

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

139623

ISIL ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ VE
UYGULAMALARI

Mak. Müh. Mehmet Burak ÖRENEL

FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında

Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

139623

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Olcay KINCAI

Doç. Dr. Olcay Kincay O.kincay
Prof. Dr. Bahri Şahin B.Şahin
Doç. Dr. Recep ÖZTÜRK R.Öztürk

İSTANBUL, 2003

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iii
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ VE ISIL ENERJİ DEPOLAMA.....	2
3. DUYULUR ISI DEPOLAMA.....	10
4. GİZLİ ISI DEPOLAMA.....	39
5. SOĞUK DEPOLAMA	62
6. TERMO-KİMYASAL ISI DEPOLAMA.....	85
7. TÜRKİYE'DE BİR UYGULAMA: SOĞUK DEPOLAMA.....	95
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	117
KAYNAKLAR.....	119
EKLER	126
Ek 1 Kuyumcukent alışveriş merkezi ön proje sonuçları bilgisayar çıktıları.....	127
Ek 2 Tüm FDM'lerin termofiziksel ve diğer özellikleri.....	131
ÖZGEÇMİŞ.....	149

SİMGE LİSTESİ

ψ	Ekserji verimi
η	Enerji verimi
ϕ	Bölge sıcaklık dağılımı (K)
ε	ekserji (kJ)
β	Isı eşanjörüne ait değişken
ξ	özgül ekserji (kJ kg^{-1})
α	parametre
ρ	yoğunluk (kg m^{-3})
τ_s	Boyutsuz gaz akımı giriş sıcaklığı
$\Delta T_{L,P,S}$	Faz değiştirme sıcaklık farkı
A	Q'dan kaynaklanan ekserji transferi veya yüzey alanı (m^2)
ΔB	IED sisteminde depolanan ekserji
c	özgül ısı ($\text{kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}$)
c_p	malzemenin özgül ısısı
c_v	sabit hacimde özgül ısı ($\text{kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}$)
DSTL	Depolamanın ısı yoğunluğu
dtlm 1	Depo yükleme (yükleme) sırasında logaritmik ortalama sıcaklık farkı ($^{\circ}\text{C}$)
dtlm 2	Depo boşaltma (deşarj) sırasında logaritmik ortalama sıcaklık farkı ($^{\circ}\text{C}$)
ΔE	IED sisteminde depolanan enerji
E	enerji (kJ)
e	özgül enerji (kJ kg^{-1})
f	yükseklik katsayısı
H	IED sıvısı yüksekliği (m)
h	yükseklik (IED tabanından) (m)
I	IED sisteminde tersinmezlik
İHK	İletim hatları kayıpları
K	Kazanç (TL)
KT	Enerji kaynağında kazanç (TL)
Kver	Kristalleşme sırasında ısı transfer katsayısı ($\text{kW}^{\circ}\text{C}/\text{m}^3$)
Kvfu	Füzyon sırasında ısı transfer katsayısı ($\text{kW}^{\circ}\text{C}/\text{m}^3$)
m	kütle (kg)
M	Marjinal enerji maliyeti (TL/kWh)
P	Yük ihtiyacı (kW)
Pc	Şarj edilen yük (kW)
Pdst	Depolamadeşarj oranı (kW)
Pm	Ani maksimum yük (kW)
Pmin	Ani minimum yük (kW)
Pr	Çiller kapasitesi (kW)
Pr1, Pr2	Minimum çiller kapasitesi (kW)
Pst	Depolama şarj oranı (kW)
Q	Isı transferi
Q1	Nodülün gizli ısısı (kWh/m^3)
Qdst	Boşaltılan enerji (kWh)
Qj	Günlük tüketim (kWh)
Qs1	Sıvı halde nodülün duyulur ısısı ($\text{kWh}/\text{m}^3/^{\circ}\text{C}$)
Qss	Katı halde nodülün duyulur ısısı ($\text{kWh}/\text{m}^3/^{\circ}\text{C}$)
Qst	Depolanan maksimum enerji (kWh)
r	Parametre
R	Zamlı enerji oranı

SMF	Yakıtın santraldeki marjinal maliyeti
T	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$ veya K)
T_0	Çevre mutlak sıcaklığı (K)
T_1	Şarj çıkış sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_2	Şarj giriş sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_3	Deşarj çıkış sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_4	Deşarj giriş sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_b	Yer sıcaklığı
T_{c1}	Optimum faz değişim sıcaklığı
T_{ca}	Ortalama faz değişim sıcaklığı
t_{cp}	çevrim süresi
T_d	Isı transfer akışkanının hareket sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
t_f	Donma süresi
TK	Toplam kazanç
t_m	erime süresi
T_m	Şarj sonucunda STL'nin ortalama sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{m'}$	ortalama günlük veya saatlik çevre sıcaklığı
T_{pd}	Doğrudan üretimde(çillerden) çalışma süresi (h)
tst	Depolamada çillerin çalışma süresi(h)
T_{st}	Nodülde faz değişim sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_{wf}	Suyun donma sıcaklığı
T_{wm}	Suyun erime sıcaklığı
V	hacim (m^3)
x	kütle katsayısı
Δt	sıcaklık farkı
alt indisler	
1	Şarj periyodu
2	depolama periyodu
3	deşarj periyodu
b	alt, taban
c	Şarj
d	Deşarj
e	eş
f	Son
i	ilk
j	1, 2, 3
j	j bölgesi
k	bölge sayısı
l	Giriş kayıpları
m	karişmiş
o	çevre hali
r	Çıkış kayıpları
R	Referans çevre
t	üst, tepe
üst indisler	
B	basit üç-bölge modeli
C	sürekli-çizgisel model
G	genel-sürekli model
L	çizgisel model
S	adımlı model
T	genel üç-bölgeli model

T.C. YÜKSELİŞ VE İZLENİM KURUMU
 T.C. YÜKSELİŞ VE İZLENİM KURUMU

KISALTMA LİSTESİ

ATY	Arz-talep yönetimi
Ç-FDM	Çizgisel sıcaklık dağılımına sahip FDM
DID	Duyulur ısı depolama
FDM	Faz değıştiren malzeme
FDS	Faz değışim sıcaklığı
GDM	Gün derece metodu
GID	Gizli ısı depolama
HEX, HX	Isı eşanjörü
ID	Isı depolama
IHPC	İdeal homojen faz değışimi
P-FDM	Parabolik sıcaklık dağılımına sahip FDM
SAM	Standart alıştırma metodu
SEDS	Soğuk enjekteli derece saat metodu
S-FDM	Sabit sıcaklık dağılımına sahip FDM
STL	Nodüllerle(cristopia) doldurulmuş depo
TKD	Termo kimyasal ısı depolama
YIED	Yer altında ısıl eEnerji depolama
YSD	Yeraltında soğuk depolama



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Günlük atıl ısıyı depolayan sistem	9
Şekil 3.1 Büyük ölçekli doğal depoların simgesel gösterimi	15
Şekil 3.2 YIED'te zamana bağlı sıcaklık değişimi	16
Şekil 3.3 Lulea teknik üniversitesindeki kanalda IED uygulaması	18
Şekil 3.4 Soğuk depolama kapasitesi	18
Şekil 3.5 Lee ve Jones'un (1999) test düzeneği	22
Şekil 3.6 a) tahliyelı güneş kolektör tüpü b) 15 tüp ve 170 lt lik sıcak su depolu sistem	24
Şekil 3.7 Sıcaklık dağılımları	32
Şekil 3.8 DID sisteminin şematik görünümü	36
Şekil 3.9 Lansdowne alabalık gölü ve DID sistemi	37
Şekil 4.1 FDM lerde sıcaklık – ısı enerjisi bağıntısı	39
Şekil 4.2 Tipik FDM depolama üniteleri. a) PB ünitesi b) ST ünitesi c) TB ünitesi	40
Şekil 4.3 FDM'lerin sınıflandırılması	41
Şekil 4.4 Cihazın şematik diyagramı;	49
Şekil 4.5 Isı borusu GID sistemi	50
Şekil 4.6 Bina malzemelerine FDM eklenerek depolama sağlanması	53
Şekil 4.7 Fiziksel model	56
Şekil 4.8 Çeşitli FDS dağılımlarına sahip FDM'in faz değişim prosesleri	57
Şekil 4.9 Çizgisel FDS dağılımının faz değişim süresi üzerindeki etkileri	60
Şekil 4.10 Parabolik FDS dağılımının faz değiştirme üzerindeki etkileri	61
Şekil 5.1 Soğutma sistemleri	63
Şekil 5.2. Su depolamalı sistem	65
Şekil 5.3 Bağlı-Çoklu su depoları	67
Şekil 5.4 Depoda katmanlaştırma	67
Şekil 5.5 Katmanlı su deposu tipleri	68
Şekil 5.6 Engelli depo sistemi	69
Şekil 5.7 Buz toplama sistemi	70
Şekil 5.8 Dıştan eritmeli buz depolamasının şarj ve deşarjı	70
Şekil 5.9 İçten eritmeli buz depolamada şarj ve deşarj	71
Şekil 5.10 Kapsülle buz depolamada şarj ve deşarj	71
Şekil 5.11 Depolama stratejileri	72
Şekil 5.12 Isı değiştirici tüpler	74
Şekil 5.13 Bir gün boyunca tipik bir binanın havalandırma yükü profili	74
Şekil 5.14 Tam depolamada yük dağılımı	75
Şekil 5.15 Kısmi depolamada yük dağılımı	75
Şekil 5.16 Kısmi depolama için tipik şarj çevrimi	76
Şekil 5.17 Kısmi depolama için tipik deşarj çevrimi	76
Şekil 5.18 Kısmi depolama için tipik boş (bypass) çevrim	77
Şekil 5.19 Kar yığını depolanması	78
Şekil 5.20 Kar depolayarak iklimlendirme	79
Şekil 5.21 Sundsvall kar deposu	80
Şekil 5.22 Buz depolama sistemleri tipleri	81
Şekil 5.23 M değerine göre deponun sıcaklık karşılığı	81
Şekil 5.24 Çiller kontrolü için şematik diyagram	82
Şekil 5.25 Mevsimlik depolama ile yıl boyu ücretsiz soğutma	83
Şekil 6.1 n-Bütanol / bütiraldehit / hidrojen kimyasal ısı pompası sistemi	91
Şekil 6.2 Tuz çözeltisi kullanarak CO ₂ 'le kömür gazifikasyonu için deney aparatı	92
Şekil 6.3 Termokimyasal ısıl depolama kavramı	93

