

SICAKLIK ÖLÇÜMÜNÜN TERMODİNAMİK TEMELLERİ VE TEKNOLOJİK GELİŞİMİ

Ünal ÇAMDALI
Erhan TUNÇEL

1. ÖZET

Soğuk ve sıcak kavramları çok bilinen kavramlar olmasına rağmen, sıcaklığın tam bir tanımını yapmak kolay değildir. Duyularımız yardımıyla sıcaklık düzeyini: soğuk, ılık, sıcak gibi sözcüklerle **göreceli** olarak ifade edebiliriz. Ancak duyularımıza dayanarak sıcaklıklara sayısal değerler vermemiz mümkün değildir.

Bu çalışmada sıcaklık ölçümünün termodinamik temelleri, **Termodinamik yasalarından** yararlanılarak tanımlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca bu çalışmada sıcaklık ölçüm teknikleri ile birlikte, sıcaklık ölçümünde kullanılan cihazların teknolojik gelişimi de ortaya konmaya çalışılmıştır.

2. GİRİŞ

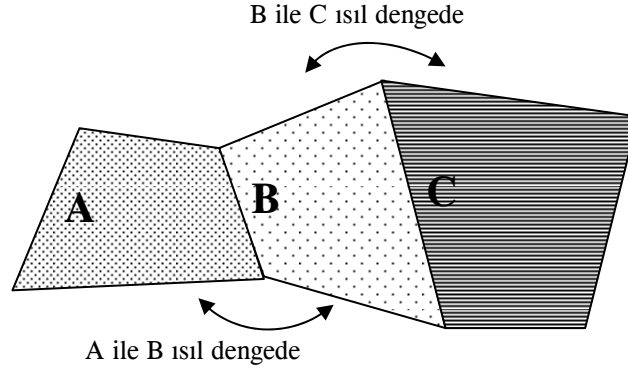
Sıcaklığın tam bir tanımını yapmak kolay değildir. Duyularımızdan faydalanarak bir cismin sıcaklığını sıcak, soğuk, ılık gibi sözcüklerle ifade etmemize rağmen yine duyularımız yardımıyla cismin sıcaklığını sayısal olarak belirlememiz mümkün değildir.

Sıcaklık ölçümü, maddelerin sıcaklığa göre değişim gösteren özelliklerine göre yapılabilir. Örnek olarak halk arasında derecede diye bilinen cıvalı termometreler ile sıcaklığı ölçülebilir. Cıvanın sıcaklıkla genişmesi sıcaklığın değerini bulmamıza yardımcı olur.

Bir termodinamik sistem, belirli bir kütle veya uzayda incelenmek üzere ayrılan bir bölgeyi belirtir [1]. Böyle bir sistemi içerdği maddeleri, hacmi, basıncı ve sıcaklığı ile tanımlayabiliriz. Bir sistemin sıcaklığı arttıkça sistemi oluşturan elemanların düzensiz ısıl hareketi de artar. Soğutulduğunda da tersine olarak ısıl hareketi yavaşlar ve daha düzenli bir hale gelir. Katı bir cisim ısıtıldığında, atomlarındaki hızlı titreşim ile sıvı hale geçmesi; sıcaklık daha da artırıldığında atomlar arasındaki bağların kopması ile birlikte gaz haline geçmesi buna örnek olarak verilebilir.

Farklı sıcaklıklarda ve dış ortamdaki izole edilmiş iki farklı bakır blok birbiri ile temas ettirildiğinde bu iki blok arasında ısı alışverişi gerçekleşir. Isı alışverişi süresince sıcak olan blok zamanla soğurken, soğuk olan blok da zamanla ısınacaktır. Bir süre sonra ısı alışverişi tamamlanarak iki blok da ısıl dengeye ulaşmış olacaktır. Blokların ısıl dengeye ulaşmış olduğunu sıcaklıklarına bakarak anlayabiliriz. Isıl denge için **tek koşul** sıcaklıkların **eşit** olmasıdır.

