared-A (wIRA) ile gerçekleştirilebilir (16,17). Hydrosun geleneksel IR terapisine göre deriyi bölgesel olarak ısıtma ve ısının daha fazla deri yüzeyine nüfuz etmesini sağlamaktadır. Bu i lemin en önemli özelli i cilde zarar verecek geleneksel IR lambaları tarafından radyasyon ile

yayılan IR dalga boylarını emmek üzere hava geçirmez bir ekilde kapatılmış su filtresinin kullanımınıdır (OH-grup 0.94, 1.18, 1.38 ve 1.87 μm). Hydrosun lambasının etkin radyasyonu 400 mW/cm^2 'dir ve bu de er güne ten gelen IR-A radyasyonundan yaklaşık üç kat daha büyüktür.¹⁷ Yapılan deney süresi boyunca dijital IR termal görüntüleri her 2 saniyede bir alınmıştır. Görüntü analiz programı ile her bir görüntüden radyasyon alanı içerisindeki 5 noktadan sıcaklık ölçümleri yapılarak ve ekil 4a sıcaklık e erilerini oluşturulmasında kullanılmıştır.

Yapılan deneyde, 25 cm'lik standart mesafe ve 25 dakikalık bir süre ile bir kauçuk paspas 1.0' a yakın bir emisitive ile Hydrasun wIRA lambasının ışınına tabi tutulmuştur. Bu mesafede oluşturulan ışının çapı yaklaşık 16 cm'dir. ekil 4a daki zaman sürecindeki be sıcaklık e erilerinde, ışına maruz kalan kauçuk paspasın

merkezinin ilk 10 dakika içerisinde sıcaklığının hızlı bir şekilde 90 °C' nin üzerine çıktığı görülmektedir. Kauçuk paspas üzerine uygulanan ilk 10 dakikalık ın sürecinin ardından 54 ya ında bir erkek dene in eli aniden paspasın üzerine yerleştirilmiştir ve yaklaşık 10 dakika boyunca bu sıcaklıkta tutulmuştur. El, ınlanmanın yapıldığı konuma konulduğu zaman, ayarlanmış be adet sıcaklık ölçüm bölgesinden üçü elin sırt yüzeyinden deri sıcaklığını ölçmektedir. Ekil 4b sıcaklık e risi baz alındığında, insan elinin konumlandırıldığı paspasın üzerinden ölçüm yapan iki noktanın sıcaklıklarının orijinal deride olduğu

görüldüğünde, elin üzerinden alınan sıcaklık ölçümlerinin hiçbir şekilde 40 °C' den yukarı çıktığı görülmemiştir. Erkek dene k, ilk 10 dakika süresinde 90 °C' den daha yüksek bir sıcaklığa ısıtılmış kauçuk paspas üzerine elini yerleştirdiğinde termal konforunu bozacak herhangi bir acı yaşamamıştır. Bunun sebebi ise muhtemelen, düşük ısı kapasitesine sahip olan kauçuk ile derideki yüksek oranlı kan akımının kombinasyonu sayesinde olmaktadır. IR-termal görüntülerden elde edilen görsel verilerle elde edilen IR-termal görüntüler ile hesaplanan sıcaklık e rileri, derinin çok büyük bir ısıyı taşıdığını açıkça göstermektedir.



ekil 5 Sol: Koroner arter hastalığı ve kardiyak iskemi ile ilgili (okla gösterilen) sol göğüs bölgesinde termal eksiklik. Sağ : Sağ göğüs bölgesinde ve avuç içi ve kronik karaciğer yağlanması ve yüksek kolesterol olan bir konuda (oklarla gösterilen) küçük parmaklarda oluşan termal eksiklik. Sağ termal yükseklik ve üst omuz alanı olarak gösterilen bölgede yaşanan yüksek tansiyon (16).

