

ISI ENERJİSİ TASARRUFUNA İLİŞKİN BAZI TERMODİNAMİK ESASLAR VE
YÜKSEK SICAKLIKTA ISI ENERJİSİNİN DEPOLANMASI

Bekir Sami YILBAŞ, Semir GÖKPINAR
Ali KOÇ, Ertuğrul BALTAÇIOĞLU
E.Ü. Mühendislik Fakültesi, KAYSERİ

ÖZET

Yeryüzünde enerji kaynaklarının sınırlı olması ve enerjinin günlük hayatta dikkatsizce kullanılması günümüzde enerji krizlerinin doğmasına neden olmuştur. Özellikle ısı ile ilgili işlemlerin görüldüğü sanayi ve endüstride ısı enerjisinin tasarrufu hem sistemin verimini yükseltmekte ve hemde sistemi daha ekonomik yapmaktadır. Sistemin verimliliği her ne kadar güç, ısı ve iş makinelerinin verimlerini yükseltmekle mümkün ise de, sistemden eksoz edilen enerjinin depolanması ile de mümkündür. Bu depolanan enerjinin arzu edilen yerde ve zamanda kullanılması sistemin verimliliğini yükseltecek ve aynı zamanda enerji tasarrufunda sağlanacaktır. Bu amaçla, ısı enerjisinin tasarrufuna ilişkin termodinamik analiz yapılmış ve yüksek sıcaklıkta enerji depolanmasına ilişkin bazı esaslar tartışılmıştır.

BASIC THERMODYNAMIC PRINCIPLES IN RELATION TO ENERGY SAVINGS AND
HIGH TEMPERATURE ENERGY STORAGE

SUMMARY

Due to the limited sources and wasteful use of energy leads the energy crises to be developed at present. Especially, the saving of heat in industry makes the system more efficient and economical. When the efficiency of the system is concerned, the availability of the waste product (egzost) is important. Since the energy in the waste product can be stored and to be used wherever required in the system. This makes the system more efficient. In the present study, the basic principles of thermal energy storage and the high temperature energy storage are discussed.

SEMBOLLER

$\xi S'$	Tersinir halde entropi	$Q_{k.h}$	Birim zamanda kontrol hacmine giren ısı
$\xi S''$	Tersinmez halde entropi artışı	M_1	Sistemde ilk andaki akışkanın kütlesi
T_1	Sıcak kaynak sıcaklığı	M_2	Sistemde son andaki akışkanın kütlesi
T_2	Soğuk kaynak sıcaklığı	M_g	Sisteme giren akışkanın kütlesi
Σw	Tersinir iş	M_q	Sistemden çıkan akışkanın kütlesi
E_g	Sisteme giren akışkanın enerjisi	U_1	Sistemde ilk andaki akışkanın iç enerjisi
E_q	Sistemden çıkan akışkanın enerjisi	U_2	Sistemde son andaki akışkanın iç enerjisi
E_1	Sistemde ilk andaki akışkanın enerjisi	S	Entropi
E_2	Sistemde son andaki akışkanın enerjisi	I	Tersinmezlik
(W)ter	Tersinir iş	T_o	Sistem dışındaki ortamın sıcaklığı
($W_{k.h}$)ter	Kontrol hacmin tersinir işi	\dot{m}	Kütle debisi
W_c	Sisteme giren ısıların üretebileceği iş	S_o	25°C de akışkanın entropisi
Q_o	Sisteme girmesi gerekli ısı	P_o	Sistem dışındaki ortam basıncı
$Q_{k.h}$	Kontrol hacmine giren ısı	\cup	Dış ortamla dengeye gelmeden önceki hacim
h	Entalpi	\cup	Akışkanın ortamla dengeye geldiği andaki hacmi
v	Hız	ΔH	Faz değişimi entalpisi
Z	Akışkanın potansiyel enerjisi tarif eden mesafe	dt	Zaman aralığı
g	Yerçekimi ivmesi		

1- GİRİŞ

Yakın zamanlara kadar büyük enerji kaynaklarının bulunması ve enerji fiyatlarının düşük olması nedeni ile enerji kaynakları gelişti güzel tüketilmekte idi. Ancak 1973 petrol krizinden sonra enerji tasarrufu üzerine ciddi çalışmalar başlamıştır.