Termodinamiğin sıfırıncı yasası iki ayrı cismin bir üçüncü cisimle ısıl dengede olmaları durumunda, kendi aralarında da ısıl dengenin olacağını belirtir. Üçüncü cisim termometre olarak alınırsa, sıfırıncı yasa şu şekilde yazılabilir: *Sıcaklıkları aynı değer olarak ölçülen iki cisim birbirleriyle temas etmeseler de ısıl dengededirler* [1]. Örnek olarak Şekil 1'de görüleceği gibi A, B ve C cisimleri bulunmaktadır. Eğer A cismi B cismi ile ve B cismi de C cismi ile ısıl dengede ise, A ve C cisimleri de ısıl dengede olacaktır [2].



Şekil 1. Isıl Denge

3. SICAKLIĞIN ÖLÇÜLMESİ VE SICAKLIK ÖLÇEKLERİ

Sıcaklığı ölçmek için kullanılan ilk cihaz **Galilei**'nin **1597** yılında yaptığı termoskoptur. Termoskop, ince ve uzun bir tüp ile yumurta şeklindeki kısımdan oluşan cam bir şişeydi. Şişenin tüp şeklindeki kısmı, içinde sıvı olan başka bir kaba konuluyordu. Yumurta şeklindeki kısmı da elle ovuşturarak ısıtılıyordu. Eller çekildiğinde kaptaki sıvı, tüpün içinde belli bir yüksekliğe ulaşıyordu.

İlk sıvılı termometre 1641 yılında günümüzde İtalya'da bulunan Toskana bölgesi imparatoru II. Ferdinand için yapılmıştır. Sıcaklığı ölçmek için sıvının sıcaklıkla değişen özelliklerinden yararlanılıyordu. Bu termometre sabit noktası olmayan 50 eşit bölümlle işaretlenmiş bir tüp içindeki alkolden oluşuyordu.

1664'de İngiliz bilim adamı Robert Hooke termometrede, sıvı olarak alkolle birlikte kırmızı boya kullanmıştır. Yapmış olduğu ölçekte 500 parçaya bölünmüş sıvı sütununun her bir parçası 1 dereceye karşılık gelmektedir. Ölçekte sabit nokta olarak suyun donma noktasını seçmiştir. Robert Hooke yaptığı bu ölçekle standart ölçüğün çeşitli büyüklükte termometrelerde kullanılabileceğini göstermiştir.

1702'de gökbilimci Ole Roemer iki sabit nokta olarak buzun ergime ve suyun kaynama noktalarını alarak bir ölçek oluşturmuştur. Bu ölçekle 1708-1709 yılları arasında Copenhag'ta ölçümler yapmıştır.

1724'de Gabriel Fahrenheit ilk kez termometrik sıvı olarak **cıvayı** kullanmıştır. Cıvanın ısı genleşmesi yüksek ve düzgün olduğundan, büyük sıcaklıkları ölçmede de bir sorun oluşturmamaktadır. Görünümü de sıcaklığın okunmasını kolaylaştırmaktadır. Fahrenheit tuz-buz karışımının sıcaklığına 0, insan vücudunun sıcaklığına 96 değerini verdi. Bu değerlere dayanarak yapılan ölçümler sonucu buz ve buhar noktalarının sıcaklıklarının sırasıyla 32 ve 212 olduğunu tespit etmiştir. Bu durumda 32 ve 212 noktaları sabit noktalar olarak alınmıştır.

Fahrenheit bu ölçekte suyun kaynama noktasını 212 olarak ölçmüştür. Daha sonra suyun donma noktasını 32 ayarlamıştır. Suyun kaynama noktası ve donma noktası arasını 180 eşit parçaya bölmüştür. Bu ölçekte ölçülen değerlerin birimi Fahrenheit derecesi (F) olmuştur [3].

100 derecelik (santigrat) ölçüğünü ilk defa İsveçli astronom Anders Celsius 1742'de geliştirmiştir. Celsius, suyun kaynama noktasını 0°, buzun ergime noktasını 100° olarak almıştır. Sonradan bu ölçek ters çevrildi ve soğuk uç 0°, sıcak uç 100° olarak kabul edildi. Yaygın olarak kullanılan bu ölçek 1948 yılına kadar santigrat ölçüğü olarak anılmış 1948'de adı Celsius Ölçüğü olarak değiştirilmiştir.

