

Yenilikçi Soğutma Teknolojileri: Isı Boruları

Burak Markal^{1*}, Kübra Aksoy¹⁺

¹Enerji Sistemleri Mühendisliği/Mühendislik Fakültesi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, Türkiye

*Corresponding author: burak.markal@erdogan.edu.tr

+Speaker: kaksoy044@gmail.com

Presentation/Paper Type: Oral / Full Paper

Özet –Yenilikçi soğutma teknolojileri arasında yer alan ısı boruları, sahip olduğu özgün karakteristikler sebebiyle son yıllarda önemli bir araştırma alanı olarak ortaya çıkmaktadır. Isı boruları, taşınım ile ısı geçişi ve sıvı-buhar faz değişimi ilkelerinden faydalanılarak, ısının bir bölgeden başka bir bölgeye aktarılmasını sağlayan pasif cihazlardır. Yüzeylerin soğutulması ve/veya yüzeylerde eş sıcaklık dağılımı elde edilmesi amacıyla kullanılırlar. Basit yapıları, içerisinde hareketli parça bulundurmamaları ve yüksek ısı geçiş kapasiteleri gibi üstün özellikleri vardır. En genel şekliyle ısı borusu, içerisinde iş akışkanı bulunan kapalı bir hacim olup; çok farklı geometrilere tasarlanabilirler. Ticari olarak uygulanabilir nitelikte olması ve ısı kontrol açısından gelecek beklentileri karşılayabilecek potansiyele sahip olmaları, ısı borularına olan ilgiyi artırmaktadır. Bu çalışmada, ısı borularının tanımı ve temel çalışma prensibi, ısı borusu türleri ve bu türlere özgü karakteristikler, ısı borusu bileşenleri ve uygulama alanları ile ilgili bilgiler sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler– Isı borusu, ısı borusu çeşitleri, ısı kontrol, soğutma teknolojisi.

Abstract – Among the innovative cooling technologies, heat pipes emerge as an important research area in recent years due to their unique characteristics. Heat pipes are passive devices that allow the heat transfer from one region to another by using the principle of heat transfer including convection and liquid-vapor phase change. They are used to cool the surfaces and/or to achieve a temperature gradient on the surfaces. They have superior properties such as simple structure, having no moving parts and having high heat transfer capacities. Most commonly, the heat pipe is a closed volume with a working fluid in it; they can be designed in very different geometries. Being commercially viable quality and having the potential to meet future expectations for thermal control increases the interest in heat pipes. In this study, information about heat pipes and basic operation principle, their types and characteristics, heat pipe components and their application areas are presented.

Keywords - Heat pipe, heat pipe types, thermal management, cooling technologies.

I. GİRİŞ

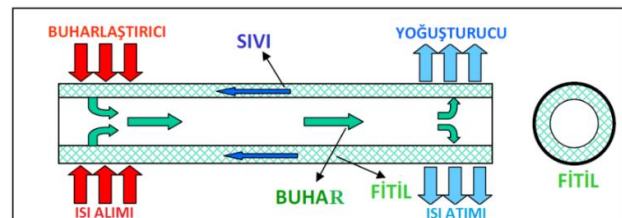
Isıl kontrol yöntemleri, elektronik ve/veya elektro-mekanik sistemlerin uzun ömürlü kullanımı, performansının artırılması ve mini/mikro boyutlara doğru giden tasarım süreçlerinin kolaylaşması açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle, bu tür sistemlerde açığa çıkan ısının uzaklaştırılmasını sağlayacak etkili yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut yöntemler arasında en ilgi çekici olanlardan biri ısı borularıdır.

Isı borusu kavramı ilk olarak 1944'te Gaugler [1] tarafından ortaya atılmış ve sonrasında (1962) Trefethen [2] tarafından ele alınmıştır. 1963'te Wyatt ısı borusu patent başvurusu yapmıştır [3]. Aynı yıl içinde, Los Alamos Ulusal Laboratuvarı'nda George Grove [4] uzay programı ve uygulaması için ısı borusu üretmiştir.

Isı borusu, düşük sıcaklık farkı ile uzun mesafeler boyunca yüksek miktarda ısı aktarımı sağlayabilen ve çalışma süresince pompa, kompresör gibi herhangi bir mekanik cihaza gereksinim duymayan oldukça etkili pasif bir ısı transfer cihazıdır.

Isı borusunun bileşenleri; kapalı bir kap (*container*), fitilli bir yapı (*wicked structure*) ve kendi buharıyla dengede

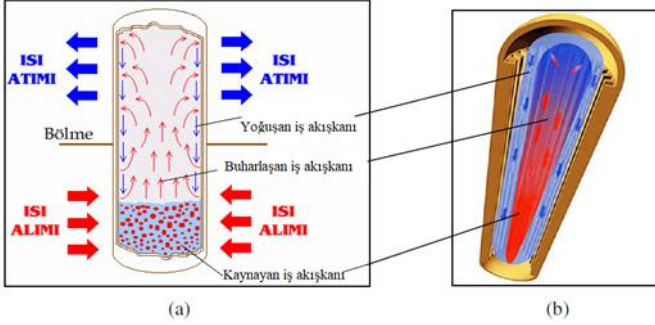
çalışan az miktarda sıvıdır (*iş akışkanı, working fluid*). Çalışma sıcaklığına bağlı olarak, ısı borusu içerisinde, su, etanol, metanol, amonyak vb. farklı iş akışkanları kullanılabilir. Isı boruları genellikle üç bölüme oluşmaktadır: (1) buharlaştırıcı bölge, (2) yoğuşurucu bölge ve (3) adyabatik bölge. Isı borusunu oluşturan yapı elemanları ve ısı borusu bölgeleri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Isı borusu yapı elemanları [6]

Isı borusunun çalışma şekli genel olarak şu şekilde özetlenebilir: Buharlaştırıcı bölgesinden alınan ısı sonucunda sıvı fazdaki akışkan buhar fazına geçer ve borunun iç bölgesinden yoğuşurucu bölgesine doğru hareket eder. Yoğuşurucu bölgesinde ısı dış ortama aktarılır ve buhar fazındaki akışkan tekrar sıvı faza geçer. Böylece sıcak bir

yüzeiden alınan ısı daha soğuk bir bölgeye aktarılmış olur. Sıvı haldeki akışkan fitil adı verilen kılcal yapı üzerinden kılcallık etkisi ile tekrar buharlaştırıcı bölgesine döner. Bu işlem yoğuşan akışkanı, buharlaştırıcı bölgesine geri döndürmek için yeterli kılcallık kuvveti olduğu sürece devam edecektir. Isı aktarımındaki fiziksel mekanizma faz değişimine dayandığı için ısı borusu çok yüksek miktarda ısı aktarımı sağlar. Şekil 2’de ısı borusunun çalışma şekli ve yapısı verilmiştir.



