

## DUYULUR ISI DEPOLAMA VE BAZALT TAŞI

### GİRİŞ

Dünyadaki fosil enerji kaynaklarının gün geçtikçe azalması ve kullanımlarının çevreye olan olumsuz etkileri nedeniyle, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve enerjinin depolanması önem kazanmaya başlamıştır. Enerjinin insan hayatındaki vazgeçilmezliği insanları yeni arayışlara zorlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarındaki süreksizlik sorununa, enerji depolaması çözüm getirmektedir.

### Enerji Depolama Tanımı ve Çeşitleri

Enerjinin depolanması mühendisliğin önemli uygulamalarından biridir ve bu konuda kapsamlı araştırmalar yapılmaktadır. Genel olarak enerji aşağıda belirtilen biçimlerde depolanabilir:

- Kimyasal enerji depolama
- Mekanik enerji depolama
- Elektrik enerjisi depolama
- Isıl enerji depolama

### Isıl Enerji Depolama

Duyulur ısı depolama ve gizli ısı depolama olmak üzere ikiye ayrılır. Isının, maddenin sıcaklığının değişimi yoluyla depolanmasına "duyulur ısı depolama", faz değişimi yoluyla depolanmasına da "gizli ısı depolama" denir. Bunların dışında, buharlaşma yoluyla ısının depolanması da düşünülebilir, fakat sabit basınçta hacim veya sabit hacimde basınç çok artacağından tercih edilmez.

Duyulur ısı depolamada maddenin ısı kapasitesinin büyük olması yanında, yanma ve alevlenme özelliğinin olmaması, maddenin uzun süre (10-15 yıl) özelliklerini koruması, zehirli ve korozif olmaması istenir. Aynı zamanda depolama malzemesinin kolay elde edilebilir ve ucuz olması gerekir. Elde edilebilme kolaylığı ve ucuzluğu sebebiyle daha çok su ve çakıl taşı tercih edilmektedir. Bazı deneylerde fındık kabuğu, bulaşık teli gibi malzemeler de kullanılmıştır. Sıvılı sistemlerde su, hava akışkanlı sistemlerde ise çakıl taşları daha uygundur.

Duyulur ısı depolama uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan madde sudur. Su ile duyulur ısı depolamanın birçok üstünlüğü vardır:

- Ucuzdur ve kolay temin edilir.

- Zehirleyici ve yanıcı değildir.
- Fiziksel, kimyasal ve termodinamik özellikleri çok iyi bilinmektedir.
- Enerji depolamasından yararlanılırken aynı zamanda enerji toplayıcı akışkan olarak da kullanılabilir.
- Isı kapasitesi yüksektir.
- Isıtma ve soğutma sistemleri için gerekli sıcaklık aralığında kararlı bir sıvı-buhar dengesine sahiptir.
- Isı transferi ve akışkan dinamiği iyi bilinmektedir.
- Korozyon etkisini azaltan teknolojiler geliştirilmiştir.

Suyun üstünlükleri yanında bazı olumsuz yanları da bulunmaktadır:

- Donduğu zaman genişlediğinden, donmaya karşı önlem alınmalıdır.
- Korozyon yapıcı özelliğinden dolayı depo içine korozyonu önleyici madde eklenmelidir.
- Suyun erime ve kaynama noktaları arasındaki fark küçüktür.
- Yüksek sıcaklıklarda enerji depolamak zordur.

Sıcak su depoları genelde, galvanizli sac, alüminyum, beton veya fiberglastan yapılmaktadır. Depoların dış kısmı 4-6 cm kalınlığında cam yünü, strofor veya eşdeğer kalınlıkta diğer ısı yalıtım malzemeleri ile yalıtılarak çevreye olan ısı kaybı azaltılır.

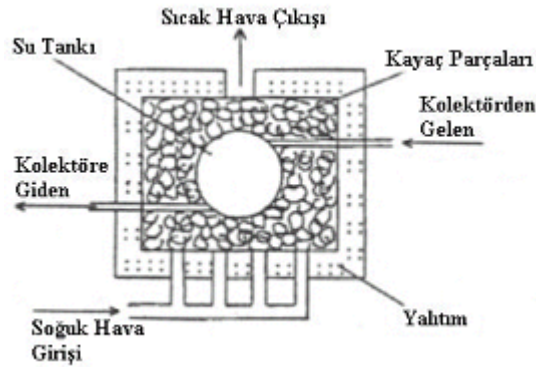
Çakıl taşları ile ısı depolama, hava akışkanlı ısıtma sistemlerinde ve güneş enerjisi depolamak için kullanılır. Çakıl taşlarının üstünlükleri aşağıda verildiği gibidir:

- Ucuzdur, kolay temin edilebilir.
- Zehirleyici ve yanıcı değildir.
- Yüzey alanları büyük olduğundan hava ile çakıl taşları arasındaki ısı transferi iyidir.
- Taşların birbirine temas yüzeyi küçük olduğundan iletimle ısı transferi düşük, dolayısıyla depo kenarlarından çevreye olan ısı kaybı azdır.