Enerji depolanması enerji tasarrufunda önemli bir yer işgal etmektedir [1]. Bu daha çok ısı ile ilişkili olan kimya, petro-kimya, petrol rafinerilerinde ve nükleer santrallerde önemlidir. Zira bu tesislerde kullanılabilir enerji (available enerji) karrosif veya toxid özellikler taşıyan ortamlardan dolayı atılmakta ve kullanılmamaktadır. Bu ise enerji kaybına yol açmaktadır. Ancak kullanılabilir enerjinin bir başka ortama (gaz, sıvı veya katı olabilir) aktarılması ve daha sonra kullanılması hem sistemin verimini yükseltecek ve hemde enerji tasarrufu temin edilmiş olacaktır. Bu amaçla yüksek sıcaklıkta ısı enerjisinin depolanması günümüzde araştırılmaktadır. Hissedilir ısı enerjisi (sensible heat) depolanması Riggs 2 tarafından incelenmiştir.

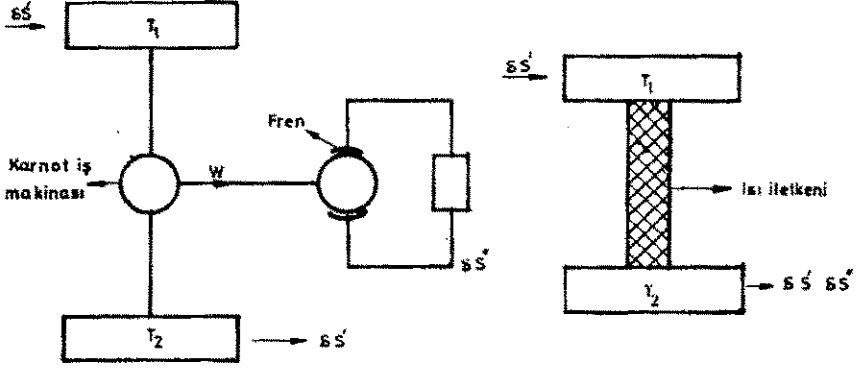
ve kullanımları hakkında bilgiler Reisman 3 tarafından verilmiştir. Kimyasal olarak ısı enerjisinin depolanması Happel 4 tarafından incelenmiştir.

Enerji tasarrufuna ilişkin termodinamik analizler daha önce yapılmıştır 5 . Bu çalışmada da termodinamik analizlerin özeti ve efektif bir metod olan malzemelerin ısı kapasitelerinden yararlanarak ısı enerjisinin depolanması izah edilecektir. İncelemeler göstermiştir ki 6 , alkali ve toprak alkali metallerin (ötektik) (Eutektik) floridlerle karışımları ısı enerjisi depolanmasında kullanılan en efektif malzemelerdir.

2- ENERJİ TASARRUFUNU GEREKTİREN HALLERE İLİŞKİN BAZI TERMODİNAMİK ESASLAR

Eşit potansiyel denge hali demektir. Denge halinin temini için her hangi bir parçacık yüksek potansiyelden alçak potansiyele doğru hareket ettiğinde sürtünme kuvvetlerine karşı bir iş yapar. Bu ise kayıp bir iştir. Bu tür bir hareket tersinmez (irreversible)dir ve kayıp işe karşılık bir ısı enerjisi meydana gelir böylece antropide artmış olur. Eğer bu harekette yüksek potansiyelden alçak potansiyele geçişte yüksek potansiyelde kaybedilen enerji alçak potansiyelde kazanılan enerjiye eşitse bu takdirde hareket tersinir (reversible) dir ve entropi artışında sıfırdır. Bu,

Karnot iş makinasında şöyle gösterilebilir.