Şekil 7.1 Bir dizi değişik akışa olanak tanıyan dizayn	96
Şekil 7.2 Toplam soğutma profili dizaynı	97
Şekil 7.3 Nodül	99
Şekil 7.4 STL deposu	101
Şekil 7.5 Çalışma prensibi	106
Şekil 7.6 Şarj modu	107
Şekil 7.7 Dağıtım yüküyle şarj etme	108
Şekil 7.8 Dağıtım yüküyle deşarj	108
Şekil 7.9 Şarj	111
Şekil 7.10 Serbest bırakma (deşarj)	111
Şekil 7.11 By-pass	111



ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Duyulur ısı depolayabilen bazı sıvıların termofiziksel özellikleri	11
Çizelge 3.2 Duyulur ısı depolayabilen bazı katıların termofiziksel özellikleri	12
Çizelge 3.3 DID sistemleri için enerji ve ekserji verimleri ve dengeleri	25
Çizelge 3.4 Katmanlaşma örneğindeki sonuçlar	33
Çizelge 4.1 FDM'lerin çalışma sıcaklık aralıkları.....	42
Çizelge 4.2 Bazı yağ asitlerinin termofiziksel özellikleri.....	42
Çizelge 4.3 Bazı organik ötektiklerin termokimyasal özellikleri.....	43
Çizelge 4.4 Bazı inorganik ötektiklerin termokimyasal özellikleri.....	43
Çizelge 4.5 Bazı parafınların termofiziksel özellikleri.....	44
Çizelge 4.6 Bazı tuz hidratlarının termofiziksel özellikleri.....	44
Çizelge 4.7 Ticari FDM'lerin termofiziksel özellikleri.....	45
Çizelge 4.8 Seçilen FDM'nin termofiziksel özellikleri.....	59
Çizelge 4.9 Teorik analizin ve sayısal simülasyonun faz değişim süresi.....	61
Çizelge 5.1 Soğuk depolamaya uygun FDM'lerin termofiziksel özellikleri.....	62
Çizelge 5.2 Sıcak iklimlerdeki bazı şehirlerin dengeli mevsimsel depolama için verileri (Soğuk kaynağı dış hava).....	83
Çizelge 6.1 TKD sistemi deşarj sıcaklığına göre sınıflandırma	86
Çizelge 6.2 Katı bileşenleri içermeyen TKD reaksiyonları.....	87
Çizelge 6.3 Katı bileşenleri içeren TKD reaksiyonları.....	88
Çizelge 6.4 Boudouard reaksiyonunda saniyede absorbe edilen enerji (10gr kömür 1173 ⁰ K) 92	92
Çizelge 7.1 Araç parametreleri	95
Çizelge 7.2 IED uygulamaları	97
Çizelge 7.3 Bir m ³ depo için değerler	100
Çizelge 7.4 STL deposu boyut örnekleri	101

ÖNSÖZ

Hazırladığım tez literatür araştırmalarımın sonucunda derlenmiştir. Yüzden fazla makale arasında en faydalı olabileceğine inandığım yetmiş üç adet makalenin önemli noktalarına değindim. Bazı makalelerin özetleri bazı makalelerin sadece birkaç satırını tezimde kullandım. Isıl enerji depolama (IED) sistemlerini üç ana grupta inceledim (duyulur ısı depolama DID, gizli ısı depolama GID, termokimyasal ısı depolama TKD). Bu ana grupların uygulamalarından bahsederken soğuk depolamayı da incelemiş oldum. Depolama sistemleri için uygun malzemelere ait tablolar oluşturdum. Çeşitli deneylerin ve uygulamaların içeriğinden bahsettim.

Isıl enerji depolama sistemlerinin Türkiye’de gerçek anlamda büyük ve faydalı uygulamaları olmasada, Türkiye’nin ileride karşılaşabileceği enerji darboğazında yararlanabileceği çevreye saygılı teknolojilerden biridir.

Tezimin konuyla ilgilenen öğrencilere ve sektörde çalışan meslektaşlarıma yararlı olabileceğine inanıyorum.

Tezimi hazırlarken bana her türlü desteği, ilgiyi ve yardımı veren tez hocam Doç.Dr. Olcay KINCAY’a, Prof.Dr. Bahri şAHİN’e ve benim yüksek lisans yapmamı sağlayan, yaparken yanımda olan herkese teşekür ederim.

ÖZET

Son yirmi yılda enerji ile ilgili yapılan çalışmaların bir çoğu enerjinin verimli kullanılmasına, enerji kazancının sağlanmasına ve enerjinin idareli kullanılmasına yöneliktir. Bu noktada ısı depolama (IED) sistemleri enerji kazancında sağladığı büyük kolaylıklarla ve çevreye saygısıyla önemli roller üstlenebilirler. Isıl depolama çeşitli uygulamalarıyla, ve büyük sistemlerin yanına destek olarak konulmasıyla giderek artan bir ilgi görmektedir. Aslında IED sağlanan enerjiyle kullanılan enerji arasında kalan süreyi depolama yaparak dolduracak en avantajlı sistem olarak hemen gözümüze çarpmaktadır. Ünlü bilim adamlarının ve araştırmacıların yazılarıyla birlikte, benim tezim IED sistemlerine ve uygulamalarına yer vermektedir. Tezin içinde enerji depolama teknolojilerinin karşılaştırılması, IED ın çevreyle olan ilişkisi, enerji ve ekserji analizleri ve pratik uygulamalar vardır. Ayrıca teorik, deneysel ve sayısal teknikleri içermektedir.

Anahtar kelimeler: Isıl Enerji Depolama, Duyulur Isı Depolama, Gizli Isı Depolama, Termokimyasal Depolama, Soğuk depolama.



ABSTRACT

During the last two decades many research and development activities related to energy have concentrated on efficient energy use and energy savings and conservation. In this regard, Thermal Energy Storage (TES) systems can play an important role, as they provide great potential for facilitating energy savings and reducing environmental impact. Thermal storage has received increasing interest in recent years in terms of its applications, and the enormous potential it offers both for more effective use of thermal equipment and for economic, large-scale energy substitutions. Indeed, TES appears to provide one of the most advantageous solutions for correcting the mismatch that often occurs between the supply and demand of energy. Presenting contributions from prominent researchers and scientists, my thesis is primarily concerned with TES systems and their applications. In it there are, discussion of energy storage technologies, environmental aspects of TES, energy and exergy analyses, and practical applications. Furthermore, this thesis provides coverage of the theoretical, experimental and numerical techniques employed in the field of thermal storage.

Keywords: Thermal Energy Storage, Sensible Heat Storage, Latent Heat Storage, Thermochemical Heat Storage, Cold Storage.



1. GİRİŞ

1900-1997 yılları arasında dünyanın birincil enerji tüketimi sekiz katın üzerinde artış göstermiştir. Günümüzde enerji kaynakları için ülkeler arasında savaşlar çıkabilmektedir. Bu kadar önemli olan “enerji” etkin ve tasarruflu kullanılmalıdır. Enerjiyi etkin ve tasarruflu kullanmanın yollarından biride enerji üretiminin (eldesinin) tüketiminden fazla olduğu dönemlerde depolama yapmaktır. Enerji depolama yöntemleri çeşitlidir. Enerji kaynağı “ısı” olduğunda ısı enerji depolama sistemlerini kullanmak birçok yönden avantaj sağlayacaktır. Eğer farklı bir enerji kaynağını ısıtma veya soğutma amaçlı kullanıyorsak yine ısı enerji depolama sistemleri tercih edilmelidir. Yenilenebilir enerji kaynakları ile ısı enerji depolama sistemlerinin kullanımı ise çok yaygındır. Isı enerji depolama sistemi kullanıcıları, yatırım ve işletim maliyetlerinde azalmalar elde edecektir.

Isı depolama, fosil yakıt sarfiyatında azalma sağlayacağından, yanma emisyonlarının ortaya çıkaracağı kirliliği önleme avantajı da taşımaktadır. Soğutma amaçlı depolama, elektrik enerjisinden sağlanan tasarrufun yanı sıra ozon tabakasına zarar veren kloroflorokarbon gazlarının sınırlandırılmasına da yardımcı olur.

Isı enerji duyulur, gizli ve termo-kimyasal ısı olarak depolanabilir. Isıtma, soğutma veya her iki amaçlıda kullanılabilirler. Tezimde ısı enerji depolama sistemlerine ait yetmiş üç kaynaktan derlenmiş açıklamalar, uygulamalar, hesaplamalar, deneyler vardır.

2. ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ VE ISIL ENERJİ DEPOLAMA

21.yüzyıla girilirken dünya artan enerji gereksinimi sorununa bir çözüm getirme cabası içine girmiştir. Mevcut kaynakların çevre için bir kirlilik unsuru olmaları [1] ve gün geçtikçe tükenmeleri alternatif enerji kaynaklarıyla ilgili çalışmalara hız kazandırmıştır. Yapılan çalışmalar enerji sorununun çözümünü; kaynakları verimli kullanma ve yenilenebilir kaynaklara yönelme olarak ortaya koymuştur. Artan enerji sıkıntısıyla enerji giderlerinin artmasına paralel olarak enerji fiyatlarındaki artış yenilenebilir kaynaklara olan talebi daha da arttırmıştır (Mazman vd., 1999). Dünyadaki bu gelişmelere paralel Türkiye'de artan nüfus ve sanayileşmeden kaynaklanan enerji gereksinimi kısıtlı kaynaklarıyla karşılanamamakta, enerji üretimi ve tüketimi arasındaki açık hızla büyümektedir. Bu açık ülkemizde bulunan çeşitli zamana bağlı doğal enerji kaynaklarından elde olunmaya çalışılmalı ve kullanımı arasındaki zaman farkı depolama ile kapatılmalıdır (Tübitak, 1998). Isıl enerji depolama (IED) teknolojisinin kullanım amaçlarından bir tanesi de güneş gibi kesikli olarak enerji üretimine imkan veren yenilenebilir kaynaklardan üretilecek enerjiden daha fazla yararlanılabilmesini sağlamaktır (Çimen, 1999).