Şekil 2. Isı borusu: Çalışma şekli (a) ve kesit görünüşü (b) [5]

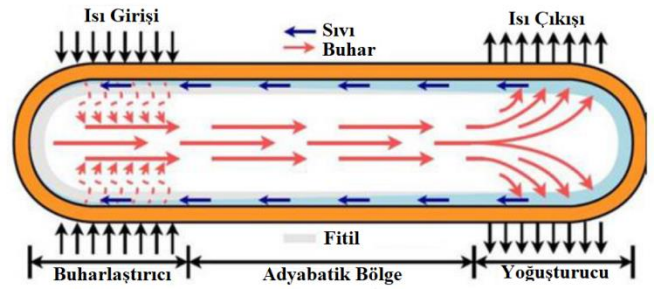
Bu çalışmanın amacı, ısı borularının tanımı ve temel çalışma prensibi, ısı borusu türleri ve bu türlere özgü karakteristikler, ısı borusu bileşenleri ve uygulama alanları ile ilgili bilgiler sunmaktır.

II. ISI BORUSU TÜRLERİ

Isı boruları, tasarım konusunda geniş bir esnekliğe sahip olup, kullanım alanı ve amaçlarına göre çok farklı formlarda üretilebilmektedirler. Ayrıca, ısı borularının çalışmasını sağlayan etkin kuvvet de kullanım amacına veya tasarıma göre değişebilmektedir. Literatürde yer alan ısı borusu türleri aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

A. Geleneksel Isı Borusu

Geleneksel ısı borusu kavramı, dairesel veya dikdörtgenel kesite sahip, içerisinde belli bir miktar iş akışkanı ve fitil bulunan kapalı bir hacmi ifade etmektedir. Bu tür ısı borularında sıvının buharlaştırıcı bölümüne dönmelerini sağlayan etkin mekanizma kılcallık kuvvetidir. Ayrıca, ısı borusu buharlaştırıcı bölge, adyabatik bölge ve yoğuşurucu bölgelerinin her üçünü de içermektedir. Isı boruları için ifade edilen genel yapıya ve çalışma prensibine sahiptirler. Yoğuşurucu bölgesine kıyasla daha sıcak olan buharlaştırıcı bölgesinde sıvı fazdan buhar fazına; soğuk olan yoğuşurucu bölgesinde ise buhar fazından sıvı fazına doğru faz değişimleri gerçekleşir. Sonuç olarak her iki uç bölgede de faz değişimi söz konusudur ve bu bölümlerdeki basınçlar aynı zamanda ilgili koşullardaki doyma basınçlarıdır. Dolayısıyla, buharlaştırıcı bölümünden yoğuşurucu bölümüne doğru (yüksek basınçtan düşük basınca doğru) kanalın iç bölgesi boyunca iş akışkanı hareket eder. Yoğuşurucu bölümünde yoğuşan iş akışkanı fitilli yapı boyunca kılcallık kuvveti etkisiyle buharlaştırıcı bölümüne geri döner. Sıvının kanal içerisindeki çevriminde etkin kuvvetin kılcallık olması sebebiyle, yer çekimi etkisinin olmadığı yatay pozisyonlarda da çalışabilme avantajına sahiptirler. Ancak, fitilli yapının varlığı ve zamanla deforme olabilmesi sebebiyle bazı dezavantajları söz konusudur. Geleneksel ısı borusunun şematik resmi Şekil 3’te gösterilmiştir.



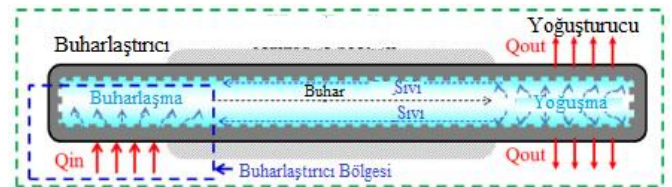
Şekil 3. Geleneksel Isı Borusu [6]

B. Minyatür ve Mikro Ölçekli Isı Borusu

Üretim teknikleri gün geçtikçe gelişmektedir. Bunun sonucu olarak elektronik bileşenler, mini ve mikro boyutlarda üretilebilmektedir. Gelişim sadece üretim yöntemleriyle sınırlı olmayıp, elektronik sistemlerin işlem kapasiteleri de artmaktadır. Bunun sonucu olarak daha fonksiyonel, boyutları daha küçük ve hafif sistemler geliştirilmektedir. Böylece, sağlık sektörü, savunma sanayisi, otomotiv sektörü ve toplumun beklentileri karşılanmaktadır. Artan işlem kapasitelerine karşı azalan boyutlar, elektronik sistemler için yüksek termal yoğunlukları ifade etmektedir. Sistem güvenliği için etkili ısı kontrol yöntemleriyle açığa çıkan ısı akılarının sistemlerden uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu gibi sistemler için geliştirilen ve mini/mikro boyutlara sahip olan ısı borularına minyatür ve/veya mikro ölçekli ısı boruları adı verilmektedir. Buradaki sınıflandırma sadece geometrik boyutlarla ilgili olup, farklı türlerdeki ısı boruları mini/mikro ölçekte üretildikleri takdirde bu kapsamda değerlendirilebilir. 0.5 ile 5 mm arasında hidrolik çapa sahip bir ısı borusu minyatür ısı borusu olarak tanımlanır [7]. Boyları genellikle 100 mm ile 300 mm arasında değişmektedir [8]. Mikro ısı boruları ise 10 ila 500 μm aralığında bir hidrolik çapa sahiptir [9].

