

TERMAL GÖRÜNTÜLEME

Emrah ODUNCU, Umut KAYIKCI, Kıvanç ULUCA, Dr. Mustafa SİVASLIGİL [TÜBİTAK BİLGEM / İLTAREN

Son günlerde gündemi meşgul eden yeni koronavirüs (Covid-19) salgınıyla ilgili alınan başlıca tedbirlerden biri, hasta insanları tespit edip havaalanları veya iş yerleri gibi kalabalık yerlere girmelerine engel olmak. Hastalığın yaygın belirtileri arasında ateş yer aldığı için hasta kişileri belirlemek ve kalabalıktan izole etmek amacı ile insanların vücut sıcaklıkları ölçülüyor.



Sıcaklık Ölçümü

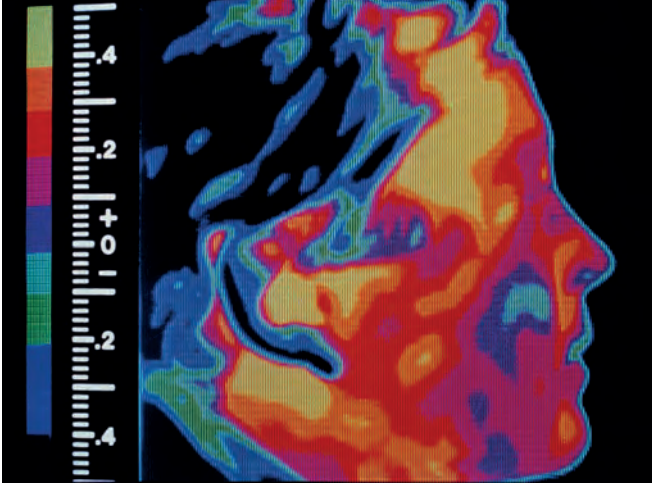
Herhangi bir cismin sıcaklığını ölçmede kullanılan yöntemler iki ana grupta toplanabilir:

1. Temas ile ölçüm
2. Uzaktan ölçüm

Temas ile ölçüm yapan sistemlere örnek olarak termometre ve ısı çiftleri verebiliriz. Bu tür sistemlerde, cismin sahip olduğu sıcaklık ve ölçüm sisteminin sıcaklığı arasındaki farktan dolayı -maddenin iletkenlik özelliği sayesinde- ısı transferi gerçekleşir. Bu ısı transferi sistemin fiziksel bir değişkeninde (örneğin ısı çiftler için elektriksel direncinde) değişiklik meydana getirir ve bu değişime bakılarak cismin sıcaklığı belirlenir.

Temas ile ölçüm yaygın bir yöntem olsa da içinde bulunduğumuz günlerde hastalığın yayılmasını önlemek için temastan kaçınılması gerektiği uzmanlar tarafından sıklıkla dile getiriliyor. Bununla birlikte, temas ile ölçümün kalabalık ortamlarda uygulanması da pek mümkün değil. Dolayısıyla insanların vücut sıcaklıklarını uzaktan ve hızlı bir biçimde ölçmek gerekiyor.

Doğadaki tüm cisimler, yüksek veya düşük, bir sıcaklık değerine sahip ve bu sebepten ötürü çevrelerine elektromanyetik dalga yayarlar; buna termal ışımaya denir. Örneğin radyo dinlerken, yayın olmayan bir kanal açtığınızda duyduğunuz gürültünün kaynağı, radyo anteninin sıcaklığından ötürü o kanalın frekansında yaydığı elektromanyetik ışımadır. Elektromanyetik dalgaların atmosferde ışık hızına yakın hızlarla yayılması, kalabalık ortamlarda bulunan insanların sıcaklığının temassız ve hızlı bir biçimde ölçülebilmesine olanak tanır.



Bir insanın başındaki sıcaklık dağılımının termal kamera ile alınmış görüntüsü.