İngiliz fizikçi Lord Kelvin, 1848'de Celsius dereceyi kullanan ama sıfır mutlak sıfırda (-273,15C°) olan yeni bir sıcaklık ölçüğü ortaya koydu. Termodinamik sıcaklık ölçüğü olarak da tanımlanan bu ölçek

tersinir ısı makinaları esas alınarak tanımlanmıştır. Bu ölçeğin sıcaklık birimi Kelvin (K) olarak adlandırılır. 1 K, suyun üçlü noktası değerinin $1/273,16$ 'sı olarak tanımlanır [1,4,5].

Rankine sıcaklık ölçeği de, mutlak sıcaklık ölçeği olmasına rağmen Fahrenheit ölçeğini kullanan bir sıcaklık ölçeğidir [1,4].

Kelvin ölçeği ile *Celsius* ölçeğinin ilişkisi,

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273 \quad (1)$$

Rankine ölçeği ile *Fahrenheit* ölçeği arasındaki ilişki ise,

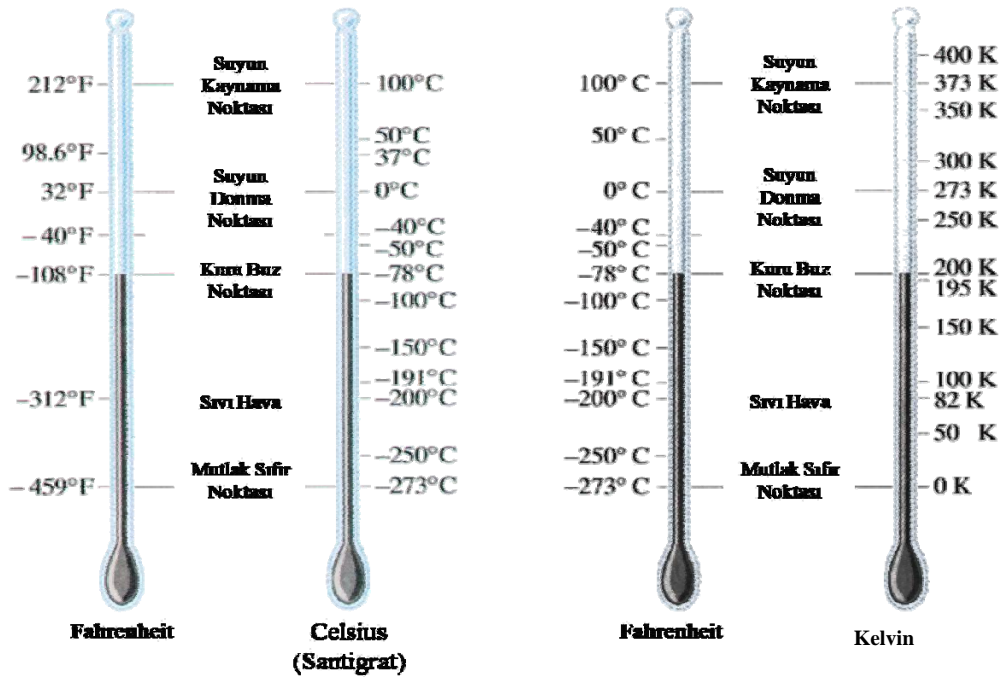
$$T(R) = T(^{\circ}F) + 460 \quad (2)$$

bağıntıları ile verilmektedir. İki birim sistemindeki sıcaklık ölçekleri arasında aşağıdaki bağıntılar kullanılarak çevirme yapılabilir [1] :

$$T(R) = 1.8T(K) \quad (3)$$

$$T(^{\circ}F) = 1.8T(^{\circ}C) + 32 \quad (4)$$

Yukarıda ortaya konan sıcaklık ölçekleri Şekil 2. de gösterilmiştir.