C. Düz Plakalı Isı Borusu

Düz plakalı ısı borusu, dikdörtgen şeklindeki levhaların birleştirilmesi ile oluşturulur. Çalışma mekanizmaları, geleneksel dairesel ısı borusundaki gibidir. İkisi arasındaki temel fark, elde edilecek geniş bir yüzey alanı üzerine sıvı dağılmasını sağlamak için fitilin aldığı şekildedir. Bu şekildeki ısı borusunun ana özelliği, yüzey boyunca çok küçük sıcaklık gradyanlı bir yüzey üretme kabiliyetidir. Bu izotermal yüzey, ısıtıcı tarafından üretilmiş sıcak bölgeleri üniform hale getirmek ve soğutmak için kullanılabilir. [10] Şekil 4’te düz plakalı ısı borusunun şematik resmi verilmiştir.



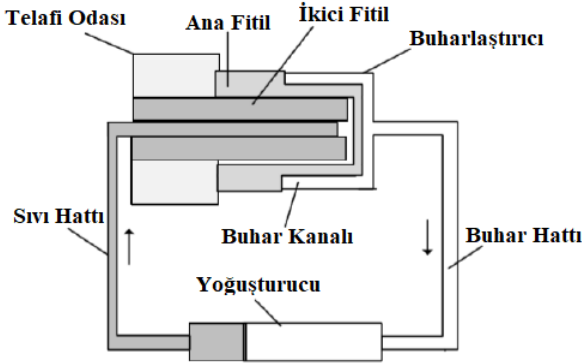
Şekil 4: Düz Plaka Isı Borusu [11]

D. Döngülü Isı Borusu

Döngülü ısı boruları 1980’li yılların başlarında Rusya’da icat edilmiştir. Şekil 5’te görüldüğü gibi sistem bir buharlaştırıcı bölümü, yoğuşurucu bölümü, telafi odası (*compensation chamber*), buhar ve sıvı geçiş hatlarından oluşmaktadır. Döngülü ısı borusunda fitil sadece buharlaştırıcı ve telafi odasında yer almaktadır. Buharlaştırıcı

bölgesi içindeki fitil gözeneklerinin uygun değerde olması, döngüyü sağlayan kılcallık için önemlidir. Telif odasındaki fitilin gözenek boyutları sıvı giriş-çıkışı sağlamak için buharlaştırıcı bölgesindeki fitile göre daha büyüktür.

Döngülü ısı borusunun çalışma prensibi şu şekilde açıklanabilir: Buharlaştırıcıya giren ısı ile beraber sıvı buharlaşır ve buharlaştırıcı içindeki fitilde buhar-sıvı ara yüzeyinde kılcal kuvvetler oluşur. Bu kuvvetlerin etkisiyle buhar yoğuşturucuya kadar taşınır. Buhar yoğuşturucu bölgesinde sıvı hale geldikten sonra tekrar kılcal kuvvetler etkisiyle buharlaştırıcıya gider. Telif odası ise fazla suyu depolar ve sistemin çalışma sıcaklığını kontrol eder [12]. Bu sistemlerin en önemli özelliği ortamdaki atık ısı sayesinde döngüyü sağlamaları ve hareketin sağlanması için dışardan bir kuvvete ihtiyaç duymayan pasif cihazlar olmasıdır.



Şekil 5. Döngülü Isı Borusu [13]

E. Yerçekimi Takviyeli Isı Borusu (Termosifon)

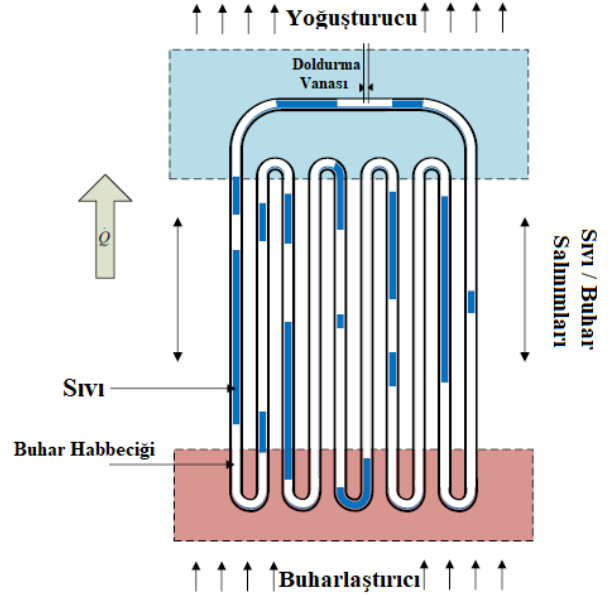
Yerçekimi takviyeli ısı borusunun çalışması sırasında, buharlaştırıcı bölümüne uygulanan ısıl yük, iş akışkanının bir kısmının buharlaşmasına sebep olur. Isı borusunun içini dolduran saf buhar, yoğuşturucu bölgesinin soğuk olan duvarına temas edince, yoğuşmaya başlar. Yoğuşan akışkan, yerçekimi etkisiyle buharlaştırıcıya doğru hareket eder. Orada yeniden buharlaşır ve hızlı bir buhar akımı halinde yeniden yoğuşturucu bölgesine döner. Bu çevrim sırasında buhar hızları, aksi yönde ilerleyen sıvı akışına kıyasla, yüksek olup, bazı hallerde buhar hızının ses hızına yaklaştığı ve hatta ses üstü hızlara ulaştığı görülür [14]. Termosifonlar yer çekimi etkisiyle çalışan fitilsiz ısı borularıdır. Sadece düşey veya düşeye yakın konumlarda çalışabilirler. Fitilli yapının olmaması ve çalışmasındaki etkin mekanizmanın farklı olması sebebiyle geleneksel ısı borularından ayrılırlar.

F. Titreşimli Isı Borusu

Titreşimli ısı boruları (TIB) verimliliği yüksek, hızlı ısıl tepkiye sahip basit yapılarıdır. Isıl değişimlere hızlı tepki veren kılcal bir borunun kıvrımlar halinde bükülmesi veya düz bir plaka üzerine kıvrımlı kanallar açılmasıyla oluşturulurlar. Geleneksel ısı borularının aksine titreşimli ısı borularında fitilli yapı yoktur. Akışkan hareketi kendi kendine sürdürülebilir titreşim ve salınım hareketiyle sağlanır. Bu yüzden kullanılan borunun iç çapı çok önemlidir. Kılcallık etkisi ile akışkan boru içinde atımlı halde ilerler.