ekil 5 koroner arter hastalıkları, kronik karaciğer yağlanması, yüksek kolesterol ve yüksek kan basıncı sendromları olan, kardiyak iskemi deneklerin termal görüntülerini göstermektedir. Bu örnekler, belirli sağlık koşullarında vücut üzerinde bir alanın asırı soğukluğu termal eksiklik olarak da gösterilebilmektedir. Diğer bir deyişle, asırı sıcak ya da soğukluk yöntemiyle ısı dengesizliğinin

muhtemelen belirli hastalıkların ya da bölgenin sağlık koşullarını göstermektedir. Koroner arter hastalığı olan kişilerde, kalbe giden kan akımının eksikliği azalmış perfüzyona, bu yüzden de kalp dokularının metabolik aktivitesinin tehlikeye atılmasına neden olur. Asimetri termal desenler ile soğukluk, ön veya arka vücut yüzeyinden görülen sol göğüs bölgesinde, kalp krizi, inme ve diğer

kardiyovasküler hastalık riskini göstermektedir.

Karaci er ya lanması ve karaci er sirozu olan deneklerde gö üs bölgesinin sa tarafındaki karaci er üzerinde so uk dolgun alana sahip oldu u ke fedilmi tir.^{14,16,17} Bu deneklerde yüksek kolesterol olması ayrıca so uk parmak semptomlarının görülmesine neden olmaktadır (ekil 5). Olu an bu so ukluk, küçük parmaklardaki mikrosirkülasyonun azalması ile kan akı nda meydana gelen bozukluklardan kaynaklanmaktaydı. Bu gibi deneklerde ayrıca yüksek kan basıncı, omuz, boyun ve tüm kafanın sıcaklık izi ile görüntülenebilirdi. Tüm vücudun sıcaklık görüntüsüne bakıldı nda ise, ba tan ayaklar yönüne do ru sıcaklık dü ü ünün görüldü ü termal dengesizlik, a ır ya da sıcak olma hisleri ile tutarlı yüksek kan basıncı ile ili kili temel klinik semptomların ortaya çıkması tespit edilmi tir (16,17).

Beyinde geçici iskemik atak veya inme gözlenen bu deneklerde ayrıca termal asimetride görülmü tür. Vücudun sol ve sa tarafları termal farklılıklar göstermi ve vücudun bir tarafı termal farklılıklar ile ili kili fonksiyon kayıplarına u ramı tır. Genel olarak sa lıklı deneklerde ise üç eksenli termal simetri görülmü tür. Bunlar; önden arkaya, soldan sa a ve ba tan aya a eklindedir. Asimetrik sıcaklık da ılımları, vücudun bütün eksenleri boyunca enerji ve dengesiz i levleri gösterebilir.

Daha önce de vurgulandı ı gibi, tüm vücut IR görüntülemesi, izole ve ili kisiz gibi görünen farklı belirtiler ile sa lık ko ulları arasındaki ili ki ve ba lantının ke fedilmesini sa lamaktadır (14,17). Gerçekte ise, bu olayların çok ili kili ya da oldukça izole bir olay olarak tedavi altına alınması yerine bir bütün olarak ele alınması gerekmektedir. Örne in, prostat kanseri ara tırmaları, karaci er ve prostat fonksiyonlarının yakından

ili kili oldu unun ke fedilmesine neden olmu tur. Kalp-damar hastalıkları ve metabolik bozuklukların incelenmesi sırasında, karaci er ile yüksek kolesterol ve yüksek kan basıncının, ayrıca bunların kalp üzerindeki kombin etkileri ke fedilmi tir. Böbrek fonksiyonu da bu gruptaki etkilerde önemli bir rol oynamaktadır. Böbreklerde görülen anormal termal izler bazı termal eksiklikleri göstermi tir. Bu hasta popülasyonunda genel olarak a ırı so ukluk yada bölgesel sıcak noktalar gözlenmi tir.

4. SONUÇLAR VE ÖNER LER

Kızılötesi sensör teknolojisinin hızla geli mesi ve yeni ya da küçük boyutlarda sensorlerin bulunması bu malzemelerin farklı alanlarda oldu u gibi sa lık alanındaki uygulamalarının da artmasını birlikte getirmi tir. Hastalıklı ve kanser veya tümör içeren

bölgelerin tespitinden iç organların rahatsızlı ından kaynaklı lokal ısınmaların ve dolayısı ile ortaya çıkabilecek hastalıkların tespiti için kızılötesi sensörler kullanılarak yeni tekniklerin geli tirilmesi mümkündür.