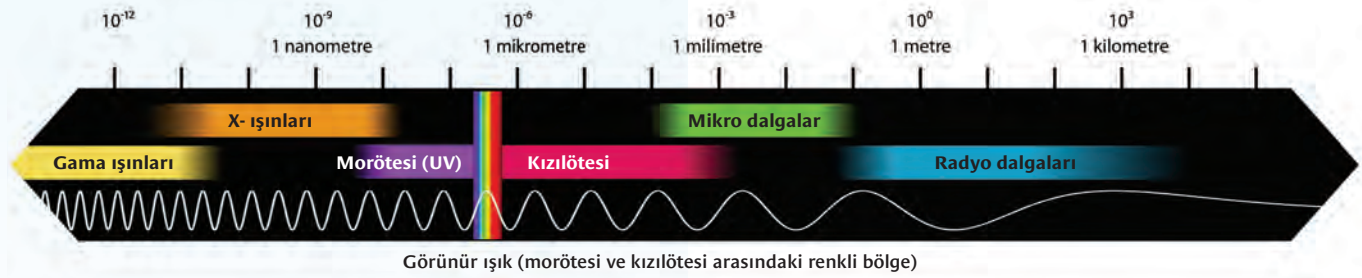
Termografi adı verilen görüntüleme tekniği vücut yüzeylerindeki sıcaklık dağılımının algılanmasını sağlar. Burada, her 0,1 derece sıcaklık artışı farklı bir renk ile gösterilir (bkz. soldaki ölçek) ve siyah renk soğuk alanları, sarı renk ise sıcak alanları ifade eder. Bu teknik, 1970-1980 yılları arasında, gece görüşüne destek olması için askeri amaçlarla geliştirildi ancak günümüzde çok farklı alanlarda da kullanılıyor. Termografide kullanılan katı hâl dedektörleri, karanlığa veya dumana rağmen kızılötesi ışımayı algılayabilir.

Elektromanyetik Spektrumda Kızılötesi

Radyo dalgaları ile görünür ışık elektromanyetik dalga spektrumunun farklı iki bölgesinde yer alırlar. Görünür ışık ile radyo dalgaları arasındaki temel fark, görünür ışığın frekansının çok daha yüksek olmasıdır. Radyo dalgalarının frekansı 30 ile 300×10^9 Hz arasında değişirken, görünür ışığın frekansı 4×10^{14} ile 8×10^{14} Hz arasında değişir. Elektromanyetik tayfın bu iki bölgesinin arasında frekansları radyo dalgalarından yüksek ancak görünür ışıktan düşük olan elektromanyetik dalgalar vardır. Bunlara kızılötesi ışınlar denir. Kızılötesi ışınlar (ya da kızılötesi ışık), insan gözü için görünür olmayan fakat ısı olarak hissedilebilir bir ışın enerjisi olarak düşünülebilir.

Tayf boyunca elektromanyetik ışınların dalga boyunun değişimi şemanın en altında, dalga boyunun uzunluğunun sayısal değerleri ise şemanın en üstünde gösteriliyor. Elektromanyetik spektrumun sağ tarafında yani uzun dalga boyu (düşük frekans, düşük enerji bölgesinde) kısmında kızılötesi ışınlar, radyo dalgaları ve mikro dalgalar bulunur. Sol tarafta yani nispeten kısa dalga boyuna sahip ışınlar (yüksek frekans, yüksek enerji bölgesinde) kısmında ise gama ışınları, X ışınları ve morötesi (UV) ışınlar bulunur. İnsan gözünün algılayabileceği "görünür ışık" ise kızılötesi ve morötesi ışınların arasında yer alır.

Termal ısımanın, mevcut elektronik sistemlerle en yaygın algılanma biçimi kızılötesi termal görüntüleme sistemleridir. Peki, sıcaklık ölçümü için neden kızılötesi dalgalar kullanılır? Bunun cevabını Wien Kanunu verir. Çevremizdeki cisimlerin çevrelerine yaydıkları elektromanyetik dalgaların büyük çoğunluğunun frekansı, Wien Kanunu'na göre, elektromanyetik spektrumun kızılötesi bölgesinde yer alır. Radyo anteni örneğinden devamla, anten sıcaklığından ötürü radyo frekans bölgesinde gürültü oluşturacak kadar elektromanyetik dalga yayar ancak bu dalgaların gücü sıcaklık ölçümü için yeterli değildir. Sıcaklığını ölçebilmek için antenin daha güçlü bir şekilde yaydığı elektromanyetik dalgaları, yani kızılötesi ışımayı gözlemlemek uygun olur.