Dinçer (1999) enerji depolama ve ısıl enerji depolama (IED) sistemlerinden kısaca şöyle bahsetmiştir; toplumların enerji tüketimlerinin zamana bağlı olarak değiştiği; bazen çok yüksek, bazen de düşük seviyelerde olduğu bilinmektedir. Binalarda, endüstriyel süreçlerde ve ulaşım sistemlerindeki enerji gereksinimi, kullanıma bağlı olarak gün boyunca, haftadan haftaya veya mevsimsel olarak sürekli bir değişim göstermektedir. Değişen enerji arz ve talebi arasındaki farklar enerjinin depolanmasını gerektirmekte ve enerji depolama sistemlerini önemli kılmaktadır. Enerjinin depolama, enerji üretimi ve tüketimi arasındaki zaman veya oran dengesizliğini giderdiği için mevcut enerji kaynaklarının daha etkin bir şekilde kullanılması mümkün kılmaktadır. Örneğin; elektrik enerjisi tüketiminin düşük seviyelerde olduğu gecenin geç saatleri ve hafta sonları gibi zaman dilimlerinde üretilen fazla elektrik enerjisi depolanarak, gereksinimin fazla olduğu durumlarda tüketilebilir hale dönüştürülmektedir. Ayrıca; güneş, rüzgar, dalga, med-cezir gibi kontrol edilemeyen kesikli enerji kaynaklarından üretilen ısı ve elektrik enerjileri depolanarak sürekli birer enerji kaynağına dönüştürülebilmektedir. Enerji depolama ihtiyacı birçok uygulamada vardır. Çeşitli enerji depolama yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlar;

- pompalı depolama
- elektro-kimyasal piller
- volanlar

- basınçlı hava
- biyolojik depolama
- manyetik depolama
- kimyasal depolama
- ısı enerji depolama

olarak söylenebilir. Enerji talebi ticari, endüstriyel ve kamu sektöründe günlük haftalık ve sezonluk dönemlerde farklılıklar göstermektedir, bu sebepten en uygun enerji depolama yöntemi talebe göre seçilmelidir. Dolayısıyla ısıtma, sıcak su, soğutma, hava şartlandırılması gibi ısı uygulamalarda IED metodu kullanımı daha fazla ilgi görmektedir. Gelişmiş ülkelerin son kırk elli yıl içinde yüksek derecede elektrikselleşmesiyle IED için çeşitli yeni tekniklerin kullanımı mümkün olmuştur. Ekonomik olarak IED sistemleri, büyük enerji taleplerini karşılayan sistemlere, yardımcı sistem olarak verimi arttırmaktadır. Depolamadan doğacak maksimum potansiyel faydanın sağlanabilmesi için enerji sisteminin çeşitli birimleriyle koordinasyonlu çalışmalıdır. IED yüksek veya düşük sıcaklık enerjisinin ilerde kullanılması için geçici depolama prosesi olarak tanımlanabilir. Örneğin, güneş enerjisi ile gece, yaz ısı ile kışın ısınmak, kış buzu ve karı ile yazın serinlemek gibi. Isı enerji duyulur veya gizli ısı olarak depolanabilir. Duyulur ısı depolamada genelde su veya kaya depolama aracı olarak kullanılır. Isı depolama aracının sıcaklığını yükselterek depolanmaktadır. Gizli ısı depolama sistemlerinde faz değiştiren malzemeler kullanılır (Dinçer, 1999).

Fath (1998) IED sistemlerini depolama sıcaklıklarına ve sürelerine göre sınıflandırmıştır. IED sistemleri depolama sıcaklığına göre üçe ayrılır. Bunlar;

- düşük sıcaklık ($T < 100^{\circ}\text{C}$)
- orta sıcaklık ($100^{\circ}\text{C} < T < 500^{\circ}\text{C}$)
- yüksek sıcaklık ($T > 500^{\circ}\text{C}$)

IED sistemleridir. Depolama sürelerine göre ikiye ayrılırlar. Bunlar;

- kısa süreli (birkaç saat veya birkaç gün)
- uzun süreli (birkaç ay veya birkaç mevsim)

IED sistemleridir. Tübitak (1998a) IED sistemlerinin amaçlarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırmıştır;

- ısıtma amaçlı depolama
- soğutma amaçlı depolama
- hem ısıtma ve hem de soğutma amaçlı depolama.

Mevsimlik depolamada, güneş enerjisi, iklimden kaynaklanan doğal ısı enerjisi (yüksek sıcaklıklı ve soğuk kökenli alçak sıcaklıklı) ve herhangi bir işlemde atılan atık ısı depolanabilmektedir. Kısa süreli depolamada ise kullanılan kaynaklar, güneş enerjisi, çok tarifeli elektrik sisteminde puant yük dışında ucuz tarifeli elektrikle kazanılan ısı ve sanayi atık ısı olabilir. Fosil yakıtlarının tüketiminin azalması çevre kirliliğine de engel olacaktır (Tübitak, 1998a).

Zaralı (2002) yazları gün içi saatlerdeki havalandırma, kullanıcıların pik talebi yüklerine tek başına en büyük yardımcı olduğunu belirtmiştir. Öğlen vakitlerinde, uygun sıcaklığı korumak için klimalar daha çok elektrik enerjisine ihtiyaç duyarlar. Bu artan elektrik enerjisi ihtiyacı aydınlatma, çalışan aletler, bilgisayarlar ve daha birçok kullanım tarafından yaratılmış elektrik tüketimine eklenir. Bu durum kullanıcının, artan elektrik ihtiyacıyla başa çıkmak için ek olarak daha masraflı elektrik kaynakları hayata geçirmesini gerektirir. Artırılmış elektrik gereksinimlerine ek olarak ticari kuruluşların büyük havalandırma yükleri elektrik için yüksek pik ihtiyaçları yüzünden fazladan bir yük olarak ele alınırlar. Dinçer (2002) hem yeni hem eski binalarda elektrik yükleme yönetimi olarak günlük ya da haftalık IED kullanımına büyüyen bir ilgi olduğuna dikkat çekmiştir. IED teknolojileri, elektrikli ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını periyotlara bölerek elektrik tüketim masraflarının azalmasını sağlar. Yük ayarlama, ticari binalar için önemli bir miktarda toplam elektrik maliyetinden kaynaklanan masrafları azaltabilir.

IED çok çeşitli uygulamalarda kullanılmasına rağmen hepsi belirli bir dönem çalışma esaslı olarak dizayn edilmiştir (genellikle günlük, ara sıra sezonluk). Sistemler aşağıdaki amaçlardan birini veya daha fazlasını yerine getirerek çeşitli faydalar sağlarlar.

- Üretim kapasitesini artırmak: Isıtma, soğutma ya da güç ihtiyacı nadiren zamana göre sabittir ve düşük ihtiyaç periyotları sırasında kullanışlı olan fazlalık üretimin, yüksek ihtiyaç periyotları sırasında etkili üretim kapasitesini artırmak amacıyla bir IED sistemini şarj etmek için kullanılabilir. Bu proses daha küçük üretim birimlerinin kurulmasına olanak sağlar ve birimler için daha sağlıklı sonuçlar alınmasını sağlar.
- Üretim sistemlerinin daha iyi çalışmasını mümkün kılmak: Birleşik güç ve ısı kullanan fabrikalarda zaman zaman fazla enerji açığa çıkar. Bu fazla enerji depolanabilir.
- Enerji satın alma süresini düşük maliyet periyotlarına bölmek: İhtiyaç yönünde sıralanan ilk uygulamadır ve enerji tüketicilerine, enerji satın alma süresini yüksekte düşük ücret periyotlarına bölmek için günlük fiyat belirleme olanağı sağlar.
- Sistem güvenilirliğini artırmak: Kişisel küçük bir bilgisayarın sabit güç miktarından geniş

bir doldurulmuş depolama projesine kadar enerji depolamanın her formu güvenilirliği artırır.

- Diğer fonksiyonlarla bütünleştirmek: Yangın söndürme için gerekli mahali su depolamanın yapıldığı uygulamalarda; ısıl depolamayı, yaygın depolama tankına dahil etmek mümkün olabilir. Güç- kalite problemlerini çözmek için dizayn edilen aparatların enerji depolama amaçlarına adapte olabilmesi gibi.

Marin vd. (2001) IED sistemlerinin aşağıdaki amaçlar için kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

- Enerjinin üretildiği veya kullanılabilirliğinin yüksek olduğu zamanlar ile kullanıldığı zamanlar arasındaki farkı kapatmak için
- Enerji kaynağının güvenilirliğini sağlamak için. (hastanelerde, bilgisayar odalarında...)
- Isı depolamada

Setterwall (2000) IED sistemlerinin kullanım alanlarını şöyle sıralamıştır:

- Enerji muhafazası
 - Doğal enerji kaynakları
 - güneş enerjisi
 - Gece ile gündüz arasındaki gibi dış ortam sıcaklık farkları
 - Atıl enerji
- Pik yükleri ayarlanması: Pik yükleri pahalı gündüz tarifesi yerine ucuz gece tarifesinde karşılama imkanı
- Güç muhafazası: Makinaların tam güç yerine düşük güçte çalışması güç ihtiyacını azaltır ve makinaların verimini artırır.

Dinçer (1998) yazısında termodinamiğin ikinci kanununun çevresel etki hakkında bize bilgi sağlayan bir yardımcı olarak zamanla dikkate alındığından bahsetmiştir. Ekserji, referans çevreyle dengeye gelirken ısı, iş veya madde akısıyla elde edilebilecek maksimum işin miktarı olarak tanımlanabilir. Ekserji korunma yasalarıyla ilgili değildir aksine proseslerin tersinmezliklerine yönelik tüketilen veya yok edilen kısmıyla ilgilidir. Ekserji analizlerinde referans çevre şartları belirtilmelidir. Bu ise genelde referans çevreye ait sıcaklık, basınç ve kimyasal kompozisyon bilgilerinin saptanmasıyla yapılır. Ekserji analizleri kütle ve enerjinin korunumu prensipleriyle enerji sistemlerinin analizleri ve dizaynları için termodinamiğin ikinci yasasını kullanan bir methodur. Ekserji metodu konum, tip ve gerçek atık, kayıp büyüklükleri belirlemeye olanak sağladığı için enerji-kaynak kullanımını daha verimli kılma hedefimizi ilerletmeye uygundur. Ekserji analizleri varolan sistemlerde

verimsizlikleri belirleyerek daha verimli enerji sistemlerinin oluşturulmasını sağlar. Rosen (1999) konuyla ilgili şu hususlara dikkat çekmiştir. Ekserji analizleri termodinamiğin ikinci kanunundan yararlanır ve bu analizler IED sistemlerine alternatif IED sisteminin bulunmasında veya eksiklerin giderilmesinde yararlıdır. IED sistemlerinin gelişiminde en önemli analizler enerji ve ekserjidir. Ekserji belli bir çevrede maksimum faydanın sağlanmasını sağlar. Ekserji analizleri birçok IED problemlerini çözer.