Kızılötesi sensör teknolojisinin geli tirilmesinde en önemli problemlerden birisi olan yüksek kaliteden ve nano-boyutlu birbirbirini tekrar eden yapıların büyütülmesinde kullanılması gereken MBE gibi pahalı cihaz altyapısının gerekli olması olarak görülebilir. Bu tür problemlerinde yakın gelecekte üretim maliyetlerinin dü üürmesi beklenen bir durum olarak kar ımıza çıkmaktadır.

Özellikle kızılötesi sensörler kullanılarak sa lık alanında yeni uygulamaların geli tirilmesi insan hayatının ya am standartlarının artmasında önemli bir yer tutaca ı görülmektedir.

KAYNAKLAR

- 1-Rieke G. *Detection of light: from the ultraviolet to the submilimeter, 1st ed.* Cambridge University Press, 2002.
- 2-Wilson J., Hawkes J. F. B. Çeviri: Okur, .., *Optoelektronik, De i im Yayınları, Adapazarı, 2000.*
- 3-Jr. Hudson R. D., *Infrared Systems Engineering, John Wiley & Sons, New York, 1969.*
- 4-Chevrier J.-B., Baert K. and Slater T., Verbist A. *Micromachined infrared pneumatic detector for gas sensor, Microsystem Technologie,s 1995; 1: 71- 74.*
- 5-Dereniak E. L., Boreman G. D. *Infrared detectors and systems, Wiley Interscience, New York, 1996.*
- 6-Barr E. S. *The infrared pioneers- III. Samuel Pierpont Langley, Infrared Phys, 1963; 3: 195-206.*
- 7-Rogalski A. *Infrared detectors: an overview, Infrared Physics & Technology, 2002; 43: 187-210.*
- 8-Rogalski A. *Infrared detectors: status and trends, Prog. Quant. Electro., 2003; 27: 59- 210*
- 9-Levine B. F. *Quantum well infrared photodetectors, J. Appl. Phys, 1993; 74: R1-R81.*
- 10-Liu H. C. *Quantum well infrared photodetector Physics and Novel devices”, Intersubband Transitions in Quantum Wells (Ed: Liu, H. C., Capasso, F.), Academic Presss. San Diego, 2000; 129- 196*
- 11-Gunapala S. D., Bandara S. V., *Quantum well infrared photodetector (QWIP) focal plane arrays, Intersubband Transitions in Quantum Wells (Ed: Liu, H. C., Capasso, F.), Academic Presss. San Diego, 2000; 197- 282.*
- 12-Choi K. K. *The pyhsics of Quantum Well Infrared Photodetectors, World Scientific, Signapore, 1997*
- 13-Altın E., *GaAs/AlxGa1-xAs Kuantum Kuyu Kızılötesi Fotodedektörlerin Optoelektronik Özelliklerinin ncelenmesi, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, 2011*
- 14-Diakides M., Bronzino J. D., Peterson D. R., *Medical Infrared Imaging: Principles and Practices, CRC Press, Taylor & Francis Group, New York, 2012.*
- 15-Norton P., *Infrared image sensors, Opt. Eng. 1991; 30: 1649–1663*
- 16-Bronzino J. D. *The Biomedical Engineering Handbook: Medical Devices and Systems (Third Edition), Taylor & Francis, NW, 2006*
- 17-Bronzino J. D., Peterson D. R. *Biomedical Signals, Imaging and Informatics, Taylor & Francis, New York, 2015*

Yazı ma adresi::

Uzm. Dr. Emine ALTIN

Adres : nönü Üniversitesi, Bilimsel ve Teknolojik Ara tırma Merkezi, 44280 Malatya, TÜRK YE

E-posta : emine.altin@inonu.edu.tr