Titreşimli ısı borusu genel olarak iki çeşittir. Birincisi kapalı uçlu titreşimli ısı borusudur. Şekil 6'da gösterildiği gibi kapalı bir çevrim sağlamak için borunun uçları birbirine bağlanmıştır. İkincisi ise açık uçlu titreşimli ısı borusu olarak adlandırılır [15]. Bu tip ısı borularında ısı geçişi, kabarcıklık

kaynama ve buharlaşma sonucu oluşan basınç dalgası sonucu akışkanın titreşerek ilerlemesi sonucu oluşur.

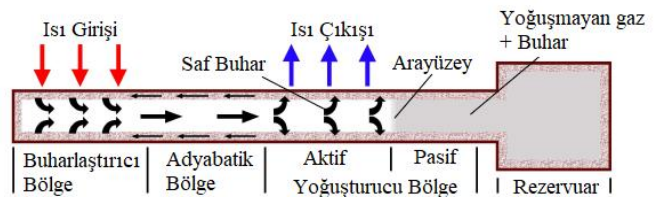


Şekil 6. Titreşimli Isı Borusu [16]

G. Değişken İletkenlikli Isı Borusu

Değişken iletkenlikli ısı borusu, buharlaştırıcı bölgesinin sıcaklığını ve dolayısıyla onunla temas eden nesnenin sıcaklığını sabit bir değerde tutabilmektedir. Başka bir deyişle, değişken iletkenlikli ısı borusu sıcaklık regülatörleri olarak çalışır.

Değişken iletkenlikli ısı borusunda, iş akışkanına ek olarak ısı borusuna yoğuşmayan gaz enjekte edilir. Yoğuşmayan gaz hacminin, yoğuşturucudan gelen ısı transferi ile doğrudan ilişkisi vardır. Isı borusu içindeki basınç arttıkça ve yoğuşmayan gazın hacmi azaldıkça, yoğuşturucu bölgesinin uzunluğu artar ve daha fazla ısı transferi gerçekleşir. Diğer taraftan, ısı borusu içindeki basınç azalursa, yoğuşmayan gazın hacmi artar ve yoğuşturucu bölgesinin uzunluğu azalır, yoğuşturucu bölgesinden dışarıya ısı transferi engellenir [17]. Sonuç olarak, buharlaşma sıcaklığındaki herhangi bir artış, yoğuşmayan gazın yoğuşturucu bölgesinde daha küçük bir hacme sıkıştırılmasına sebep olur ve yoğuşturucu bölgesinin artan uzunluğu sebebiyle büyük miktarda ısı aktarımı gerçekleşir. Tersine, buharlaştırıcı bölgesindeki sıcaklıkta meydana gelen herhangi bir düşüş, yoğuşturucu bölgesine temas eden buhar yüzeyinde bir azalmaya yol açar. Bu nedenle, değişken iletkenlikli ısı borusunda, yoğuşturucu bölgesinin alanı sıcaklıktaki değişikliklere göre değişir ve ısı transfer değeri de orantılı olarak değişir. Şekil 7'de değişken iletkenlikli ısı borusunun şematik resmi verilmiştir.

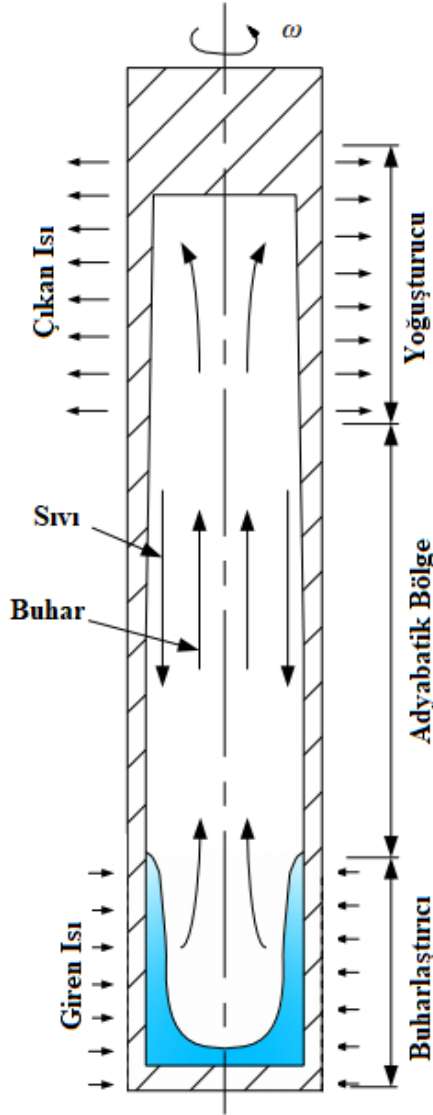


Şekil 7. Değişken İletkenlikli Isı Borusu [18]

H. Dönen Isı Borusu

Grey tarafından 1969 yılında keşfedilen [19], dönen ısı boruları, ısı borusunun ekseninde dönmesi sebebiyle bu isimle adlandırılmaktadır. Geleneksel ısı borularına benzer şekilde çalışırlar [20, 21]. Buharlaştırıcı ve yoğuşturucu bölümlerinde iş akışkanının faz değiştirmesi sonucu, ısı borusu üzerinde nispeten az bir sıcaklık düşüşüne ve buna karşın yüksek ısı transfer hızlarına olanak sağlarlar. Bu sebeple, bu tür cihazlarda tek fazlı ısı transfer cihazlarına kıyasla çok daha düşük bir ısı direnç meydana gelir [22]. Dönen ısı borularında iş akışkanının dolaşımında rol oynayan temel kuvvet merkezkaç kuvvetidir. Bu durum, geleneksel ısı borularında bulunan fitilli yapıya olan ihtiyacı ortadan kaldırır [23].