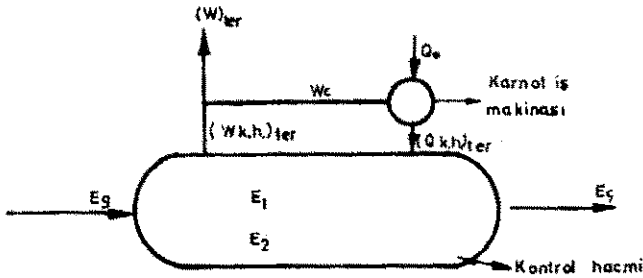
$$(\delta Q)_1 = T_1 \cdot \delta S' = T_2 (\delta S' + \delta S'') = (\delta Q)_2$$

dir. Zira;

$$W = (T_1 - T_2) \cdot \delta S' \quad \text{dir.}$$

Buradanda ısı iletiminin tersinmez bir enerji geçişi olduğu açıkça görülür.

Termodinamiğin I. kanunu açık sistemler için yazılırsa;



$$(Q_{k,h})_{\text{ter}} + E_g = (W_{k,h})_{\text{ter}} + (E_2 - E_1) + E_{\text{ç}}$$

veya

$$(Q_{k,h})_{\text{ter}} + \sum Mg(h + \frac{V^2}{2} + Z \cdot g)_g = (W_{k,h})_{\text{ter}} + M_2 (u_2 + \frac{V_2^2}{2} + Z_2 g)$$

$$- M_1 \left(U_1 + \frac{V_1^2}{2} + Z_1 \cdot g \right) +$$

$$\sum M_G \left(h + \frac{V^2}{2} + Zg \right)_G$$

Halbuki;

$$W_{\text{rew}} = (W_{k,h})_{\text{ter}} + W_o$$

$$W_o = Q_o - (Q_{k,h})_{\text{ter}} \quad \text{dir.}$$

Termodinamiğin ikinci kanunundan;

$$\frac{Q_a}{T_o} = \int \left(\frac{\dot{Q}_{k,h}}{T} \right) \cdot dt$$

yazılabilir. veya

$$W_o = T_o \int \left(\frac{\dot{Q}_{k,h}}{T} \right)_{\text{ter}} \cdot dt - (Q_{k,h})_{\text{ter}} \quad \text{dir.}$$

Termodinamiğin 2. Kanunu üniform hal ve üniform akışta tersinir işlem için;

$$W_o = T_o \left[M_2 S_2 - M_1 S_1 + \sum M_G S_G - \sum M_G S_G \right] - (Q_{k,h})_{\text{ter}}$$

olur. Böylece;

$$\begin{aligned} W_{\text{ter}} &= (Q_{k,h})_{\text{ter}} - \sum M_G \left(h + \frac{V^2}{2} + Zg \right)_G + \sum M_G \left(h + \frac{V^2}{2} + Zg \right)_G \\ &\quad - M_2 \left(U_2 + \frac{V_2^2}{2} + Z_2 g \right) + M_1 \left(U_1 + \frac{V_1^2}{2} + Z_1 g \right) \\ &\quad + T_o \left[M_2 S_2 - M_1 S_1 + \sum M_G S_G - \sum M_G S_G \right] - (Q_{k,h})_{\text{ter}} \end{aligned}$$

yeniden düzenlenirse;

$$W_{\text{ter}} = \sum M_G \left(h - T_o S + \frac{V^2}{2} + Zg \right)_G - \sum M_G \left(h - T_o S + \frac{V^2}{2} + Zg \right)_G$$

$$-(M_2 (U_2 - T_0 S_2 + \frac{V_2^2}{2} + Z_2 g) + M_1 (U_1 - T_0 S_1 + \frac{V_1^2}{2} + Z_1 g))$$

olur.

Eğer düzgün ve sürekli bir rejim hali mevcutsa;

$$W_{ter} = \sum M_g (h - T_0 S + \frac{V^2}{2} + Zg)_g - \sum M_g (h - T_0 S + \frac{V^2}{2} + Zg)_g$$

dır.

Tersinmez haller içinde benzer şekilde bir analiz yapmak mümkündür. Böylece;

$$I = W_{ter} - W_{k.h}$$

Burada $W_{k.h}$ sistemin gerçek işidir.

$$W_{k.h} = \sum m_g (h + \frac{V^2}{2} + Zg)_g - M_g (h + \frac{V^2}{2} + Zg)_g - M_2 (U_2 + \frac{V_2^2}{2} + Z_2 g) + M_1 (U_1 + \frac{V_1^2}{2} + Z_1 g) - Q_{k.h}$$

dir.