Şekil 2. Sıcaklık Ölçekleri

4. SICAKLIK ÖLÇÜM TEKNİKLERİ

Sıcaklık doğrudan ölçülemeyen bir özellik olmakla birlikte ölçümü direnç, hacimsel genleşme ve buhar basıncı gibi sıcaklıkla ilişkili fiziksel olaylara dayalı olarak belirlenir. Birçok sıcaklık ölçüm tekniği mevcuttur. Bunlar ölçümün yapılacağı ortam ve cihaz arasındaki yakınlığa göre sınıflandırılabilir: Akışkanlarda sıcaklık ölçümü, sıvılı cam termometre, ısı çift ya da rezistanslı sıcaklık dedektörü gibi sıvıya gömülebilen sensörlerle yapılabilir. Kızılötesi termometrelerle de sıvı sıcaklıkları ölçülebilir. Ancak bu yöntemlerin kullanımı yüzey emisyonu ve şeffaflık derecelerindeki dengesizlik yüzünden daha zordur [5].

Katı bir cismin sıcaklığı ölçülmek istendiğinde de, cisimde sensörün yerleştirileceği bir delik açılır. Sensör cisimle ısı dengeye ulaşmaya kadar bekletilir. Sensör ile cisim arasındaki ısı etkileşimini artırmak için açılan deliğe yüksek ısı iletkenlikli yağ konulabilir. Sensöre bağlanan kablolar boyunca istenmeyen ısı iletimleri mümkün mertebede en aza indirgenmelidir.

Saldırğan Teknikler (Invasive Techniques)

Algılayıcının, sıcaklığı ölçülecek ortamla *doğrudan temas* halinde olduğu tekniklerdir. Sensörler, sıvılı cam termometreler, çift metalli çubuklar, ısı çiftler, rezistanslı sıcaklık dedektörleri ve gaz termometreleri saldırğan tekniklere örnektir.

Şekil 3'de görüldü gibi cam termometre cıva ile doldurulmuş cam tüpten meydana gelir. Sıcaklığın artması ile cıva genleşir. Böylece cıvanın hacmi ölçülerek sıcaklık belirlenir. Bu termometreler normal bir insanın cıva seviyesine göre sıcaklığı kolayca okuması için kalibre edilirler.



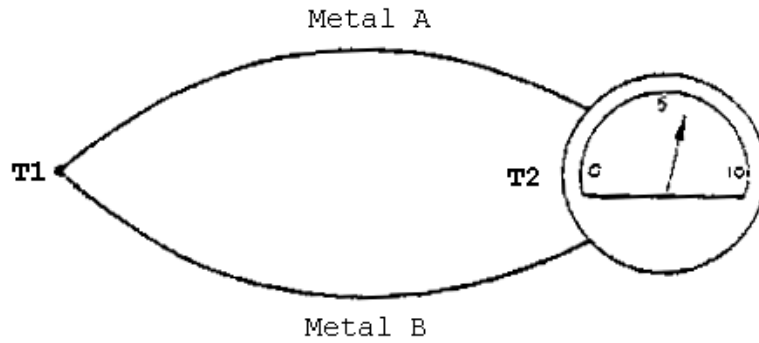
Şekil 3. Cıvalı Termometre

Bu tip termometreler genellikle termostat gibi kontrol cihazlarında kullanılırlar. Çift metalli termometreler (Şekil 4) farklı ısı genleşme katsayılarına sahip iki metalin birleştirilmesiyle yapılır. Sıcaklığı değiştiğinde metallerin ısı genleşmeleri farklı olduğundan çubuk bükülür. Bükülmenin büyüklüğü sıcaklık değişiminin ölçüsünü verir. Çift metalli çubuklar, ibrelili termometreler için spiral veya helezonik şekilde yapılırlar. Çift metalli çubuk bir helise sarılıdır. Çubuktaki bükülme, helisin serbest ucunun kendi etrafında dönmesini sağlar. Bu uç, ibrenin şaftına bağlanır ve ibrenin hareketi ile ölçekten sıcaklık değeri okunabilir [3, 6].



Şekil 4. Çift Metalli Termometre

Şekil 5’de görüldüğü gibi Isıl çiftler (*Thermocouples*) düşük maliyetleri, geniş sıcaklık aralıklarında ölçüm sağlamaları nedeniyle araştırma laboratuvarlarında ve sanayide sıkça kullanılırlar. Basit olarak ısıl çiftler birbirine bağlı iki farklı telin ucuna bir voltaj ölçüm cihazı bağlanarak elde edilebilir. İki tel arasına bağlanan voltmetre sıcaklığın bir fonksiyonu olan elektromotor kuvvetini (emk) gösterir.