Çakıl taşlarının ısı enerji depolamasında belirtilen üstünlükleri yanında bazı eksiklikleri de vardır. Isı kapasiteleri küçük olduğundan belli bir miktar ısı enerjisinin depolanabilmesi için suya göre daha büyük bir hacim gerektirmekte ve ağırlıkları çok fazla olmaktadır. Ayrıca çakıl taşları arasında havanın dolaştırılabilmesi için gerekli güç, su ile depolamada suyun dolaştırılması için gerekli olan güçten daha fazladır. Isı deposuna enerjinin hava dolaşımıyla verildiği veya çekildiği sistemlerde, toplayıcı devresi ve ısı yük devresi aynı anda çalıştırılmazlar. Başka bir deyişle, depoya ısı verilmesi ve depodan ısı çekilmesi aynı anda olamaz. Depolanan enerji miktarına, toplanabilen enerji miktarına ve ısı gereksinimine göre

devrelerden biri kapatılır diğeri açılır. Çakıl taşlı, hava akışkanlı ısı depolama sistemlerinin bir diğeri üstünlüğü de ısıtma ve soğutma sistemlerinin her ikisine de uygulanabilmesidir. Soğutma yapılacak aylarda, geceleri dış çevre havası depoda dolaştırılarak depo sıcaklığı düşürülebilir ve gündüzleri iç ortamın sıcak havası depodan geçirilerek soğutulabilir.

Çakıl ve bazalt taşı gibi malzemeler kayaç olarak isimlendirilir. Kayaç ile ısı depolama ev ısıtmada pratik bir yöntemdir. Su yerine kayaç kullanmanın en önemli yanı, 100°C üzerindeki sıcaklıklarda depolamanın kolaylıkla yapılabilmesidir. Kayaç ve su ile ısı depolamanın birçok yöntemi vardır. Örneğin ısı pompalarıyla birleştirilerek ısı transfer verimi yükseltilir veya daha karmaşık ısı değıştiricilerle birlikte kullanılabilir. Su ve kayacın ortak kullanıldığı en uygun tasarımlardan bir Harry Thomasson yöntemidir (Şekil 1).



Şekil 1. Harry Thomasson Yöntemi ile Enerji Depolama [Dinçer, 2002]

Bu sistemde kolektörlerde ısınan su depoya üstten verilir, ısı verip soğuyan su dibe çöker ve buradan tekrar kolektörlere gider. Tank, ısıtılacak hacme verilecek havanın aralarından geçtiği kayaçlarla çevrilidir. Kayaçlar ve su dolu tank yalıtılmış duvarlarla sarılmıştır. Bu sistemin üstünlüğü suyun ısı kapasitesinin büyüklüğü ve hava ile temas yüzeyini artıran kayaçların bir arada kullanılmasıdır [Dinçer, 2002; Kılıkış ve Kakaç, 1989; Yang, 1989].

Bu çalışmada kayaç malzemesi olarak bazalt taşı incelenmiştir.

## YERKÜRE VE KAYAÇLAR

Güneş etrafında dönen dokuz gezegenden biri olan yerküre yaklaşık 4.6 milyar yaşındadır ve üç ana kısımdan oluşur: çekirdek, manto ve kabuk. Kabuk ve üst manto, altlarındaki mantonun üzerinde yavaşça hareket eden kıta ve okyanus levhalarını oluşturur. Yerkürenin merkezine gidildikçe sıcaklık ve basınç artar. Şu ana kadar yerkürenin sadece birkaç kilometre altına inilebilmiştir. Hareketli levhaların çarpıştığı yerlerde Himalayalar benzeri dağ sıraları oluşabilir. Okyanuslarda mantodan gelen malzeme levhaların arasındaki boşluğu doldurarak bir sırt oluşturur. Bazı yerlerde, okyanus levhaları kıta levhalarının altına dalarak volkanik faaliyete neden olur.