Dinçer (2001) IED sistemiyle yapılan tasarruf analizleri üzerine çalışmıştır. IED sistemleri genelde ya ihtiyaç duyulan yakıt veya enerji miktarını azaltırlar yada elektriğin kullanıldığı zaman dilimini değiştirirler. Artışlı enerji metodu (Teknik Rapor, 1996) çeşitli IED programlarının geliştirilmiş halidir ve IED sisteminin enerji kaynağına etkisini ve yapılan tasarrufu bulur. Metot güç tüketim maliyetinin değişimine göre yeni enerji kaynakları belirler. Marjinal maliyetler elektrik tarifesine göre dizayn edilen sistemlerle düşürülebilir. Bu bilgiler doğrultusunda arz-talep yönetimi (ATY) ve yeni kaynak belirleme için gerekli maliyet – verimlilik hesaplamaları için standart alıştırma metodu (SAM) geliştirilmiştir. ATY enerji verimi (elektrik tüketimini azaltmak hedefli) ve yük idaresi (elektrik pik yükünü düşürmek amaçlı) planlamasında kullanılır. SAM yaklaşımıyla ATY programı, kazancı aşağıdaki gibi ifade edilir,

$$K = \sum_{i=1}^n [(kWh \text{ kazanç})_i (kWh \text{ marjinal maliyeti})_i] + \sum_{i=1}^n [(kW \text{ kazanç})_i (kW \text{ marjinal maliyeti})_i] \quad (1.1)$$

n programdaki periyot sayısıdır. Bir yıl değişik marjinal maliyetli n periyoda bölünebilir. “kWh marjinal maliyeti” marjinal elektrik enerjisi maliyetidir ve birimi (TL / kWh) alınabilir. Zaman periyodu yakıt maliyetine bağlıysa zamlı enerji oranı R (kWh yakıt / kWh elektrik) ile çarpılmalıdır.

$$R = \text{Marjinal elektrik maliyeti (TL/kWh)} / \text{santralin marjinal yakıt maliyeti (TL/kWh)} \quad (1.2)$$

A ve R denklemlerini göz önüne alarak enerji kaynağı kazancı için aşağıdaki denklem bulunur.

$$KT = \sum_{i=1}^n [(kWh \text{ kazanç})_i (R)_i] \quad (1.3)$$

Enerji kaynağında oluşan kazanımları değerlendirirken IED in diğer faydaları da göz önüne alınmalıdır. Bunlardan biride elektrik taşıma hatlarındaki kayıpları azaltmasıdır. Elektrik hatlarındaki kayıplar hava sıcaklığının ve iletilen enerjinin artmasıyla çoğalır. IED elektrik

yükü zaman dilimini değiştirerek bu kayıpların azalmasını sağlar. Kazanımlar bazen aletlerin çalıştığı bölgede düşünülmesiyle bazen de elektrik üretim bölgesiyle transfer bölgesi dikkate alınmalıdır. Dağıtım ve üretim bölgelerinde dikkate alındığı marjinal enerji maliyeti M,

$$M \text{ (TL/kWh yerinde)} = (\text{SMF})(R)(\text{İHK}) \quad (1.4)$$

SMF yakıtın santraldeki marjinal maliyetidir, İHK ise iletim hatları kayıplarıdır. Tüm periyotlar dikkate alındığında toplam kazanç TK,

$$TK = \sum_{i=1}^n [(kWh \text{ elektrik kazancı})_i (R)_i (\text{İHK})_i] \quad (1.5)$$

Gerekli depo hacmi birkaç bin metre küpten veya ısı kapasitesi 100 MWh ten küçükse geleneksel izolasyonlu depolar iyi bir seçenektir. Daha büyük gereksinimlerde doğal depolar daha ucuz maliyetlere olanak tanıyacaktır. Aşağıdaki maliyetler örnek olarak verilmiştir. Büyük ölçekli depoların avantajlarından bir tanesi de depolama boyutlarının artmasına ters orantılı azalan ısı kayıplarıdır. Depolama hacmi sonsuza giderken ısı kaybı sifıra gidecektir. (Lund, 2000)

- 1m³ su deposu 1,000 EUR/m³
- 10,000 m³ tam izolasyonlu çukur 40 EUR/ m³
- 100,000 m³ kaya oyuğu 10 EUR/ m³ (Lund, 2000)

Isı enerjisi yeraltında bir haftadan küçük kısa süreli depolanabildiği gibi, üç aydan büyük süreli mevsimlik olarak da depolanabilmektedir. Almanya, Hollanda, İsveç ve Kanada'da yalnız ısıtma, yalnız soğutma, ısıtma ve soğutma (iklimlendirme) amaçlı 60 kadar proje ile denenerek, başarılı sonuçlar elde olunmuştur. Son 15 yıl içerisinde yeraltında ısı enerjisi depolama ile ilgili çeşitli uygulamalar yapılmıştır. Bu uygulamalar;

- ısı pompasız soğuk-ısı depolama
- ısı pompalı soğuk-ısı depolama
- güneş kolektörleri ile ısı depolama
- termik-güç üniteleri ile ısı depolama

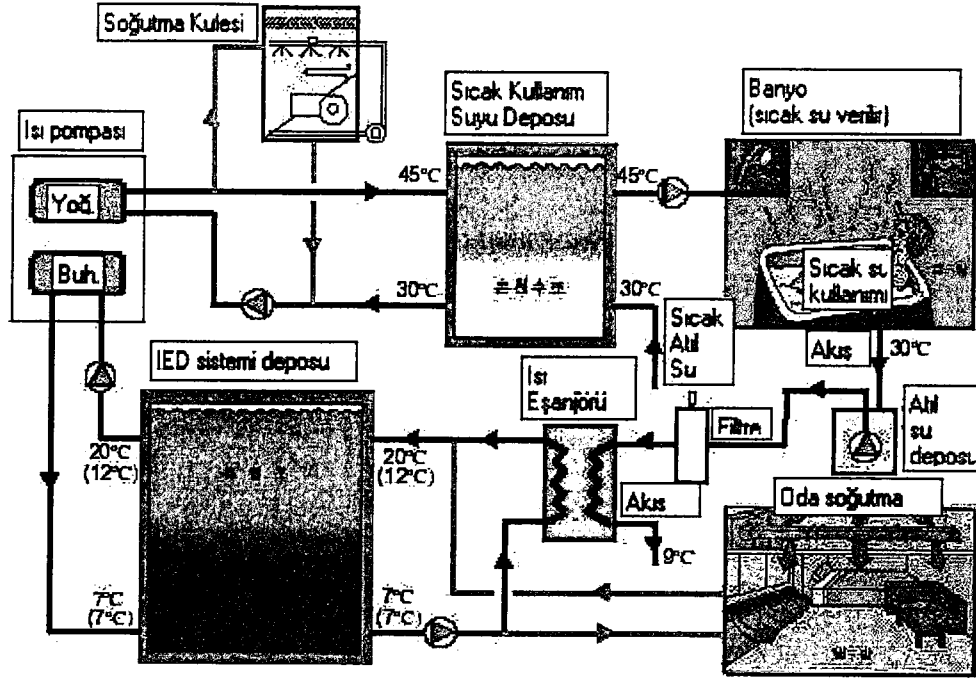
Isı pompasız soğuk-ısı depolama kış soğuşunu yazın kullanmak amacına yönelik olup; uygulamalar 31500 MWh kapasiteye çıkarılmıştır. Verimi daha yüksek olan ısı pompalı soğuk ısı depolamada, kışın ısıtma modunda kullanılan ısı pompası, yazın soğutucu görevi yapmaktadır. Bu teknik 1500 MWh kapasiteye kadar uygulanmıştır. Güneş kolektörleri ile yazın yapılan ısı depolama 100-60000 MWh kapasitelerde denenmiştir. Sistemde enerji

depolama maliyeti 47 ABD \$/MWh düzeyinde saptanmıştır. Termik-güç üniteleri ile ısı depolama yıl boyu ısı ve elektriğin birlikte karşılanmasına yönelik uygulamadır. Yazın depolanan fazla (atık) ısı kışın kullanılır. Bu uygulama ticari binalarda ve merkezi kent ısıtmasında 1000 - 100000 MWh kapasitelerde gerçekleştirilmektedir. Değişken talep-arz sistemlerinde ısı depolama kombine ısı ve elektrik santrallerine paralel bir uygulamadır. Bu uygulama kojenerasyon santrallerinin çekiciliğini daha da artırmaktadır. 10000 MWh'dan büyük kapasiteler için uygundur (Ültanır, 1998).

Enerjinin bol ve ucuz bulunduğu zamanlarda depolanıp kıt bulunduğu ve ihtiyaç duyulduğu zamanlarda kullanımı enerji temini ve tasarrufu açısından genellikle yapılan bir uygulamadır. Baca gazları ısının ve güneş enerjisinin ısı enerjisi şeklinde depolanması, güneşli su toplayıcıları, güneş havuzları sıkça yapılan uygulamalardandır (Kunduz, 1999). Güneş enerjisi fosil yakıtlar gibi her an kullanıma hazır değildir. Güneş radyasyonu ve bir evin ısıtma ihtiyacı zamana bağlıdır. Fakat enerji kaynağının zamanı ile ihtiyaç duyulan zamanlar birbirleriyle örtüşmezler. Güneş radyasyonu en çok öğlene doğru elde edilebilirken, evin ısıtma ihtiyacı en çok akşamın geç saatlerinde artar. IED sistemleri bu enerjilerin örtüşmesini sağlar ve enerji ihtiyacını heran karşılayabilir. IED sistemi enerji kaynağı, güneş, uygulama ve bina arasında bir köprü vazifesi görür (Sarı ve Kaygusuz, 2001).