Şekil 5. Isıl Çift Yapısı (T_1 : termoelektrik bağlantı sıcaklığı, T_2 : uç bağlantı sıcaklığı)

Piyasada kullanılan tellerin alaşımlarına, ölçülebilen sıcaklık aralıklarına ve hassaslığına göre birçok ısıl çift mevcuttur. Isıl çiftlerde uluslar arası standartlara uygun sekiz standart malzeme kullanılır. Bunlar üç kategoride incelenir:

- Nadir bulunan metallere yapılan ısıl çiftler (B, R, ve S tipi ısıl çiftler: platin ve platin rodyumlu alaşımlardan üretilir.)
- Nikelli ısıl çiftler (K ve N tipi ısıl çiftler)
- Konstantan negatif ısıl çiftler (E, J ve T tipi ısıl çiftler) [5,7].

Sıcaklığa göre direnci değişen termistörler de bazı uygulamalarda kullanılırlar. Termistörler sıcaklık sabitine göre ikiye ayrılırlar:

- Pozitif sıcaklık sabitine göre termistörler (PTC)
- Negatif sıcaklık sabitine göre termistörler (NTC)

Pozitif sıcaklık değerine sahip (PTC) dirençler (Şekil 6) ısındığı zaman, direnç değeri büyür. Baryum karbonat ve titanyum dioksitin sinterlenmesi ile üretilen baryum-titanat kullanılarak üretilirler. Genellikle sıcaklık ölçümlerinde kullanılmazlar. Kullanım yerleri sıcaklığa duyarlılık gereken alanlar, anahtarlar, elektrik motorlarındaki ve transformatörlerdeki sarımların korunması vb olarak sıralanabilir. [8, 9].



Şekil 6. PTC Termistörü

Negatif sıcaklık değerine sahip (NTC) dirençler (Şekil 7)) ısındığı zaman direnç değeri azalır. Mangan, nikel, kobalt, demir, bakır ve titanyum gibi metallerin oksitleri kullanılarak üretilirler. NTC termistörler bağlanma şekline göre iki kategoriye ayrılırlar: boncuk termistörler ve metalleştirilmiş yüzey termistörleri şeklindedir. NTC termistörleri motor ve transformatör gibi fazla ısınması istenmeyen sistemlerde alarm ve koruma devresini harekete geçirmek için ve bir su deposundaki su seviyesinin kontrolünün sağlanmasında kullanılabilir.



Şekil 7. NTC Termistörü

Manometrik termometreler (Şekil 8) sıcaklığı belirlemek için basıncı ölçerler. Gaz termometreleri, ideal gaz yasasını temel alan ve 1 K ile 100 K arasında ölçüm yapabilen manometrik termometrelerdir. En çok kullanılan sabit hacimli gaz termometresidir. Bu yöntemde sıcaklık şu şekilde ölçülür: gaz ile doldurulmuş balon, sıcaklığı bilinen (T_1) bir sıvıya batırılır. Balon ile sıvı ısı dengeye ulaştığında, balonun basıncı (P_1) ölçülür. Bu işlem sıcaklığı bilinmeyen (T_2) bir sıvı ile tekrarlanır. (5) Eşitliği kullanılarak (T_2) sıcaklığı hesaplanır.

$$T_2 = T_1 \frac{P_2}{P_1} \quad (5)$$



Şekil 8. Manometrik Termometre

Yarı Saldırgan Teknikler (Semi-Invasive Techniques)

Sıcaklığı ölçülecek yüzeylerin uzaktan incelenmesi amacıyla kullanılan tekniklerdir. Sıcaklığa duyarlı katı kristal veya boyalar ve sıvı kristaller kullanılır. Uygulandıkları yüzeyin uzaktan gözlenmesine izin veren sıcaklığa duyarlı birçok madde bir yapıştırıcı madde ile karıştırılarak boya haline getirilir. Kullanılan sıvı kristallerde, sıcaklık değiştikçe renk değişimi meydana gelir. Gerekli kalibrasyon yapılarak akışkan kristallerin rengine göre sıcaklıklarının elde edilmesi mümkündür.