Endüstriyel uygulamaların çoğu, dönen elektrikli makineler, ısı değiştiricileri ve yüksek hızda dönen kesme işlemlerini soğutmak için döner ısı borularını kullanır. Şekil 8'de dönen ısı borusunun şematik resmi verilmiştir.

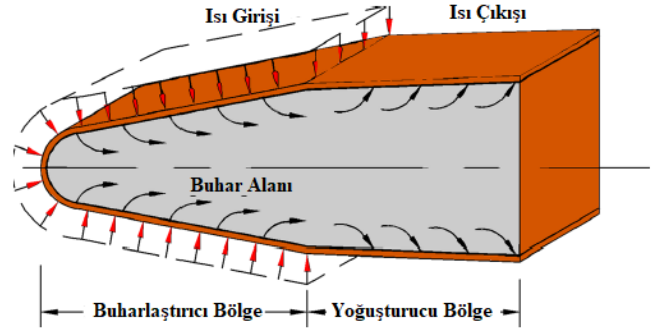


Şekil 8. Dönen Isı Borusu [24]

I. Konvansiyonel Olmayan Isı Boruları

Isı borularının çoğunluğu silindirik veya dikdörtgen kesitli olsa da özel uygulamalar farklı geometrilere sahip ısı borularının kullanılmasını gerektirir. Örnekler arasında,

mikro / minyatür ısı boruları, enine kesiti çokgen biçimli olan ısı borusu veya ısı borusunun uzunluğu boyunca değişen enine kesitler bulunmaktadır. Şekil 9'da değişken kesitli bir ısı borusunun şematik resmi verilmiştir.



Şekil 9. Çokgen Kesitli Isı Borusu Tasarımı [25]

III. ISI BORUSU YAPI ELEMANLARI

Isı borusu 3 temel yapı elemanından oluşur: (1) İş akışkanı, (2) fitil ve (3) dış muhafaza.

A. İş Akışkanı

Bir ısı borusu tasarımı veya seçiminde dikkat edilecek en önemli hususlardan biri uygun iş akışkanının seçimidir. Isı borularında en çok kullanılan iş akışkanlarından bazıları Tablo 1'de verilmiştir. Isı borusundaki iş akışkanı, buharlaştırıcı bölgesinden aldığı ısıyı yoğuşturucu bölgesine çok hızlı bir şekilde iletibilmelidir. Bu işlemi gerçekleştirebilmesi için, belirli özelliklere sahip olmalıdır. Kullanılacak akışkan, ısı borusu içerisine boru iç hacminin yaklaşık 1/3'ü oranında doldurulur (kabul edilen ideal dolum oranıdır. Çalışma koşullarına göre değişebilir). Isı borusu içerisine doldurulan akışkan miktarı üzerine yapılmış olan araştırmalarda ısıtma veriminin akışkan miktarlarına göre değiştiği belirlenmiştir.

Tablo 1. Isı Borusunda Kullanılan İş Akışkanları ve uyumlu olduğu malzemeler [26]

İşletme Aralığı (°C)	Akışkan Cinsi	Kaynama Noktası Sıcaklığı (°C)	Gövde ve Fitil için Uygun Malzeme
-200 ile -80	Nitrojen	-196	Paslanmaz çelik
-70 ile -60	Amonyak	-33	Paslanmaz çelik
-60 ile 40	Freon 134a	-26,5	Paslanmaz çelik
-40 ile 120	Freon 21	8,92	Paslanmaz çelik
-10 ile 180	Freon 113	47,6	Paslanmaz çelik
40 ile 220	Freon 114	92,8	Paslanmaz çelik
-20 ile 120	Pentan	28	Paslanmaz çelik
0 ile 120	Aseton	56,2	Bakır, Paslanmaz çelik
10 ile 130	Metanol	65	Bakır, Paslanmaz çelik
0 ile 130	Etanol	78,6	Bakır, Paslanmaz çelik
10 ile 200	Su	100	Bakır, Nikel
190 ile 500	Civa	356	Paslanmaz çelik
400 ile 800	Potasyum	760	Nikel, Paslanmaz çelik
500 ile 900	Sodyum	883	Nikel, Paslanmaz çelik

Kaynamanın gerçekleşmesi, ilk çalışmaya başlama ve akışkan-malzeme uygunlukları gibi konular ısı borusu tasarımında ve imalatında önceden bilinmesi gerekli olan parametrelerdir. Uygun bir iş akışkanının belirlenmesinde ilk dikkate alınacak konu buharlaşma sıcaklığıdır. Kullanılan iş akışkanları kritik özellikleri bakımından kaynama noktası, buharlaşma ısısı, diğer malzemelerle uyumluluk, ısıl iletkenlik, ıslatabilirlik, buhar basıncı, ısıl kararlılık, kinematik viskozite, yüzey gerilimi, donma noktası gibi özelliklerine göre değerlendirilir.

Eksenel doğrultuda yüksek miktarda ısı aktarımı için iş akışkanının buharlaşma gizli ısısı yüksek olmalıdır. Yeterli pompalama kuvveti elde edebilmek için yüzey gerilimi yüksek olmalıdır. Yüzey ıslatma özeliği iyi olmalıdır. Isı transferinin iyileşmesi açısından ısıl iletkenliği yüksek olmalıdır. Akışın kolaylaşması açısından ise viskozitesi düşük olmalıdır. İş akışkanının kullanılan boru malzemesi ve/veya fitil malzemesi ile uyumlu olmaması durumunda iki temel problem ortaya çıkabilir: (1) akışkan içerisinde yoğunlaşan gaz üretimi ve (2) fitil veya dış muhafazanın iç yüzeylerinde kimyasal reaksiyonlar sonucunda deformasyon. Her iki problem de performans kaybına sebep olur. [27, 28, 29].

B. Fitil

Bir ısı borusunun çalışması esnasında, iş akışkanı yoğunlaştırıcı bölgesinden buharlaştırıcı bölgesine doğru fitil yardımıyla döner (ısı borusu türüne bağlı olarak). Fitildeki kılcalık fitilin iç yüzeyinde oluşur ve bu yüzeyde bir gerilme meydana gelir. Bu gerilme ile akışkan yüksek hızda fitilin iç yüzeyinde hareket eder [30].