Rosen (1999), ısı enerji depolama (IED) sistemlerinin büyük bir kısmının ısıtma ve soğutma amaçlı depolamada kullanıldığını belirtmiştir. Depolama ortamı çeşitli model ve boyutlarda olan depolar olabilirken, yer altı suları da depo vazifesi görebilir. IED sistemleri endüstri, ticari yapılar ve güneş enerjisi kullanımı için uygundur. Yer altı sularıyla depolama elemanlarının birleşimiyle oluşan sistem kendi içinde uyumlu çalışmalıdır.

Choi vd. (2000) günlük atıl ısı depolayan sistemin şematik gösterimini Şekil 2.1'de vermiştir. Amaç bölgesel soğutma ve kullanım sıcak suyu eldesidir. 1995 yılından beri Kore'deki "Sockho Resort Building" adlı yapıda faaliyet göstermektedir. Soğutma alanı 6871 m² dir (ofisler ve otel odaları). Kullanım sıcak suyu ise 50 otel odasında ve genel duşlarda kullanım içindir.



Şekil 2.1 Günlük atıl ısıyı depolayan sistem

3. DUYULUR ISI DEPOLAMA

Duyulur ısı depolamada (DID) oda sıcaklığının üstünde faz değiştirmeyen bir malzemeye ihtiyaç duyulur. Depolanan ısının değeri en basit haliyle aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Dinçer, 1999).

$$Q = m c_p \Delta T \text{ veya } Q = \rho c_p V \Delta T \quad (3.1)$$

Depolama malzemesinin sıcaklığı artırılarak duyulur ısı depolama yapılır. Malzeme yüksek özgül ısı kapasitesine sahip olmalı, ısıl çevrimler sonucu uzun dönmelerde de kararlı olmalı, uyum içinde çalışmalı, maliyeti düşük olmalıdır (Hasnian, 1997b). Duyulur ısı depolamada malzemenin sıcaklığı, malzemeye enerji ekleyerek artırılır ve malzemede faz değişimi olmaz. Malzeme sıvı(su, yağ...vd.) veya katı(kaya, tuğla, demir,... vd.) olabilir. DID sistemlerinin iki belirgin dezavantajı vardır. Bunlar, ihtiyaca cevap verebilecek büyük hacim gereksinimi ve ısı kayıplarıdır (Fath, 1998).

Hasnian (1997b) depolama ortamına göre DID sistemlerini üçe ayırmıştır. Sıvı ortam depolama, katı ortam depolama, bina yapısında depolama. Sıvı ortam depolamada en iyi malzemelerden biri sudur. Özgül ısısı diğer malzemelerden yüksektir, ucuzdur ve kolay temin edilir. Fakat pahalı izolasyon gerektirir ve yüksek sıcaklık uygulamalarında basınçlandırmaya ihtiyaç duyulur. Güneş enerji uygulamalarında kullanım sıcak suyu, ve bina ısıtmasında günümüzde geniş çaplı kullanılmaktadır. Depolar çelik, alüminyum, fiberglas gibi çeşitli malzemelerden imal edilebilir. İzolasyon malzemesi cam yünü, poliüretan olabilir. Depo hacimleri birkaç yüz litreden birkaç bin metre kübe kadar olabilir. Büyük ölçekli uygulamalarda içeriğinde su ve kum olan yer altı su havzaları mevsimsel ısı depolama için uygundur. Yüz, bin ve hatta milyon metre küplük yer altı su havzaları vardır. Ev ısıtılması gibi küçük uygulamalar için uygun değildir. Tuzlu su ile depolama güneş havuzları uygulamalarında 50-95°C aralığında kullanılır. DID sistemlerinde kullanılan diğer sıvılar arasında petrol tabanlı yağlar ve molten tuzları vardır. Isı kapasiteleri suyun %25 – 40 kadardır. Bu sıvıların buhar basınçları sudan daha düşük olduğundan orta ve yüksek sıcaklık DID uygulamalarında kullanılabilirler. 800 °C'ye kadar uygulamalara uygundur, fakat depolama zorluğu ve korozif etki söz konusu dur. Sıvı metallerde DID sistemlerinde kullanılabilir. En çok kullanılan 304 tipi paslanmaz çeliktir. Katı depolama malzemeleri kaynamadıkça veya donmadıkça yüksek, orta, düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılabilirler. Kayalarda depolamada çakıl taşı yatağı veya kaya kümeleri kullanılır. Bunlar ısı transfer akışkanının içlerinden geçebileceği biçimde kabaca dizilmiş taşlardan oluşur.

Malzemenin termofiziksel özelliklerinin yanısıra kaya boyutu ve şekli, dizilim yoğunluğu ısı transfer akışkanı gibi çeşitli parametrelerde depolanan enerji miktarını etkiler. Güneş enerjili sistemlerde 1 – 5cm çaplarında taşlar kullanılır. Isıtma uygulamalarında ortalama bir kural olarak her metre kare güneş kolektörüne karşılık 300-500kg taş kümelenir. Binaları kütlesi ve elemanları aktif veya pasif depolama için uygundur. En genel uygulama döşemelerin depolama malzemesi olarak kullanılmasıdır. Metallerde çok yüksek sıcaklıklarda depolama mümkündür. Sanayide atıl talaşlar depolama malzemesi olarak kullanılabilirler. Isıl iletkenliğin yüksek olmasının istenildiği uygulamalarda metal malzemeler avantajlıdır (Hasnian, 1997b). En çok kullanılan sıvı malzemelerden bazılarının özellikleri Çizelge 3.1 de, katı malzemelerin Çizelge 3.2 de verilmiştir (Dinçer, 1998, 1999; Sukhatme, 1998).

Çizelge 3.1 Duyulur ısı depolayabilen bazı sıvıların termofiziksel özellikleri

Malzeme	Akışkan Tipi ¹	Kullanım Sıcaklığı (°C)	Yoğunluk (kg/m ³)	Özgül Isı (kJ/kg°C)	Hacimsel Isıl Kapasite (kJ/m ³ °C)
Sodyum	ST	100-760	960	1,300	1248
Terminol 66	Y	(-9)-343	750	2,100	1575
Motor yağı	Y	160 kadar	888	1,880	1669
Oktan	OS	126 kadar	704	2,400	1690
Isopentanol	OS	148 kadar	831	2,200	1828
Caloria HT 43	Y	(-10)-315	820	2,300	1886
Etanol	OS	78 kadar	790	2,400	1896
Bütanol	OS	118 kadar	809	2,400	1941
Servotherm (hafif)	Y	10-150	867	2,240	1942
Servotherm (orta)	Y	12-250	880	2,220	1953
Propanol	OS	97 kadar	800	2,500	2000
Lityum	ST	180-1300	510	4,190	2137
İzobütanol	OS	100 kadar	808	3,000	2424
Hitec	ET	141-425	1.680	1,560	2620
Etilen Glikol			1.116	2,382	2658
Su-etilen Glikol 50/50			1.050	3,429	3653
Su		0-100	988	4,182	4131

Düşük sıcaklık DID sistemlerinde su uygun bir malzemedir. İstenilen sıcaklık aralığında atmosferik basınçta yüksek ısı kapasiteye sahiptir. Diğer uygun malzemede kayalardır. Pahalı olmayan depolarda depolanabilir ve bakım gerektirmezler. Orta sıcaklık DID sistemlerinde

¹ ET : Erimiş Tuz, ST : Sıvı Tuz, OS : Organik Sıvı, Y :Yağ

140 bar basınçta su 300°C'de depolamaya olanak tanır. Sıkıştırılmamış organik sıvılar (yağlar) da orta sıcaklık DID sistemleri için uygundur. Molten tuzları ve sıvı metaller yüksek sıcaklık DID sistemleri için uygun malzemelerdir. 800°C gibi çok yüksek sıcaklıklarda depolamaya olanak sağlayacak malzemeler ise kum, çelik, alüminyum, magnezyum oksit ve granittir (Fath, 1998).

Çizelge 3.2 Duyulur ısı depolayabilen bazı katıların termofiziksel özellikleri

Malzeme	Yoğunluk (kg/m ³)	Özgül Isı (kJ/kg°C)	Hacimsel Isıl Kapasite (kJ/m ³ °C)
Toprak (Kuru)	1260	0,795	1002
Çakıl	1350	0,900	1215
Kil	1458	0,879	1282
Potasyumklorit	1980	0,670	1327
Tuğla	1800	0,837	1507
Kumtaşı	2200	0,710	1562
Odun	700	2,390	1673
Kaya	2245	0,810	1818
Sodyumklorit	2170	0,920	1996
Alüminyum sülfat	2710	0,750	2033
Mermer	2600	0,800	2080
Granit	2640	0,820	2165
Kireçtaşı	2500	0,900	2250
Cam	2710	0,837	2268
Alüminyum	2707	0,896	2425
Potasyum sülfat	2660	0,920	2447
Sodyum sülfat	2700	0,920	2484
Beton	2240	1,130	2531
Sodyum karbonat	2510	1,090	2736
Alüminyum oksit	3900	0,840	3276
Silikon oksit	2600	1,260	3276
Magnezyum oksit	3570	0,960	3427
Toprak (ıslak)	1700	2,093	3558
Saf demir	7897	0,452	3569
Çelik	7840	0,465	3646
Toprak (çakıllı)	2050	1,840	3772
Mıknatıs	5177	0,752	3893
Dökme demir	7900	0,837	6612

Dinçer (1998), DID teknolojisinin çevre kirlenmesinin azalmasında önemli bir rol üstlenebileceğini belirtmiştir. DID sistemleri basitçe enerji tüketimini azaltmak suretiyle iki önemli fayda sağlar (i) Fosil yakıtların idareli kullanımı (ii) CO₂, SO₂, NO_x ve CFC

emisyonlarında azalma. Holanda'da yerleşik bir sistem üzerine DID sisteminin eklenmesiyle, sistemin çevreye yaydığı zararlı maddelerdeki azalma bu makalede tablo halinde verilmiştir. DID sistemlerinin seçimine, yapımına ve çalıştırılmasına etkiyen bir çok faktör varken, ayrıntılı fizibilite çalışmasının geliştirilmesi gereklidir. Sistemin yapımından önce, en azından aşağıdaki önemli hususlar açıklığa kavuşturulmalı ve belirtilmelidir.