Belirli bir sıcaklığa ulaşıldığını veya o sıcaklığın aşıldığını gösteren sıcaklığa duyarlı kalem (Şekil 9), topak ve etiketler bu gruba girerler.



Şekil 9. Sıcaklığa Duyarlı Kalemler

Saldırgan Olmayan Teknikler (Non-Invasive Techniques)

Sıcaklığı ölçülecek yüzeyin uzaktan gözlenmesini sağlayan tekniklerdir. Bu teknikler içinde en yaygın olarak kullanılanı kızılötesi termometrelerdir.

Işınım ile ısı transferi, ısı enerjisinin elektromanyetik radyasyon yoluyla transferi olarak tanımlanabilir. Kızılötesi termometreler (Şekil 10) ısı enerjisinin elektromanyetik radyasyon ile yayılmasından yararlanarak, sıcaklığın ölçülmesini sağlarlar. Tipik bir kızılötesi ölçüm sisteminde elektromanyetik radyasyonu toplayan bir sistem, ışınımı sıcaklıkla ilgili bir sinyale dönüştürecek bir detektör, bir amplifikatör, ölçümün görüntülenmesi, denetlenmesi ve kaydedilmesi için bir arabirim devresinden oluşur.

Kızılötesi ışına boşluktan ve bir ortamdan geçebildiğinden sensörün sıcaklığı ölçülecek ortamla temas halinde olması gerekmez. Kızılötesi termometreler 50 ila 6000 K'lık ölçüm aralığına sahiptir. Diğer cihazlar ile ölçümün zor olduğu yerlerde kullanılırlar.



Şekil 10. Kızılötesi Termometre

Kızılötesi termometreler proses bakım, problemlerin tespiti, ısıtma–havalandırma uygulamaları, gıda güvenliği, plastik kalıpcılığı gibi alanlarda kullanılırlar.

En Çok Kullanılan Kızılötesi Termometre Çeşitleri

Nokta kızılötesi termometreler veya pirometreler bir yüzeydeki noktanın sıcaklığını ölçmek için kullanılır.

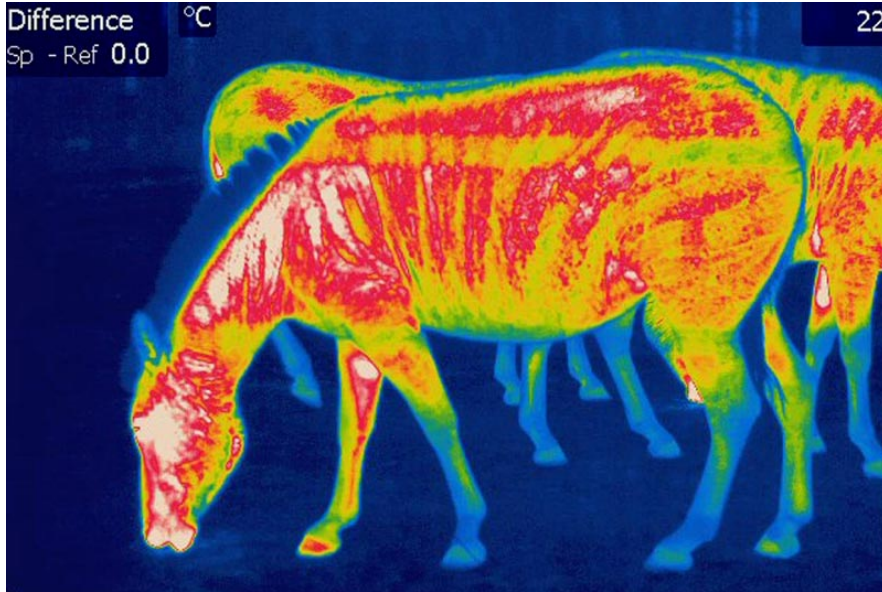
Kızılötesi çizgi tarama sistemleri daha büyük alanları tarar. Bu cihazlar konveyör ve dokuma alanlarını kapsayan üretimlerde kullanılır. Örnek olarak büyük bir fırındaki cam ya da metal tabakaları ve konveyör bandı üzerindeki kumaş, bez, kâğıt gibi malzemeler verilebilir.