Yerkürede, ergimiş magmadan oluşan magmatik kayaçlar, en çok rastlanan kayaç türleridir. Volkanik faaliyet farklı türden kayaç ve lav üretir. Kayaçlar, bir veya birden fazla mineralin doğal olarak bir araya gelmesiyle oluşur. Bazı kayaçlar, örneğin saf kuvarsit ve mermer sadece bir mineral içerir. Bununla birlikte kayaçların çoğunluğu birden fazla mineralden meydana gelir. Mineraller doğal olarak oluşan, belirli bir kimyasal bileşime ve atomik düzene sahip inorganik katılardır. Çok rastlanan iki kayaçtan biri granit diğeri bazalttır (Şekil 2).



Şekil 2. Bir Olivin Bazalt [Symes, 1988]

Magmatik kayalar derinlerde, yer kabuğunun içindeki ve üst mantodaki ergimiş magmanın soğuması ve katılaşması ile meydana gelmiştir. Sokulum ve püskürük kayalar olmak üzere iki türü vardır.

Bazaltı oluşturan lav soğuyunca çok kenarlı sütunlara ayrılabilir. Volkanik faaliyet ile oluşan kayalar; piroklastik kayalar ve asit-bazik lavlar olarak iki gruba ayrılır. Piroklastik kayalar, ya katı kayaç parçalarından ya da volkanın ağzından püsküren plastik kıvamlı bombalardan meydana gelir. Bombalar fırladıktan sonra havada katılaşır. Katılaşmış lavlardan oluşan kayalar lav türüne göre değişir. Asit lavlar daha yoğun ve yapışkandır; çok yavaş akarlar ve dik yamaçlı volkanları oluştururlar veya deniz tabanındaki çatlaklardan çıkabilirler. Bazik lavlar hızlı akarlar, bu nedenle çabuk yayılarak büyük alanları kaplarlar. Yer kabuğunun yaklaşık %99 kadarını sekiz element oluşturur: oksijen, silisyum, alüminyum, demir, kalsiyum, sodyum, potasyum ve magnezyum. Bu elementler bir araya gelerek doğal mineralleri oluştururlar. Silikat mineralleri ve silis, kireçtaşı dışında çok rastlanan kayalarda yaygın olarak bulunur. Magmatik kayalar, yer kürenin katı haldeki kısımlarının büyük bölümünü oluşturur. Belirli kayaç oluşturan mineral grupları magmatik kayalarda bulunur ve kayaların sınıflandırılmasında kullanılır (Şekil 3), [Symes, 1988].



Şekil 3. Bazalt Sütunları ("Devler Yolu", Kuzey İrlanda), [Symes, 1988]

### **ISI YAYILIM KATSAYISI**

Isı geçişinde karşımıza çıkan  $r \cdot cp$  çarpımı, bir malzemenin ısı kapasitesi olarak isimlendirilir. Malzemenin özgül ısı  $cp$  ve ısı kapasitesi  $r \cdot cp$ ; bir malzemenin ısı depolama yeteneğini gösterir.  $cp$ ; birim kütle için [ $J/(kgK)$ ],  $r \cdot cp$ ; birim hacim için [ $J/(m^3K)$ ] geçerlidir. Zamana bağlı ısı geçişinde önemli olan bir başka malzeme özelliği ise, ısı yayılım katsayısıdır. Isı yayılım katsayısı, ısının bir malzeme içinde ne kadar hızlı yayıldığını gösterir:

$$\alpha = \frac{\text{iletilen ısı}}{\text{depolanması}} = \frac{k}{\rho \cdot c_p} \quad (1)$$

Denklem (1)'de, k; ısı iletim katsayısı [W/(mK)] ve r.cp; ısı kapasitesidir. Yüksek ısı iletim katsayısı veya düşük ısı kapasitesi olan malzemelerin ısı yayılım katsayıları yüksektir. Yüksek ısı yayılım katsayısı; iç ortama ısı yayılımının yüksek olduğunu, düşük ısı yayılım katsayısı ise; ısının büyük miktarda malzeme içinde soğurulduğunu gösterir. Bu tür malzemelerde ısı iletim miktarı da düşüktür [Çengel, 2003].

### DUYULUR ISI DEPOLAMA MALZEMELERİ

Duyulur ısı enerjisi depolama (DIED) sistemlerinde enerji; su, hava, yağ, kayaç, tuğla, kum ve toprak gibi malzemelerde depolanabilir. DIED sistemlerinde depolanan enerji; sıcaklık farkı, depolama elemanı miktarı ve ısı kapasitesi ile orantılıdır.