- İdari amaçlar (kısa veya uzun dönem)
- Çevre etki analizleri
- Enerji tasarruf hedefleri
- Ekonomik amaçlar
- Projenin finansal parametreleri
- Mevcut teşvik faydası
- DID sisteminin yeni veya kurulu bir sistem üzerine inşa edilecek olduğu (tabiki, kurulu sistem yapım maliyetlerini düşürecektir)
- Net ısıtma veya soğutma depolama kapasiteleri (Özellikle pik-gün gereksiniminde)
- Tam veya kısmi DID sistemi olduğu
- İstenilen uygulamaya yönelik en uygun DID sistemi seçenekleri
- Her DID seçeneği için öngörülen çalıştırma stratejileri
- Elverişli Hacim (Örneğin Depo)
- DID sisteminin depolama stratejisi (kısa veya uzun –dönem) ve
- DID sisteminin tipi (açık veya kapalı)

Bunların dışında proje safhasında dikkat edilecek diğer unsurlar şunlardır:

- Yeni veya mevcut DID sistemi olduğu (eğer mevcut ise, gerekli değişiklikler; eğer yeniyse, sistem kapasitesi)
- DID sisteminin konumu
- Yapısal ve çevresel etkisi
- Isı eşanjörü gereksinimi
- Borulama düzenlemeleri
- Otomatik kontrol gereksinimi
- Güvenlik düzenlemeleri ve
- Yeni Elektrik servis gereksinimi

Mevcut sisteme eklenecek DID sistemleri için aşağıdakilerin de bilinmesi yarar sağlayacaktır.

- Maksimum teşvik

- Yerin doluluk saatleri
- Yerin alıştırma gereksinimleri
- Mevcut fiziksel kısıtlamalar
- Yerin Pik-gün yukleri ve aylık ortalama gereksinimleri
- Geçmiş enerji sarfiyat oranları

Sonucunda ise finansal analizlere ve sistem tavsiyesine yer verilmelidir (Dinçer, 1998). Enerjinin depolanması kadar optimum kullanımı da önemlidir. Bu itibarla bu konunun incelenmesi gereklidir. Basit bir su depolu DID sistemi üzerinde yapılan deneyler sonunda depolamadan en iyi verim almak için toplam ısı geçiş katsayısı (W/m^2K) ile ısı geçiş yüzeyi alanının çarpımının değeri yükseltilmelidir, depodan ısıtılan akışkanın ısı transfer süresi arttırılmalıdır. Deponun başlangıç sıcaklığının arttırılması çok büyük bir verim farkı yaratmamaktadır (Kunduz, 1999).

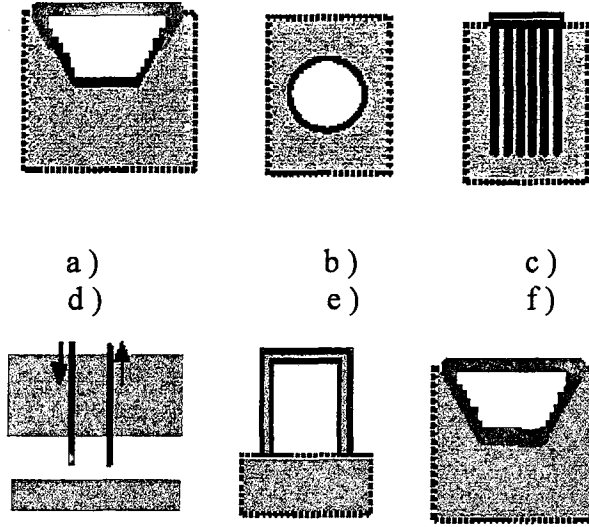
Kaygusuz vd. (1990) duyulur ısı depolamanın dezavantajlarını aşağıdaki gibi sıralamıştır.

- Duyulur ısıyı depolayan maddelerin sıcaklıkları ısı depolama esnasında sürekli olarak yükselir. Bunun sonucunda çevreye olan ısı kayıpları artar ve buna bağlı olarak depolama verimi düşer. Diğer taraftan depodan ısı çekme işlemi esnasında sıcaklık sürekli olarak düşer. Buna bağlı olarak verim ve dağıtılan ısı akışı daha da küçülür.
- Duyulur ısıyı depolama işlemi büyük miktarda madde gerektirdiğinden bu durum konutlarda yalıtım problemine neden olur.
- Sıvı türden depolama maddesi (rneğin su) kullanıldığı zaman sistemin çalışmasında buharlaşma ve donma olayları potansiyel bir problem olarak ortaya çıkar.
- Depo ve evre arasındaki sıcaklık farkının büyük olması nedeniyle iyi bir yalıtıcı gerektirecektir. Bu da sistemin maliyetini artırır [4].

Tübitak (1998a) yeraltında ısııl enerji depolama (YIED) tekniklerini üç grupta ele almaktadır:

- Tank, ukur ve kaya oyuklarında depolama
- Akiferde (doğal yeraltı suyu havzası) depolama
- Kanallarda depolama

Mağara ve çukur depolarda, depolama ortamı su olmaktadır. Kanal depolarda, depolama ortamı olarak topraktan yararlanılmaktadır. Akiferde ısı depolamada ise depolama ortamı yerdir. Yeraltında ısııl enerji depolama tekniklerinden kanallarda ve akiferde depolama Avrupa, Kuzey Amerika, Japonya ve in'deki birçok uygulama ile ekonomik ve ticari olarak kendini kanıtlamıştır (ltanır, 1998).



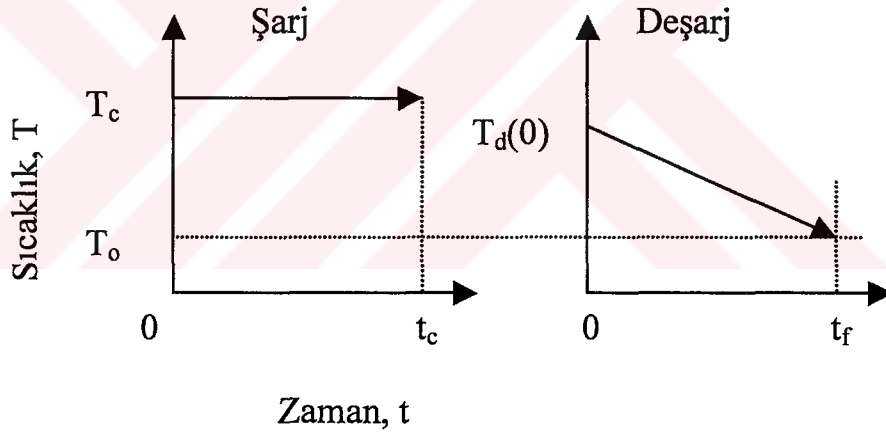
Şekil 3.1 Büyük ölçekli doğal depoların simgesel gösterimi.

Şekil 3.1’de büyük ölçekli doğal depoların simgesel gösterimi verilmiştir. Burada: a)Yarı izolasyonlu çukurda, b) kaya, oyuk, mağarada c) toprak içi dikey borularda, d) Yer altı su havzasında, e) Yer üstü su deposunda, f) tam izolasyonlu çukurda depolamayı göstermektedir (Lund, 2000).

Yeraltında tank, çukur ve kaya oyuklarında güneş enerjisi ve/veya sanayideki atık ısılar depolanabilir. Bu amaçla su veya su-kimyasal karışımının duyulur ısı kapasitesinden yararlanılır. Akiferde (yer altı su havzası) ısıl enerjinin depolanma prensibi çok basittir. Yeraltı suyu açılan kuyudan çekilip ısıl enerji kaynağıyla temas ettirilerek tekrar kuyuya gönderilir. Soğutma için dış ortamın düşük sıcaklığından, yüzey buz ve sularından yararlanılır. Yazın soğutma gereksinimi olduğunda, yeraltındaki soğuk su çekilerek kullanılır. Bu kullanım ısı eşanjörü yardımıyla ve soğutma sisteminden ısı alınmasıyla gerçekleştirilir. Hem soğutma, hem de ısıtma amaçlı sistemlerde, kullanım sonucu ısınan yeraltı suyu akiferde başka bir kuyu aracılığıyla tekrar depolanabilir. Bu yöntemde biri sıcak ve diğeri soğuk olmak üzere aralarında etkileşim bulunmayacak uzaklıkta iki kuyuya gereksinim vardır. Yeraltı suyu bulunmayan yerlerde, yeraltına düşey olarak yerleştirilen, birbiri ile bağlantılı özel kanallar kullanılır. Bu kanallar, akışkan ile toprak arasında ısı aktarımını sağlayan yeraltı ısı eşanjörleri görevini yaparlar. Bu teknikle hem ısıtma ve hem de soğutma amaçlı depolama yapılabilmektedir. Dünyanın çeşitli ülkelerinde yeraltında ısı depolayarak enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Türkiye’de akiferde ısı depolaması konusundaki ilk çalışma Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Balcalı Hastanesi’nin ısıtma ve soğutması için yapılmaktadır Tübitak (1998a).

Yeraltında ısıl enerji depolama sistemleri, elektrik ve fosil yakıt kullanımına tasarruf getirmekte; güneş enerjisi, doğal enerji olanakları (toprak, yüzey ve yeraltı suları ile havada doğal olarak bulunan ısıl enerji) ve sanayideki atık ısıları değerlendirerek, enerjinin etkin kullanımı olanağını yaratmaktadır. Dünyada birçok başarılı uygulaması bulunan akiferde (doğal yeraltı suyu havzası) ve kanallarda depolama sistemlerinin ülkemizde de kullanılmaya başlanması, toplam birincil enerji kaynağı tüketiminde tahminen % 10-20'lik bir kazanım sağlayabilecektir. Bu depolama sistemleri, yenilenebilir kaynaklardan enerji elde edilmesiyle kullanımı arasındaki zaman farkını kapatarak, yenilenebilir enerji kaynaklarından sürekli yararlanabilme olanağını sağlamaktadır [4].