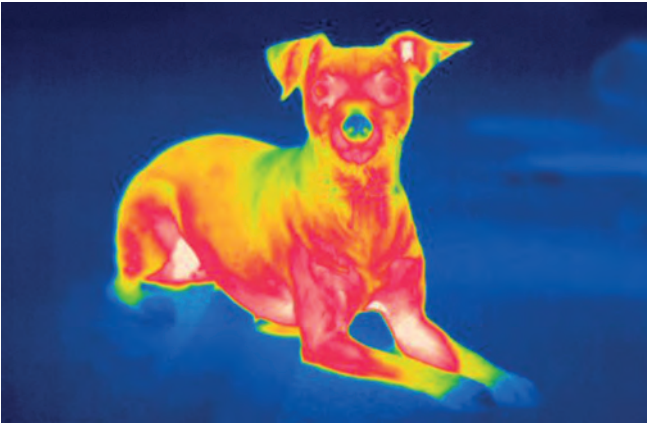
Elektromanyetik Spektrum (Tayf)

Salıcılık Etkisi

Bir cismin yaydığı kızılötesi ışın miktarı fiziksel sıcaklığı ile doğru orantılıdır ancak fiziksel sıcaklık ışın miktarını belirleyen tek etken değildir. Miktarı belirleyen bir diğer değişken maddenin “salıcılık” özelliğidir. Salıcılık kısaca bir cismin elektromanyetik dalga yayma kapasitesi olarak tanımlanabilir. Aynı sıcaklıktaki iki cisimden, salıcılık değeri büyük olan daha fazla ışın yayar. Diğer yandan, yüksek sıcaklıklı ancak çok düşük salıcılık değerine sahip bir cisim, nispeten daha düşük sıcaklıklı ancak yüksek salıcılık değerine sahip bir cisimden daha az miktarda kızılötesi ışın yayabilir.

Termal kamera cismin sıcaklığını hesaplamak için bir cismin yaydığı kızılötesi ışın miktarına bakar. Ancak bu işlemi yaparken genellikle cismin salıcılığını bilemez, genellikle tüm cisimlerin salıcılığının teorik azami derecede olduğunu kabul eder. Bu sebeple az önce verdiğimiz örnekten hareketle, nispeten daha düşük sıcaklıklı ancak yüksek salıcılıklı cismin, nispeten daha düşük sıcaklıklı ancak yüksek salıcılıklı cisme göre kamera tarafından daha yüksek sıcaklıkta algılanması mümkündür. Bu durum her ne kadar çelişkili gözükse de beklenen bir durumdur çünkü termal kamera cismin fiziksel sıcaklığını değil, “görünür sıcaklığını” ölçer.

Salıcılık 0 ile 1 arasında değer alabilir. Bir cismin salıcılığının 1 olması, görünür sıcaklığının fiziksel sıcaklığına eşit olması anlamına gelir, bu yalnızca teoride mümkündür ve böyle cisimlere siyah cisim denir. İnsan derisinin salıcılık değeri bu ölçümlerde genellikle 1 kabul edilir. Dolayısıyla kameradan okunan değer insanların vücut sıcaklığı olduğu kabul edilebilir -ancak bu kabul yapılırken atmosfer etkisi ihmal edilir.



Atmosfer Etkisi

Yayılan kızılötesi ışımanın bir kısmı atmosferdeki gazlar tarafından emilir. Işıma atmosferde ne kadar uzun yol katederse o kadar fazla enerji kaybeder.

Salıncılık etkisine benzer bir durum atmosfer etkisi için de örneklenebilir. Aynı fiziksel sıcaklığa ve salıncılık değerine sahip ancak farklı mesafedeki iki cisim söz konusu olduğunda, kameraya yakın olan cismin “görünür sıcaklığı” diğerine göre daha yüksek olur. Atmosfer etkisi sebebiyle tabanca tipi kızılötesi ateş ölçerler ile sadece belirli bir mesafeden ölçüm alınır.

Bu durumu şöyle özetleyebiliriz: Bir cisim termal kamera ile görüntülendiğinde ölçülen sıcaklık ya fiziksel sıcaklığına eşit ya da ondan daha düşük olur. Bu düşüşün miktarı da cismin salıncılığı ve kameranın cisme olan uzaklığına bağlıdır.

Termal Görüntüleme Sistemleri

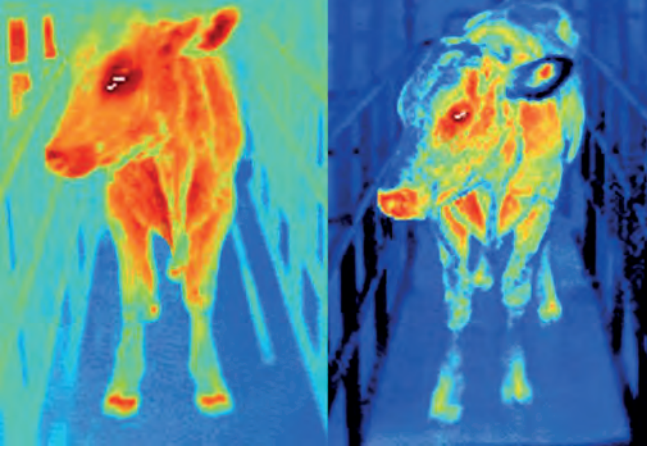
Kızılötesi ışıma frekansı yeterince yüksek olmadığı için gözümüz tarafından algılanamaz. Bu ışımayı algılayabilmek için özel kameralar geliştirildi. Göze gelen görünür ışık göz merceği tarafından kırıldıktan sonra retina üzerine düşer ve elektriksel bir sinyal oluşturur, kameralar da temel olarak böyle çalışır. Görme sırasında retina görünür ışığı algılayırken, termal kameralarda benzer işlev gören dedektörler kızılötesi ışımayı algılar.