Malzeme	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Isı iletim kat. (W/mK)	Özgül ısı (J/kgK)	Isı yayılım kat. (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)	Isı kapasitesi (10 <sup>6</sup> J/m <sup>3</sup> K)
Odan	721	0.159	1260	<b>0.17</b>	<b>0.91</b>
Beton	1600	0.790	840	<b>0.59</b>	<b>1.34</b>
Ateş Tuğlası	1920	0.900	790	<b>0.59</b>	<b>1.52</b>
Cam	2710	0.760	837	<b>0.33</b>	<b>2.27</b>
Alüminyum	2702	237.000	903	<b>97.13</b>	<b>2.44</b>
Karbon Çeliği (Mn≤%1, Si<%0.1)	7854	60.500	434	<b>17.75</b>	<b>3.41</b>
Saf Demir	7870	80.200	447	<b>22.80</b>	<b>3.52</b>
Çakıl taşı	2050	1.730	1840	<b>0.46</b>	<b>3.77</b>
Su	996	0.615	4178	<b>0.15</b>	<b>4.16</b>

Tablo 1. Bazı Depolama Malzemelerinin 300 K Sıcaklığındaki Özellikleri [Dinçer, 2002; Çengel, 2003]

Bir DIED sisteminde depolama elemanı olarak kullanılan tank, hem depolama elemanını, hem de ısı enerjisi tutmak durumundadır. Katı depolama elemanlarının ısı kontrolü, sıvı depolama elemanlarına oranla kolaydır. Depolama elemanının depolama yeteneği, özgül ısı değeri ile bağıntılıdır. Bazı DIED malzemeleri ve özellikleri Tablo 1 ile verilmiştir. DIED uygulamasında depolama elemanının yararlı olabilmesi için ucuz ve özgül ısılarının yüksek olması gerekir. Diğer önemli özellik ise, ısının hissedildiği ve verilebildiği değer aralığıdır. Bu karakteristikler ısı geçişinin fonksiyonudur. Bu yüzden, hem yüksek ısı kapasitesi hem de iyi ısı iletim özelliği olan demir ideal depolama elemanıdır. Duyulur ısı depolamada, depolanan enerji aşağıda verilen denklemler ile hesaplanır [Dinçer, 2002]:

$$Q = m c_p \Delta T \quad (2)$$

$$Q = r c_p V \Delta T \quad (3)$$

### BAZALT TAŞI

Bazalt taşının ısı depolama malzemesi olarak kullanılabileceği fikri ilk olarak, "Isıya dayalı terapi" haberi ile oluşmuştur. Haberde, bazalt taşının ısıyı uzun süre koruyabildiği ve

iletebildiği üzerinde durulmaktadır, (Şekil 4). Türkiye'nin İzmir, Diyarbakır, Uşak, Gediz, Muş, Bitlis, İskenderun, Boyabat, Eskişehir ve Van gibi il ve ilçelerinde bulunan bazalt taşı, duyulur ısı depolama uygulamalarında çakıl taşı gibi kullanılabilir düşüncesi ile bu çalışmada bazalt taşının ısı ve mekanik özelliklerinin saptanması üzerinde durulmuştur [Karaca ve Aşağıçayır, 2003].

## Isıya dayalı terapi

Terapinin amacı, ısıtılmış taşları kullanarak bedenin derinliklerine ısı nüfuz etmesini sağlamak. Volkanik lav (bazalt) taşlarıyla yapılan masaj, özel bir teknikle uygulanıyor. Yoğun bir taş olan lav taşı, ısıyı çok uzun süre muhafaza edebildiğinden, vücuda normal bir taştan çok daha fazla ısı veriyor. Kaslardan emilen ısı, kan dolaşımını hızlandırarak kaslara ve hücrelere daha çok oksijen gitmesini sağlıyor. Uygulama yalnızca termoterapi (ısının tedavi özelliği) ile sınırlı değil. Sıcak taş terapisinde aromatik yağlar ve hidroterapi (su ile tedavi) de devreye giriyor. Suyun iyileştirici özelliğinden de yararlanan İpek Çaldemir, taşları ısıtırken ortama yayılan buharın çok etkili olduğuna dikkat çekiyor.