Veya;

$$I = \sum M_g T_0 S_g - \sum M_g T_0 S_g - M_1 T_0 S_1 + M_2 T_0 S_2 - Q_{k.h}$$

elde edilir.

Düzgün ve sürekli rejimler için ise;

$$M_1 T_0 S_1 = M_2 T_0 S_2 \quad \text{dir ve;}$$

$$I = \sum M_g T_0 S_g - \sum M_g T_0 S_g - Q_{k.h} \quad \text{dır.}$$

Buradan da görülmüştür; her zaman $W_{ter} > W_{k.h}$ dir ve I da her zaman pozitiftir.

Dikkat edilirse maksimum tersinir iş sistemin son hali ile yakından alakalıdır. Ancak son hal sistemin çevresi ile termodinamik denge (P ve T dengesi) durumunda ise bu takdirde iş maksimumdur.

0 hali um tersinir iş için düzgün ve sürekli rejimlerde aşağıda-

ki şartlar sağlanmaktadır.

$$h_c = h_o, \quad S_c = S_o, \quad V_c = 0 \quad \text{ve} \quad Z = Z_o$$

Böylece;

$$\left(\frac{W_{\text{ter}}}{\dot{m}} \right)_{\text{max}} = \sum (h - T_o \cdot S + \frac{V^2}{2} + Z \cdot g)_g - \sum (h_o - T_o \cdot S_o + Z_o \cdot g)_c$$

Görülürki;

$$E_{\text{kul}} = \dot{m} \left[\sum (h_c - h_o) + T_o \sum (S_c - S_o) + \frac{V^2}{2} + g \sum (Z_c - Z_o) \right]$$

E_{kul} kadarlık bir enerji kullanılmadan ekzos edilmektedir. Böylece israf olmaktadır. Bu ise kullanılabilir enerjidir. Eğer sistem çevreye karşı hacimsel değişimden dolayı bir de iş yapmışsa, bu faydalı bir iş değildir ve;

$$W_{\text{çevre}} = P_o (V - V_o) \quad \text{kadardır.}$$

Bu takdirde kullanılabilir enerji;

$$E_{\text{kul}} = \dot{m} \left[\sum (h_c - h_o) + T_o \sum (S_c - S_o) + \frac{V^2}{2} + g \sum (Z_c - Z_o) \right] + P_o (V - V_o)$$

Kullanılabilir enerjinin küçülmesi ile termik verim büyüyecektir. Kullanılabilir enerjinin atmosfere atılması termik verimi düşürdüğü kadar enerji israfınada neden olmaktadır. Böylece, bu enerjinin depo edilmesi ve sistemde arzu edilen yerde ve zamanda kullanılması şarttır.

3- ISI ENERJİSİNİN DEPOLANMASINA İLİŞKİN BAZI ESASLAR

Herhangi bir termik sistemin verimliliği sistemde enerjinin en faydalı bir şekilde kullanılması ile ilişkilidir. Isı Enerjisinin depolanması neticesinde, depo edilen enerji arzu edilen zamanda ve yerde kullanılacak ve böylece sistemin verimide büyüyecektir.

Bir malzeme tarafından depo edilebilen toplam enerji miktarı aşağıdaki gibi verilebilir.

$$Q = h \left[\int_{T_1}^{T_f} C_{P_s} \cdot dT + \int_{T_f}^{T_2} C_p \cdot dT + \Delta H_f + \Delta H_o \right]$$