Fitillerin kullanıldığı ısı borularında, fitilli yapının sahip olması gereken en önemli özellik; kılcalık etkisi oluşturarak sıvı fazdaki iş akışkanının buharlaştırıcı bölgesine dönüşünü sağlayacak düzeyde gözenek büyüklüğüne sahip olmasıdır. Bu özellik minimum akış direnci için önemlidir [31]. Çalışma esnasında maksimum kılcal-pompalama basıncının artması küçük yüzey gözenekliğiyle sağlanabilir.

İdeal bir fitilde bulunması gereken özellikler aşağıda belirtilmiştir.

- Akışkan ve duvar malzemesine uyumlu olmalıdır.
- Yüksek sıcaklıklarda bozulmamalıdır.
- Sürtünme katsayısı düşük olmalıdır.
- Sıcaklık değişimlerine bağlı olarak şekil bozukluğu ortaya çıkmamalıdır.
- Emici özelliği bulunmamalı, ısı borusuna uygun çapta ve ölçüde olmalıdır.

C. Dış Muhafaza

Dış muhafazanın görevi ısı borusu içindeki akışkanı çevreden ayırmaktır. Bu nedenle dış muhafaza sızdırmaz olmalı, iç ve dış basınç farkına dayanabilmeli, akışkan ile dış ortam arasındaki ısı alışverişine olanak vermelidir. Dış muhafaza seçilirken dikkat edilecek hususlar;

- Hem çevre şartlarına, hem de ısı borusu içindeki akışkanın şartlarına uygun olmalıdır.
- Dayanıklılık ve ağırlık oranı uygun olmalıdır.
- İmal usullerine uygun olmalıdır. (Kaynaklanabilme, makinede işlenebilme gibi).
- Kullanılan akışkanlar tarafından ıslatılabilmelidir.

Isı borusunu oluşturan elamanların birbiriyle uyumlu olması gerekmektedir. Malzemenin birbirine uygun olmaması halinde ortaya çıkan en önemli iki sorun korozyon ve

yoğuşmayan gaz çıkmasına sebep olan reaksiyonların meydana gelmesidir [32]. Yoğuşmayan gaz, yoğunlaştırıcıda birikerek akışı bloke edecek ve ısı geçişini olumsuz etkileyecektir. Dış muhafaza, iş akışkanıyla teması sonucunda erirse, malzemeden ayrılan parçalar akışla birlikte hareket ederek ısı borusunun yoğunlaştırıcı bölümüne taşınır ve orada birikir. Bunun sonucu olarak yüzey üzerindeki üniform sıcaklık dağılımı bozulur ve akış hattında tıkanıklıklar meydana gelebilir.

IV. ISI BORUSU UYGULAMALARI

Malzeme işleme teknolojileri hızlı bir şekilde gelişmekte ve buna paralel olarak kompakt sistemler üretilebilmektedir. Gelişen teknoloji, aynı zamanda, işlem kapasitesi yüksek cihazlara olan talebi artırmaktadır. Performansı artan, buna karşı boyutları küçülen sistemlerdeki en önemli problemlerden biri açığa çıkan yüksek ısıl yoğunluklardır. Sistemlerin güvenli çalışma aralığında kalabilmesi ve performans kaybının yaşanmaması için etkili ısıl kontrol yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kapsamda en iyi çözüm yollarından biri pasif ısı transfer cihazı olan ısı borularının kullanımınıdır.

Elektronik parçaların küçülmesiyle ortaya çıkan en büyük problemlerden birisi de bu parçaların soğutma ihtiyaçlarının karşılanmasıdır. 1993 yılında Pentium işlemciler dünyaya tanıtıldıktan sonra işlemcilerin gücü yıldan yıla artış göstermiştir. 2000 yılına gelindiğinde işlemcilerin ısı akışı yaklaşık 10-15 W/cm² iken 2010 yılında bu değer 120-150 W/cm²'ye çıkmıştır. Ortalama bir dizüstü bilgisayarın gücü 25-50 W, masaüstü cihazların gücü ise 80-150 W arasında değişmektedir. Bu nedenle, etkin ısıl kontrol yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Elektronik ekipmanlarda meydana gelen (işlemcilerinde) ısınma problemi gidermede ısı boruları yaygın olarak kullanılmaktadır [33]. Şekil 10'da dizüstü bilgisayara yerleştirilmiş ısı borusunun resmi verilmiştir.



Şekil 10. Dizüstü Bilgisayara Yerleştirilmiş Isı Borusu [34]

Kalıp imalatı ve plastik enjeksiyon sırasında ergimiş olarak kalıba doldurulan plastik veya metal alaşımlar çok kısa bir sürede katılaştırılarak istenilen şekli alması sağlanır. Soğutma süresi kısaltılarak seri üretim hızlandırılmış olur. Bu nedenle ısının kalıptan çekilmesi çok önemlidir ve bu işlem ısı boruları ile gerçekleştirilebilir.

Isı borusu özellikle uzay araçlarındaki ısıl problemlerin çözümünde başarı ile kullanılmaktadır. Uzay araçlarının yüzeyine gelen ısıl ışınımın düzgün olmaması, araç içinde büyük sıcaklık farklarının doğmasına sebep olur. Uzay

araçlarını çepeçevre saran ısı boruları yardımıyla bu aşırı sıcaklık farkları denge haline getirilmektedir [33].

Isı borularının başka bir uygulama alanı uydulardır. Uydunun güneşe bakan yüzü aşırı ısınmakta, karanlık yüzü ise çok düşük sıcaklığa maruz kalmaktadır. Bu problemi gidermek için uydunun dış yüzeyine ısı borularından oluşan bir yapı yerleştirilir [32]. Böylece ısınan taraftan ısı borularıyla ısı geçişi sağlanarak uyu çevresel olarak sabit sıcaklıkta tutulmuş olur.

Fotokopi makinelerinde ise buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcunun radyal doğrultuda birbirlerinden ayrıldıkları dairesel ısı boruları kullanılır.

Elektrik motorlarının çalışması esnasında meydana gelen sıcaklık artışlarını önlemek için rotorun çevresinde ısı borularını içeren tasarımlar kullanılmaktadır.