Görüntüleme sistemleri çok sayıda dedektörün yan yana gelerek oluşturduğu dedektör dizilerine sahiptir. Oluşturulan görüntüdeki her bir piksel ilgili dedektörün algıladığı değeri gösterir. Tabanca tipi kızılötesi ateşölçer gibi termal ölçüm sistemleri ise tek dedektöre sahiptir, dolayısıyla bir görüntü oluşturamazlar. Yine de temel çalışma prensipleri kameralara benzer.

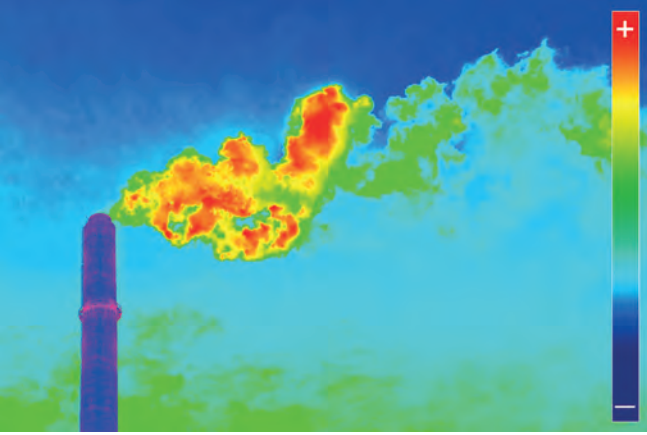


Termal kamera ile kaydedilmiş bir bulutsu görüntüsü.

Yeni oluşmakta olan yıldız kümeleri (pembe renkteki parlak bölgeler) ve hayatlarının sonuna gelerek bir süpernova patlamasıyla etrafa saçılan yıldızların kalıntıları (ipliğimsi yapılar) görünüyor.



Solda hasta bir inek, sağda ise sağlıklı bir inek görülüyor.



Bir enerji santralinin bacasından atmosfere salınan gazlar

Dedektörün oluşturduğu elektriksel sinyalin görünür sıcaklığa çevrilmesi için gerekli işlemin adı kalibrasyondur. Termal kamera kalibrasyonu, kısaca, hangi elektriksel sinyalin hangi sıcaklığa karşılık geldiğini kameraya öğretme işlemi olarak açıklanabilir.

Önceden kalibre edilmiş bir termal kamera görüntüleme yaparken oluşturduğu görüntüdeki her bir piksel bir sıcaklık değeri gösterir. Pikseller bu değerlerin büyüklüğüne göre renklendirilir. Renklendirme işleminin tek amacı, görüntüye bakıldığında sıcak ve soğuk bölgelerin kolayca ayırt edilebilmesidir. Genellikle sıcak bölgeler kırmızı, soğuk bölgeler mavi tonlarıyla ifade edilir. Bir başka alternatif ise sıcak bölgelerin beyaz, soğuk bölgelerin siyah renklerle ifade edilmesidir. Kameralar bunlar haricinde pek çok farklı renklendirme alternatifine de sahiptir.

Evlerde kullanılan basit cıvalı termometreler sadece belirli bir sıcaklık aralığını ölçebilir, termal kameralar da elektronik yapıları gereği sınırlı bir sıcaklık aralığında ölçüm yapabilir. Bu aralığı genişletmek mümkün değil ancak genellikle yüksek ya da düşük sıcaklıklara kaydırmak mümkün.

Cisimlerin optik geçirgenliği (üzerlerine düşen ışımanın ne kadarını geçirdikleri) gelen ışımanın frekansına bağlı olarak değişir. Bu durumun en güzel örneği camdır. Görünür ışık frekansları için geçirgenliği yüksek (saydam) olan cam, kızılötesi frekansları söz konusu olduğunda düşük geçirgenliğe sahip (opak) bir cisim hâline gelir. Peki, tam tersi geçerli midir? Örneğin gözümüzle arkasını göremediğimiz bir duvara termal kamera ile bakarsak arkasını görebilir miyiz? Duvar örneği için cevap olumsuz olsa da duman veya sis söz konusu olduğunda, kızılötesinde görünür ışığa nazaran daha çok şey görmek mümkün.