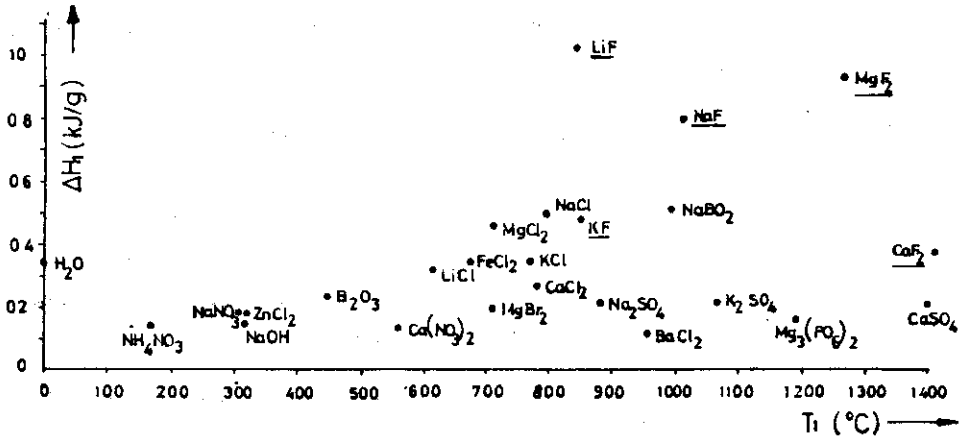
buradan mol cinsinden malzeme miktarı, T_1 ve T_2 maksimum ve minimum sıcaklık, C_{p_s} ve C_p sırası ile katı ve sıvı fazdaki özgül ısılar H_f faz değişimi geçiş entalpisi, H_c kimyasal reaksiyon geçiş entalpisi dir.

Bu forumda en önemli terim DH_f dir. Zira katı halden sıvı hale geçiş sabit basınç ve sıcaklıkta olmakta ve hacim değişimide çok küçüktür. Isı enerjisinin depolanmasında kullanılan malzemelerde aranılan özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

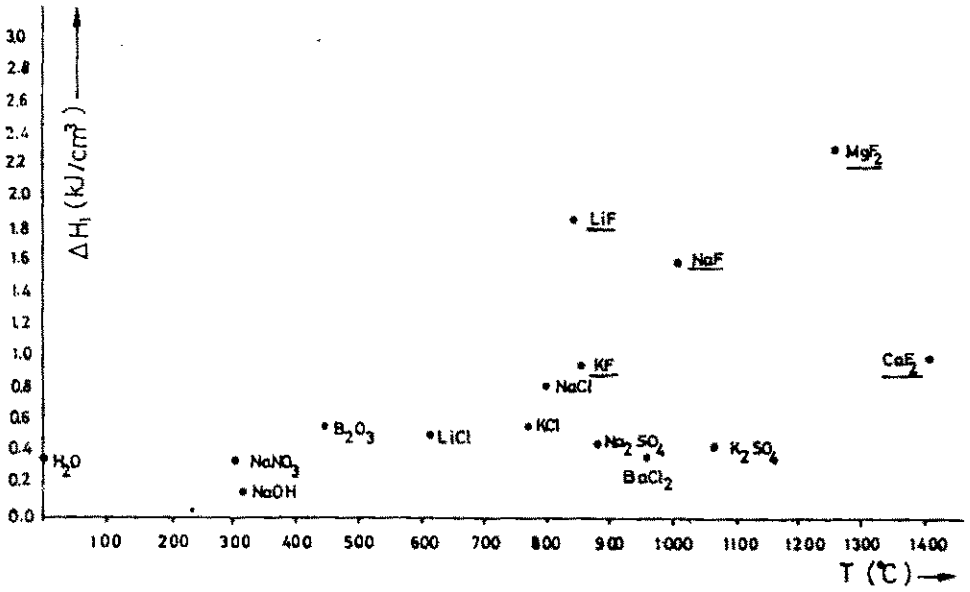
- Birim hacimde ve birim kütlede ergime gizli ısı ve ısı kapasitesi büyük olmalıdır.
- Kimyasal olarak dengeli ve korrif özelliği olmamalıdır.
- Ergime noktası çok yüksek olmamalıdır ($150-850^{\circ}\text{C}$)
- Maksimum işlem sıcaklığında buhar basıncı düşük olmalıdır.
- Yanma ve toxid özellikleri bulunmamalıdır.
- Ucuz olmalı ve aranıldığında piyasada bulunmalıdır.