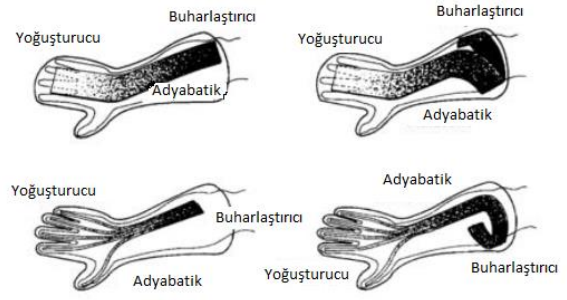
Sıcak suya ya da kızgın buharlı boruların yakın çevresine yerleştirilen yer altı elektrik hatlarında da ısı limitleri aşmamak için işletme ve bakım masraflarının uygun olmasından dolayı ısı boruları kullanılabilir [35]. Fazla ısınan bölgelere yerleştirilen ısı boruları sayesinde soğutma sağlanmaktadır.

İnsan vücudundaki tümörleri yok etmek için dondurucu cerrahi sondalar kullanılmaktadır. Bu tip cerrahi yöntemler, etrafındaki dokuya zarar vermediği ve çok az kanama ve ağrıya neden olduğu için tercih edilmektedir. Hastalıklı dokuyu tedavi etmek için hassas sıcaklık kontrolü sağlayan mikro ısı boruları kullanılan tıbbi sondalar da mevcuttur [36].

İklimlendirme sistemlerinde kullanılan ısı borularında soğutucu akışkan kullanılır. Bu tür sistemlerde geri dönen sıcak hava ile ısı borusunun buharlaştırıcı kısmı temas ettirilerek boru içindeki akışkan buharlaştırılır. Buharlaştıran akışkan borunun diğer ucuna, bir başka ifade ile yoğunlaştırıcı bölümüne hareket eder ve burada sistem içinde soğutulan hava ile soğutulur. Yoğuşan akışkan tekrar buharlaştırıcı bölümüne girerek çevrime devam eder. Bu sayede iklimlendirme konfor şartları iyileştirilir, havadaki nem miktarı azaltılır ve hava kalitesi artırılır. Klima sistemlerinde ısı borusunun kullanılması ile yaklaşık %15 oranında enerji tasarrufu sağlanmaktadır [16].

Havacılık uygulamalarında, kanatların keskin uçları ve uçağın burun kısmı uçak hızı arttıkça 1500 K (1227 °C) gibi sıcaklık değerlerine ulaşabilmektedir. Bu durum uçağa kullanılan malzeme ve uçuş güvenliği açısından tehlike arz etmektedir. Kanadın sivri uçlu kısımları buharlaştırıcı görevi görürken, düz olan kısımları daha az ısındığı için yoğunlaştırıcı görevi görür [33]. Ayrıca gaz türbin kanatçıklarının soğutulması da mikro ölçekli, minyatür ısı boruları ile yapılmaktadır.

Kutup bölgeleri ya da dökümhane gibi çok düşük veya çok yüksek sıcaklık bölgelerinde çalışan meslek grupları, ciddi sağlık problemleri ile karşı karşıyadır. Aşırı soğuk bölgelerde uzuv donmaları sorun olurken, aşırı sıcak bölgelerde hipotermi görülmektedir. Isı borusu yerleştirilmiş eldiven, çorap ve kıyafetlerle uzuvlar arasında ısı geçişi sağlanarak bu gibi sorunların önüne geçilebilir. Soğuk iklimlerde, ısı boruları el ve ayak parmaklarının donmasının önüne geçmek için gövdeden ısı çekilebilir [35]. Şekil 11'de soğuk iklimler için vücut ısısını kolun ön bölümünden ısı borularıyla parmaklara geçişini sağlayan eldivenin tasarımı verilmiştir.



Şekil 11. Isı Borulu Eldiven Tasarımı [35]

Kıvrılabilen bir boru kullanılarak, otomobillerin ısıtma devreleri ısı borusu ile çalıştırılabilir. Motorda egzoz manifolduna yerleştirilebilecek bir depo ile çekilen ısı, iç havalandırma ısı değiştiricisine bağlanan bir depo ile içeri alınır. Bu şekilde bir düzenleme ile otomobilin çabuk olarak ısıtılması temin edilir. Motorun çalışmasıyla otomobilin içindeki havada ısınmaya başlayacaktır. Böylece klasik ısıtıcılarda olduğu gibi motor soğutma suyunun ısınması için geçmesi gereken uzun zamana ihtiyaç yoktur.

Ayrıcı ısı boruları; boru sisteminin stabilize edilmesi, atık ısıların tekrar kullanılması, jeotermal enerjinin kullanılması, enerji depolama, gaz türbini jeneratörlerinde ısı transfer elemanı olarak kullanılması, uçakların fren sistemlerinin soğutulması, otoyol ve köprülerin don tehlikesine karşı korunmasında, bacalardaki atık ısının geri kazanılmasında, nükleer santrallerin soğutulmasında, lazer aynalarının soğutulmasında, fırınların ısıtılmasında, tava ve tencerelerin homojen ısıtılmasında, güneş enerjisinde ve diğer birçok alanda uygulanabilmektedir.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, modern ısı kontrol yöntemlerinden biri olan ısı boruları kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Isı borularının tanımı, önemi, çalışma prensibi, temel yapı bileşenleri, türleri, seçim kriterleri ve kullanım alanları konularında literatürde var olan bilgiler derlenerek sunulmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] R. S. Gaugler, "Heat transfer device", U.S. Patent 2,350,348 June 6, 1944.
- [2] L. Trefethen, "On the surface tension pumping of liquids or a possible role of the candlewick in space exploration", G. E. Tech. Info., Ser. No. 615 D114, February, 1962.
- [3] T. Wyatt, "Satellite temperature stabilizationsystem, early development of spacecraft heat pipes for temperature stabilization", U.S. Patent No. 3,152,774, October 13, 1964.
- [4] G. M. Grove, T. P. Cotter, G. F. Erikson, "Structures of very high thermal conductivity", *Journal of Applied Physics*, 35, 1990.
- [5] B. Acar, "Düz ısı borulu güneşli su ısıtma sistemleri ile birleşik ısı borulu güneşli su ısıtma sistemlerinin performans değerlerinin kıyaslamalı olarak belirlenmesi", 46 Bilim Uzmanlığı Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 2007.
- [6] (2010), <http://www.heatpipe.nl/index.php?page=heatpipe&lang=EN>.
- [7] A., Faghri, D. Khrustalev, "Flat Miniature Heat Pipes With Micro Capillary Grooves," *ASME J. Heat Transfer*, 121(1), pp. 102–109, 1999.
- [8] S. Murer, "Experimental and Numerical Analysis of the Transient Response of a Miniature Heat Pipe", *Applied Thermal Engineering*, 25, 2566–2577, 2005.
- [9] Y. Cao, A. Faghri, "Micro/Miniature Heat Pipes and Operating Limitations", *J. Enhanced Heat Transfer*, 1(3), pp. 265–274, 1994.
- [10] R. Boukhanouf, A. Haddad, "Experimental Investigation of a Flat Plate Heat Pipe Performance Using IR Thermal Imaging Camera", *Applied Thermal Engineering*, 26, 2148–2156, 2006.
- [11] SW. Chen, WJ. Chiu, MS. Lin, FJ. Kuo, ML. Chai, JD. Lee, JR. Wang, HT. Lin, WK. Lin, CK. Shih, "1D and Q2D thermal resistance