YIED modelleri içindeki termodinamik kayıpların başlıca iki tanesi sistemin içindedir ve kayıplar şarjın başında bir de deşarjın sonunda meydana gelir. YIED'in içine kazanılan enerji tekrardan geri kazanılmıyorsa kayıp olarak kabul edilir (enerji kaybı), ısıtılan su YIED'in içine pompalanınca genelde daha soğuk olan suyla karışır. Ortaya çıkan karışım içeri giren karışımdan daha soğuk olur (karışım kaybı) (Rosen, 1999).



Şekil 3.2 YIED'te zamana bağlı sıcaklık değişimi

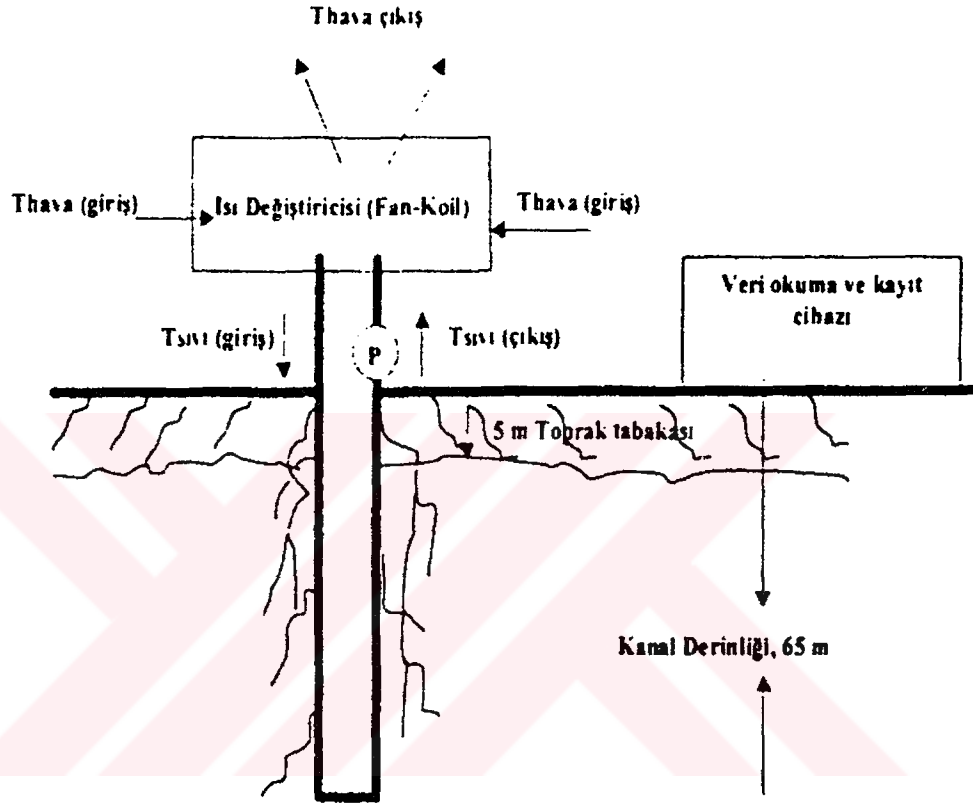
Tübitak (1998a) YIED sistemleri için aşağıdaki maddelere dikkat çekmiştir:

- Yeraltında ısıl enerji depolama sistemleri, elektrik ve fosil yakıt kullanımına tasarruf getirmekle, güneş enerjisi, doğal enerji olanakları (toprak, yüzey ve yeraltı suları ile havada doğal olarak bulunan ısıl enerji) ve sanayideki atık ısıları değerlendirerek, enerjinin etkin kullanımını sağlamakta, sera etkisi yaratan ve asit yağmurları oluşturan gazların çevreye daha az yayılmasına yardımcı olmaktadır. Enerjide dış bağımlılığı azaltmaya yönelik olarak, öz kaynakların daha verimli kullanılmasına da katkıda bulunmaktadır.

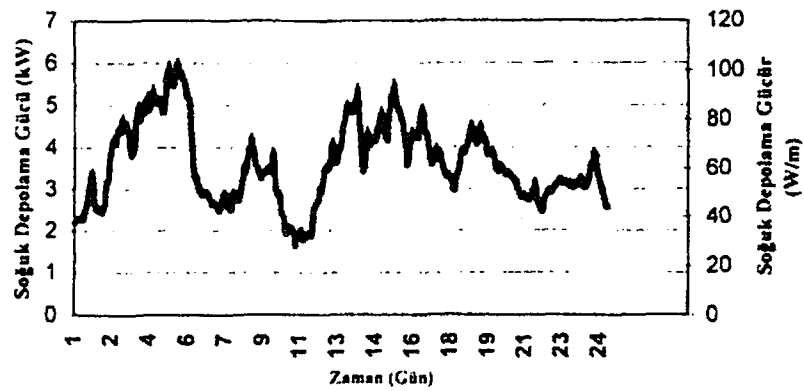
- Bu depolama sistemleri, yenilenebilir kaynaklardan enerji elde edilmesiyle kullanımı arasındaki zaman farkını (güneş enerjisinde gece-gündüz ve yaz-kış farkı gibi) kapatarak, yenilenebilir enerji kaynaklarından sürekli yararlanabilme olanağı sağlamaktadır. Dolayısıyla yenilenebilir kaynakların etkin kullanımı açısından büyük önem taşımaktadır.
- Yeraltında ısı depolama, tank, çukur ve kaya oyuklarında. akiferde ve kanallarda depolama teknikleri ile gerçekleştirilmektedir. Özellikle akiferde depolama önemlidir. Bazı sanayi kuruluşları halen yeraltı suyunu soğutma amaçlı olarak kullanmakta, sonra dışa atarak su rezervinin azalmasına ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Akiferde ısı depolama sistemlerinde yeraltı suyu kapalı devre bir sistemde başka hiçbir su ile karışmadan kullanılıp, tekrar yeraltındaki aynı akifere beslenmektedir. Böylece, çevre kirlenmesi oluşmadığı gibi, yeraltı akiferi de korunmuş olmaktadır.
- Dünyada birçok başarılı uygulaması bulunan akiferde ve kanallarda depolama sistemlerinin Türkiye'de de kullanılmaya başlanması, toplam birincil enerji kaynağı tüketiminde tahminen %10-20 arasında bir kazanım sağlayabilecektir.

Dikici ve Paksoy (2000) yaptıkları çalışmada Kanalda IED sistemlerine değinmişler ve Lulea'daki bir uygulamayı anlatmışlardır. Konut, sanayi, tarım sektöründe uygulama alanı bulabilen kanalda IED tekniği elektrik enerjisi ve kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlardan tasarruf sağlar. Uzun (mevsimlik), kısa süreli (gece/gündüz) ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılabilirler. Telekomünikasyon istasyonları için ilave bir soğutma ünitesi olmadan, soğuk havayı kaynak olarak kullanan kanalda IED uygulanmaktadır. İsveç'te bu uygulama 30 ayrı noktada yapılmaktadır. İklim ve jeolojiye bağlı olmaması ise bu sistemin farklı bölgelerde uygulanmasını sağlar. Şekil 3.3'de şematik olarak gösterilen IED sistemi Lulea Teknik Üniversitesi'nin (LTU) park yeri altındaki toprak hacmini depo olarak kullanmaktadır. 0.152 m çapında ve 65 m derinliğinde yeraltında açılan kanala plastik bir U boru (PN32 DN6) yerleştirilmiştir. Genelde bu tip yer altı IED uygulamalarında ısı taşıyıcı akışkan olarak su kullanılmasına rağmen, burada akışkanın sıcaklığı -15°C 'un altına indiğinden 0,71 l/sn debisinde etilen-glikol kullanılmıştır. Soğutma kaynağı olarak kış mevsimi ortam havası kullanılmıştır. Isı değiştiricisinde kullanılan fan $1.3 \text{ m}^3/\text{s}$ hava akış hızıyla ve yaklaşık 10 kW'lık güçle çalışır. Sistem kapalı bir döngü şeklinde 16 Ocak - 31 Mart arasında çalıştırılmıştır. Yeraltından pompa ile çekilen sıvı ısı değiştiricisinde kışın soğuk havası ile karşılaştırılır. Böylelikle soğuyan sıvı tekrar U boruda dolaştırılmak üzere yeraltına pompalanır. Dış ortam sıcaklığı yer altı depo sıcaklığından yüksek olduğunda fan otomatik olarak durdurulmuştur. Bir data-logger yardımıyla sıcaklıklar 10 s'de bir ölçülüp saatlik ortalamaları bilgisayara kaydedilmiştir. Ölçümler süresince en düşük hava sıcaklığı -27

$^{\circ}\text{C}$, ortalama sıcaklık ise -14°C olmuştur. Depo sıcaklığı ise yaklaşık olarak bu periyodun yarı süresince sıfırın altında olup, sıvı sıcaklığıysa sıfır dolaylarında olmuştur. Soğuk depolama kapasitesi 2-6 kW (35-100 W/m) olarak değişmiştir. 16 Ocak- 31 Mart arasındaki toplam depolanan soğuk ya da yeraltından çekilen eşdeğer enerji 5325.58 kWh'dir (Dikici ve Paksoy, 2000).



Şekil 3.3 Lulea teknik üniversitesindeki kanalda IED uygulaması



Şekil 3.4 Soğuk depolama kapasitesi

Hollanda'da 1980 yılından bu yana yapılan 40 adet akiferde depolama projesinin % 80'i konut ve diğer yapılarda (hastaneler ve alışveriş merkezleri dahil), kalanı sanayide uygulanmıştır. İsveç'te yapılan akiferde depolamaya ilişkin 23 projeden elde olunan sonuçlara göre, soğutma amaçlı depolamada % 90-95, hem ısıtma ve hem de soğutma amaçlı depolamada % 80-85, yalnızca ısıtma amaçlı depolamada % 60-75 enerji tasarrufu sağlanmıştır. Kanalda depolama ise Amerika Birleşik Devletleri, Almanya ve İsveç'te daha çok uygulanmaktadır. Japonya ve İsveç'te yeraltında depolanan ısı, kış aylarında yolların buzlanmasını önlemek için kullanılmaktadır. Belçika, komşusu Hollanda'nın desteği ile akiferde ısı depolama teknolojisini enerji pazarına hızla sokmuştur. Hollanda'da bir özendirme yasası da çıkarılmıştır. Dünyadaki en büyük kanal depolama sistemi ABD'de New Jersey Richard Stockton College'da yapılmıştır. Sistemde her biri 130 m derinliğinde 400 adet kanal bulunmaktadır. Sistemin toplam soğutma kapasitesi 5.6 MW'dır. Buradan sağlanan enerji tasarrufunun karşılığı olarak emisyonlardaki yıllık azalma; CO₂ için 459, SO₂ için 3 395 ve NO_x için 186 otomobilin yarattığı emisyonu eşdeğerdir (Ültanır, 1998).