4- ISI DEPOLAMA MALZEMESİ OLARAK KULLANILAN ÖTEKTİK FLORİDİO KARIŞIMLAR

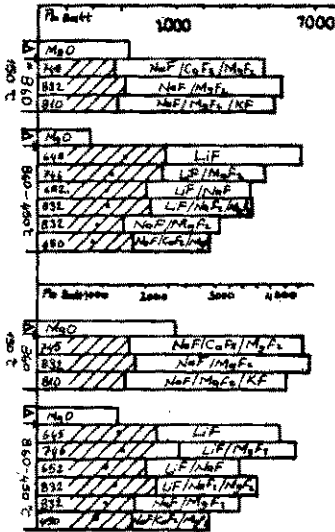
Araştırmalar göstermiştir ki (7); in organik bileşikler ısı depolama malzemesi olarak kullanılabilirler. Sodyum, Magnezyum ve Litium gibi malzemeler ergime gizli ısılarının ve ısı kapasitelerinin büyük olması nedeni ile en uygundur. Şekil (1) ve (2) de Floridlerin ergime gizli ısıları ve ısı kapasiteleri verilmiştir.



Şekil-1: Birim ağırlıktaki malzemelere ait ergime ısılarının ergime sıcaklıkları ile değişimi verilmiştir.



Şekil 2- Birim hacimdeki malzemelere ait ergime ısılarının ergime sıcaklıkları ile değişimi.



Şekil 3- Ötektik Florid karışımların gizli ısıları ve hissedilebilir ısıları (taralı kısımlar ergime ısılarıdır).

Fakat, saf Florürlerin ergime sıcaklıklarının yüksek olması (848-1418°C) ve bu sıcaklıklarda meydana gelebilecek kimyasal reaksiyonlar nedeni ile yalnız olarak kullanılmaları uygun değildir. Ergime sıcaklıkları daha düşük ve kimyasal olarak dengeli olan Ötektik Florid karışımları araştırmalar neticesinde bulunmuştur 7 . Şekil (1) ve (2) den de görüldüğü gibi MgF_2 ve LiF ergime ısıları en yüksek olan malzemelerdir.

5- İRDELEME VE SONUÇ

Isı ile ilişkili büyük tesislerde ve nükleer santrallerde bir kısım kullanılabilir ısı enerjisi soğutma sistemi aracılığı ile veya kaynak sıcaklıklarının düşük olmasından dolayı sistemden çevreye atılmaktadır. Bu ise enerji israfıdır. Sistemin verimini artırmak her ne kadar sistemde kullanılan ısı güç ve iş mekanalarının verimlerinin artırılması ile mümkün iside, ekzos edilen kullanılabilir enerjinin sistemde faydalı olarak kullanılmasında sistemin verimini artıracaktır ve böylece enerji tasarrufunda sağlanmış olacaktır. Bu nedenle ısı enerjisinin depolanması günümüzde kaçınılmaz olmuştur.

Isı enerjisi depolama işlemi için Ötektik Florid karışımları en iyi kullanılabilir malzemelerdir. Çünkü bu malzemelerin ergime gizli ısıları ve hissedilebilir ısıları (sensible heat) diğer ısı depolama malzemeleri ile kıyaslandığında daha büyüktür.

KAYNAKLAR

- 1- B.S. YILBAŞ., "Heat Transfer Mechanism initiating the Laser Drilling of Metals", Ph.D. thesis Mech.Eng. Dept.University of Birmingham 1982.
- 2- J.L., Riggs, Engineering Economics, New York: McGraw-Hill Book Company, 1977.
- 3- A. Reisman., Managerial and Engineering Economics Boston; Allyn and Bacon, Inc., 1971.
- 4- J. Happel, Chemical Process Economics New York, John Wiley & Sons, Inc., 1968.
- 5- G.F.C. Rogers., Y.R. Mayhew., Engineering Thermodynamics, Work and Heat Transfer, Longmans 1969.
- 6- P.H. Jaynes., Profitability and Economic Choice, Ames, Iowa: The Iowa State University Press, 1968.
- 7- G.A. Taylor Managerial and Engineering Economy, 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold Company. 1975.