7x5x1.5 cm<sup>3</sup> boyutundaki bazalt taşının ısı iletim katsayısı, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Isı Laboratuvarı'nda "Hot-Wire Yöntemi" ile ölçülmüştür. %3.2 oranındaki hata payı da göz önüne alınarak bazalt taşının ısı iletim katsayısı 1.513 W/mK olarak saptanmıştır, (Şekil 5). Bazalt taşının ısı iletim katsayısı genelde 1.6 ile 1.9 W/(mK) arasında verilmektedir, [PP]. Bu çalışma kullanılan bazalt taşının ısı iletim katsayısı, daha önce yapılan çalışmalarda bulunan değerlere yakınlık göstermektedir.

Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Isı iletim katsayısı (W/mK)	Özgül ısı (J/kgK)	Isı yayılım katsayısı (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)	Isı kapasitesi (10 <sup>6</sup> J/m <sup>3</sup> K)
2800	1.513	1500	0.36	4.20

Tablo 2. Bazalt Taşının 300 K Sıcaklığındaki Isıl Özellikleri, [AH, BCF].

Kırılma Yüğü (kN)	Maksimum Dayanım (MPa)	Esneklik Modülü (GPa)	Poisson Oranı (-)
46.205	578.8	33.94	0.193

Tablo 3. 24.9 mm Genişlik ve 3.25 mm Kalınlıktaki Bazalt Taşının Mekanik Özellikleri, [BCF].

Bazalt taşının diğer özellikleri ise Tablo 2 ve Tablo 3 ile verilmiştir.



Şekil 5. 7x5x1.5 cm<sup>3</sup> Boyutundaki Bazalt Taşı

## SONUÇ

Türkiye'de bazalt taşı potansiyeli vardır ve bazalt taşından döşeme taşı ve yalıtım malzemesi olarak yararlanılmaktadır. Bu çalışma sonucu bazalt taşının ısı depolama özelliğinin yüksek değerde olduğu ve çakıl taşı gibi ısı depolama malzemesi olarak da kullanılabileceği görülmüştür. İncelenen malzemeler arasında bazalt taşının 4.2.106 J/m<sup>3</sup>K değerindeki ısı kapasitesi, en yüksek değer olarak saptanmıştır. Harry Thomasson yöntemi ile enerji depolamada kayaç parçaları olarak veya hava akışkanlı güneş kolektörlerinde çakıl taşı gibi bazalt taşı kullanılabilir.

## SİMGELER

$c_p$  özgül ısı [J/(kgK)]

$k$  ısı iletim katsayısı [w/(mK)]

$m$  kütle [kg]

$Q$  ısı enerjisi miktarı [J]

$T$  sıcaklık [K]

$V$  hacim [m<sup>3</sup>]

$a$  ısı yayılım katsayısı [m<sup>2</sup>/s]

$r$  yoğunluk [kg/m<sup>3</sup>]

## TEŞEKKÜR

Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Yard.Doç.Dr.Tahsin Başaran'a, bazalt taşı ısı iletim katsayısının ölçümü sırasındaki yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

## KAYNAKÇA

1. AH, Availability of Heat to Drive Hydrothermal Systems in Large Martian Impact Craters:

<http://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2001/pdf/2011.pdf>

**2. BCF**, Basalt Continuous Fiber: <http://www.albarrie.com/Filtration/fil-basalt.html>

**3. Çengel, Y.A.**, Heat Transfer A Pratical Approach (Second Edition), McGraw-Hill, 2003.

**4. Dinçer, İ.**, "Thermal energy storage and phase-change materials", Course on Porous Media, 17-21 June 2002, Evora, Portugal.

**5. Karaca, M., Aşağıçayır, D.**, Isı Depolama Malzemesi olarak Bazalt Taşının Özellikleri, Bitirme Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Uşak Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, (Tezi Yöneten: Yard.Doç.Dr.Hüseyin Günerhan), 2003, Uşak.

**6. Kılış, B., Kakaç, S.**, "Importance of Energy Storage", Energy Storage Systems, NATO ASI Series, Kluwer Academic Pub., 1989, The Netherlands.

**7. PP**, Physical Properties: [http://www-odp.tamu.edu/publications/192\\_IR/chap\\_07/c7\\_8.htm](http://www-odp.tamu.edu/publications/192_IR/chap_07/c7_8.htm)

**8. Symes, R.F.**, Eyewitness Rocks and Minerals, Dorling Kindersley Limited, 1988, London.

**9. Yang, W.J.**, "Thermal Energy Storage Systems and Their Dynamic Behavior", Energy Storage Systems, NATO ASI Series, Kluwer Academic Pub., 1989, The Netherlands.

**10. YB**, Yeni Binyıl Gazetesi, 2.10.2000, İstanbul.