- analysis of micro channel structure and flat plate heat pipe”, *Microelectronics Reliability*, 72, 103-114, 2017.
- [12] J. Ku, “Operating Characteristics of Loop Heat Pipes”, *29th Abrahart International Conference on Environmental System* 1999.
- [13] F. Yu. Maydanik, “Loop Heat Pipes”, *Applied Thermal Engineering*, 25, 635-657, 2005.
- [14] N. Alt, “Tek Kanallı Isı Borusu İle Çok Kanallı Isı Borusu Verimlerinin Karşılaştırılması”, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2010.
- [15] Sakulchangsajatai,P., P. Terdtoon, T. Wongratanaphisan, P. Kamonpet, Abrahart,ve M. Murakami, “Operation Modeling of Closed-End and ClosedLoop Oscillating Heat Pipes at Normal Operating Condition”, *Applied Thermal Engineering* , 24, 995–1008, 2004.
- [16] L.L. Vasiliev, “Heat pipes in modern heat exchangers”, *Appl. Therm. Abrahart,Eng.*, c. 25, sayı 1, ss. 1–19, 2005.
- [17] MB. Shafii, H. Ahmadi, M. Faegh, “Experimental investigation of a novel magnetically variable conductance thermosyphon heat pipe”, *Applied Thermal Engineering*, 126, 1–8, 2017.
- [18] M. Cleary, MT. North, M. Van Lieshout, DA. Brooks, R. Grimes, M. Hodes, “Reduced Power Precision Temperature Control Using Variable Conductance Heat Pipes”, *IEEE Transactions On Components Packaging And Manufacturing Technology*, 3, 12, 2013.
- [19] V.H. Gray, “The Rotating Heat Pipe-a Wickless Hollow Shaft for Transferring High Heat Fluxes”, ASME paper, 69-HT-19, 1969.
- [20] K.H. Do, S.P. Jang, “Effect of nanofluids on the thermal performance of a flat micro heat pipe with a rectangular grooved wick”, *Int. J. Heat Mass Trans.*, 53, 2183–2192, 2010.
- [21] M. Shafahı, V. Bianco, K. Vafai, O. Manca, “Thermal performance of flat-shaped heat pipes using nanofluids”, *Int. J. Heat Mass Trans.* 53 1438–1445, 2010.
- [22] F. Song, D. Ewing, C.Y. Ching, “Experimental investigation on the heat transfer characteristics of axial rotating heat pipes”, *Int. J. Heat Mass Trans.* 47 4721–4731, 2004.
- [23] M.Y. Zhang, Y.M. Lai, Y.H. Dong, J. Long, W.S. Pei, H. Jon, “Laboratory investigation of the heat transfer characteristics of a two-phase closed thermosyphon”, *Cold. Reg. Sci. Technol.* 95, 67 73, 2013.
- [24] J. Chen, Y. Fu, Z. Gu, H. Shen, Q. He, “Study on heat transfer of a rotating heat pipe cooling system in dry abrasive-milling”, *Applied Thermal Engineering*, 115, 736-743, 2017.
- [25] A. Faghri, “Review and Advances in Heat Pipe Science and Technology”, *Journal of Heat Transfer*, 134 / 123001-1, 2012.
- [26] Ö. Alkaç, “Isı borusu prensibinin güneşli su ısıtıcılarına uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 1996.
- [27] F.A. Studer, T.W. McDonald, “Experimental study of a two-phase thermosyphon loop heat exchanger”, *Transactions of Ashrae*, 92(2): 486–493, 1986.
- [28] H.Z. Abou-Ziyan, A. Helali, M. Fatou, M.M. Abo El-Nasr, “Performance of a stationary and vibrated thermosyphon working with water and R-134A”, *Applied Thermal Engineering*, 21: 813–830, 2001.
- [29] A. Özsoy, M. Acar M, “Yerçekimi destekli bakır-su ısı borusu için deneysel bir çalışma”, *Tesisat Mühendisliği dergisi*, 90: 13-18, 2005.
- [30] C.C. Silverstein, *Design and Technology of Heat Pipes for Cooling and Heat Exchange*, 368p., Washington, 1992.
- [31] U. Bese, “Baca Gazları İçin Isı Borusu Tasarımı ve Optimizasyonu”, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi , 97s., İzmir, 1988.
- [32] P.D. Dunn, D.A. Reay, *Heat Pipes*, Pergamon Press., Great Britain, 1994.
- [33] (2001) Thermal-Fluids Central, https://www.thermalfluidscentral.org/encyclopedia/index.php/Heat_Abrahart_Pipe_Applications.
- [34] (2004), <http://celsiainc.com/blog-how-does-bending-affect-heat-pipe-vapor-chamber-performance/>.
- [35] K.T. Feldman, G.H. Whiting, G.H., Applications of the Heat Pipe, *Mechanical Engineering*, 90, 48-53, 1968.