Termal Görüntüleme Sistemlerinin Kullanım Alanları

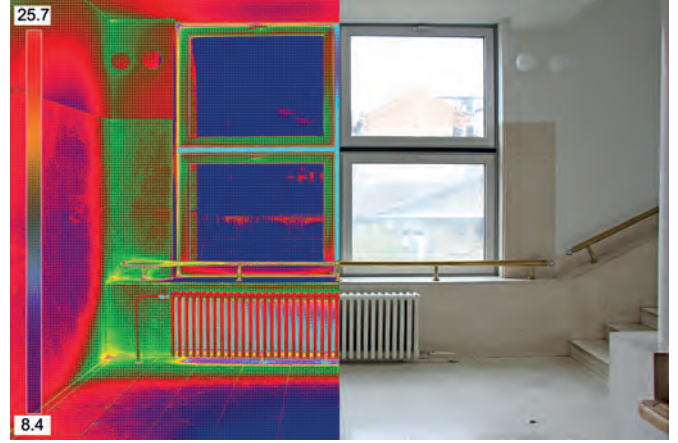
Termal görüntüleme, sağlık sektöründe sadece vücut sıcaklığı ölçümü için değil, derideki sıcaklık dağılımının gözlenmesi gibi uygulamalar ile çeşitli sağlık sorunlarının teşhisi için de kullanılır. Sağlık sektörü haricinde, meteoroloji uydularının çektiği termal görüntüler ile hava tahminleri, astronomik gözlemler, yapılarda ısı kayıplarının tespiti, elektronik ve mekanik sistemlerin kontrolü ve yangının merkezini belirleyerek söndürme çalışmalarının performansını artırmak için de termal görüntüleme sistemleri kullanılır. Bir başka kullanım alanı ise, enerji santrallerinden doğaya salınan baca gazlarının görüntülenmesidir. Her gaz molekülünün kendine has kızılötesi karakteristiği olduğundan baca gazına termal görüntüleme ile bakılarak çevreye zararlı gazların miktarının belirlenmesi de mümkündür.

Sivil kullanım alanlarının dışında, termal kameralar askeri uygulamalarda da sıklıkla kullanılır. Özellikle ısı güdümlü tehditlerin varlığı, termal kameraları savunma alanında önemli bir ihtiyaç hâline getiriyor. Askeri ve sivil uygulamalardaki termal kameralar, temel olarak birbirine benzemekle beraber bazı farklılıklara da sahiptir. Genellikle sivil uygulamalardan farklı olarak, askeri uygulamalarda termal kameraların titreşime dayanıklı, gerçek zamanlı algoritmaların çalıştırılabilmesine izin verecek kadar hızlı ve yüksek çözünürlüklü olması gibi bazı özelliklere sahip olması beklenir.

Gelecekte ihtiyaçların artmasıyla birlikte daha detaylı ölçüm kabiliyetlerine sahip sistemlerin geliştirileceği, bunun sonucunda uygulama alanlarının çoğalacağı ve hâlihazırdaki uygulama alanlarında da imkân ve kabiliyetlerin katlanarak artmaya devam edeceği açıktır. ■



Termal kameralarla alınan bu görüntüde mavi renkteki evde ısı yalıtımı yapıldığı görülüyor.



Bir binadaki ısıtıcıların ve pencerelerin sıradan (sağda) ve termal kameralarla (solda) alınmış görüntüleri

Kaynaklar

T.C. Sağlık Bakanlığı, "COVID-19 Rehberi", (<https://covid19bilgi.saglik.gov.tr/tr/>) .

Childs P. R. N., Greenwood J. R., and Long C. A., "Review of Temperature Measurement", *Review of Scientific Instruments*, 71, s. 2959–2978, 31 Temmuz 2000.

Wien W., "Proceedings of the Imperial Academy of Science", s. 55, 9 Şubat 1893.

<https://www.quora.com/Why-do-all-hot-objects-emit-infrared-light/answer/Umut-Kay%C4%B1k%C4%B1>

Houdas Y., Ring E.F.J., "Human Body Temperature: Its Measurement and Regulation", *Springer*, s. 71, 1982.

<https://www.flir.com/discover/cores-components/can-thermal-imaging-see-through-walls/>