Termal kameralar

Bir cismin yüzey sıcaklığını niteliksel ve niceliksel olarak işleyebilen cihazlardır (Şekil 11). Bu tip sistemler yüzey sıcaklığının ölçülmesinden çok, görüntüsünü (Şekil 12) oluşturmak için kullanılırlar. Herhangi bir aydınlatma aracı olmadan da çalışmaları nedeniyle askeri uygulamalar ve kurtarma çalışmalarında kullanılırlar. [5, 10]



Şekil 11. Termal Kamera



Şekil 12. Termal Kameradan Elde Edilen Görüntü

SONUÇ

Sıcaklık da enerji gibi çok bilinen kavram olmasına rağmen, tek bir tanımı yoktur. Bu durum söz konusu kavramların anlaşılabilirliğini güçleştirmektedir. Bununla birlikte sıcaklık ölçümü çok eskilere dayanan bir olgu olmasına rağmen, ölçümün dayandığı termodinamik ilkelerden olan **termodinamiğin sıfırıncı yasasının**, bu olaylardan yüzyıllar sonra anlaşılması da ayrıca bilim tarihi açısından ilginç bir nokta olarak karşımıza çıkmaktadır. Zira bu yasa ilk defa 1931 yılında R.H. Fowler tarafından net olarak ortaya konmuştur. Ayrıca termodinamik sıcaklık ölçeği olarak da tanımlanan **mutlak sıcaklık ölçeği** de, termodinamiğin ikinci yasası ile ilişkilendirilerek geliştirilmiştir.

Günümüzde teknolojik gelişmelere bağlı olarak ölçüm teknolojileri de sürekli olarak gelişimini sürdürmektedir.

Bu çalışma bu anlamda sıcaklık kavramının tanımlanmasına ve anlaşılabilirliğine katkı yapmak amacıyla hizmet etmesine yönelik olarak hazırlanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Çengel, Y. A. ve Boles, M. A., Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Literatür, 1996
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Zeroth_law_of_thermodynamics
- [3] Grigull, U., "Fahrenheit A Pioneer of Exact Thermometry", Proceedings Of The Workshop On The Second Law of Thermodynamics, Vol. 1, 13.1–13.10, 27-30 Ağustos 1990 Kayseri, 1991
- [4] Moran, M. J. ve Saphiro, H. N., Fundamentals of Engineering Thermodynamics, John Wiley&Sons, 2006
- [5] Childs P., Endüstriye Dönük Uygulamalı Sıcaklık Ölçme Yöntemleri, Elsevier, 2005
- [6] http://www.tpub.com/content/fc/14104/css/14104_236.htm
- [7] <http://en.wikipedia.org/wiki/Thermocouple>
- [8] http://www.silisyum.net/htm/pasif_devre_elemanlari/termistor.htm
- [9] <http://en.wikipedia.org/wiki/Thermistor>
- [10] http://en.wikipedia.org/wiki/Infrared_thermometer

ÖZGEÇMİŞLER

Ünal ÇAMDALI

1964'de Kayseri'de doğmuştur. 1986 yılında İstanbul Teknik Üniversitesinde Lisans öğrenimini bitirdikten sonra aynı üniversiteden 1989 yılında Yüksek Mühendis ve 1998 yılında da Doktora derecelerini almıştır. Endüstriyel elektrik ark fırınlarında termodinamiğin birinci ve ikinci kanun analizi ve ısı transfer analizi ile endüstriyel sistemlerin değişken çevresel koşullardaki termodinamik analizi konularında çalışmalar yapmıştır. Ayrıca eski çalıştığı kurum olan Türkiye Kalkınma Bankasında da 1988-2007 arasında pek çok endüstriyel projenin değerlendirilmesinde görev almıştır. Ulusal ve uluslararası birçok dergide 60'ın üstünde makaleleri yayınlanmıştır. 2007 yılından beri Abant İzzet Baysal Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Mak. Müh. Bölümünde Doçent Doktor olarak çalışmalarını sürdürmektedir.

Erhan TUNÇEL

1984 Bolu doğumludur. 2007 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 2008 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans öğrenimine başlamıştır ve öğrenimini devam ettirmektedir.