DİD sistemleri seraların ısıtılması için de kullanılabilirler. İED sistemi, ısı transfer akışkanının kullanılması gerektiği durumlarda sera dışına, iç hava ile sistem arasında direkt olarak ısı değişiminin gerçekleştiği durumlarda ise sera içine yerleştirilmektedir. Sistem sera içine, ya su doldurulmuş şiltelerin (şeffaf PE tüpler) bitki sıra aralarına sera boyunca ya da içi su dolu tenekelerin seranın kuzey duvarına yerleştirilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Bu sistemler gelen güneş radyasyonunu gün boyunca absorblamakta ve depolamaktadırlar. Gece boyunca ise depolanan bu ısı, doğal konveksiyon ve radyasyonla tekrar sera içine geri verilmektedir. Son yıllarda güneş enerjisiyle seraların ısıtılmasında kullanılan en uygun ve ucuz yöntemlerden birisi su şilteleridir. Bu amaçla 25-35 cm çaplı PE boru şeklindeki yastık üniteler, bitki sıra aralarına sera boyunca yerleştirilmekte ve içi su ile doldurularak iki ucundan bağlanmaktadır. Kullanılan şilte uzunları 2-12 m arasında değişmektedir. Ancak su şiltelerini yerleştirme sırasında karşılaşılan problemleri engellemek için önerilen şilte uzunluğu 6 m'dir. Şilteler sera taban alanının %20-40'ını örtecek şekilde yada sera taban alanının 1 m²'sine 20-100 lt su depolayacak şekilde yerleştirilmelidir. Şilteler izolasyon malzemesi olarak kullanılan 2-3 cm kalınlıktaki polystyren üzerine serilen siyah polietilen film üzerine konulmalıdır. Gün boyunca güneş kollektörü gibi çalışan şilteler, geceleri ısıyı sera içine geri vermektedir. Bu sistem ile örtü materyaline bağlı olarak 2-4 °C sıcaklık farkı elde edilebilmektedir. Su şiltelerinin kullanıldığı seralarda, ısı perdesi kullanımına da yer verilmesi sistemin etkinliğini daha da arttırmaktadır. Ayrıca bu makalede ısı depolama ortamı olarak toprağın ve kaya yatağının kullanıldığı güneş seralarından bahsedilmiştir. (Koçar,

1997)

Duyulur ısı enerji depolama sistemlerinin termodinamik analizi üzerine yapılmış birçok çalışma vardır. Bunlardan biri, bir ısı enerji depolama sisteminin tasarımı ve işletimi için optimum parametrelerin elde edildiği ve sadece enerji depolama sürecini dikkate alan Bejan (1978)'in çalışmasıdır. Bu çalışmada, sıcak bir gaz kaynağı kullanılarak büyük sıvı banyolarında enerjinin duyulur ısı olarak depolanması sırasında oluşan termodinamik tersinmezliklerin analizi yapılmıştır. Tersinmezlik analizinin sonucunda şu sonuçlara varılmıştır: 1) Sıvı banyosunda depolanan faydalı işi maksimum yapmak için kullanılacak olan sıcak gaz miktarının optimum bir değeri vardır. Bu optimum değer aşıldığında, depolanan ısı enerjisinin miktarını maksimize etmek aşırı termodinamik kayıplara sebep olur, 2) Yararlı iş depolama kapasitesini maksimize ederken sistem tersinmezliklerini en aza indiren gaz-sıvı ısı değiştirgeci tasarım parametreleri arasında optimum bir bağıntı vardır. Bu bağıntı, ısı değiştiricisi optimum transfer unite sayısını (NTU) tahmin etmede bir yöntem sağlar. Isı değiştiricisi etkinliğini ve ısı enerjisi depolama kapasitesini artırmak için NTU değerini optimumun üzerine çıkarmak ısı değiştiricisi kanallarında akışkan sürtünmesiyle ilgili olarak aşırı kayıplara sebebiyet verir.

Duyulur ısı enerji depolama sistemleri üzerine yapılmış bir diğer çalışmayı ise Krane (1987) gerçekleştirmiştir. Bejan'ın sadece depolama süreci için yaptığı ikinci kanun analizini depolama-geri kazanım sürecine uygulamıştır. Bu çalışmanın sonucuna göre, optimum bir sistem, yaklaşık olarak giren enerjinin faydalanabilirliğinin %70 ila 90 kadarını kaybetmektedir. Krane (1985), buna ilaveten, bir elektrikli ısıtıcı ile çalışan ısı enerji depolama sisteminin ikinci kanun analizini yapmıştır. Elektrik ısıtıcılı ısı enerjisi depolama sistemi, giren enerjinin kullanılabilirliğinin (kullanılabilirliğinin) yaklaşık %60 ila 80 kadarını kaybetmektedir.

Moran ve Keyhani (1982), güç santralleri ile birlikte kullanılan ısı enerjisi depolama sistemlerinin birinci ve ikinci kanun analizlerini yapmışlardır. Analiz sonucu elde edilen diferansiyel denklemleri nümerik olarak çözmüşlerdir. Çalışmanın sonucunda, hem depolama ünitesine aktarılan hem de tersinmezlikler sonucu kullanılmayan enerjinin daha önce literatürde belirtilen değerlerden daha düşük oranda olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca hem ısı hem de ekonomiklik açısından bu tip depolama sistemlerinin optimum performansları ile ilgili bir tartışma ile çalışma sonuçlandırılmıştır.

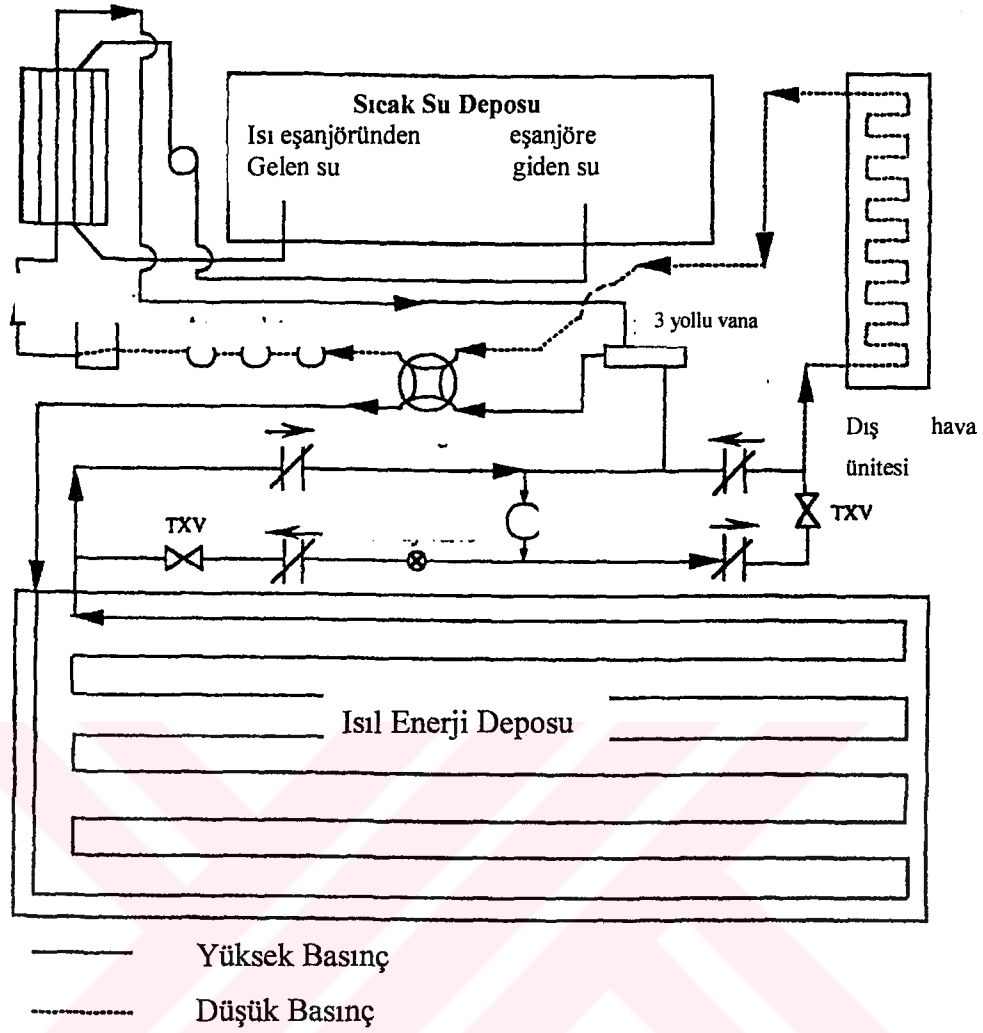
Chelghoum ve Bejan (1985) geçici enerji depolama yeteneğine sahip güneş kolektör

şebekesini kullanılarak elde edilen ekserjiyi hem analitik hem de sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmanın ilk kısmında, giriş ve çıkış debilerinin zamana bağlı olarak değiştiği durumlarda ve kollektörün güneşe maruz kaldığı süreç zarfında, kollektör sıcaklığı optimum sabit bir seviyede tutulursa şebekeden sağlanan toplam ekserjinin maksimum olduğu varyasyonel calculus metodu kullanılarak gösterilmiştir. Çalışmanın ikinci ve üçüncü kısımlarında depolama kapasitesine sahip güneş kollektörlerinin daha gerçekçi modelleri analiz edilmiştir. Analiz göstermiştir ki; incelenilen modellerin herbirinde, şarj vedeşarj süreçlerinin göreceli zamanlamasının şebekeden elde edilen toplam ekserji üzerinde büyük etkisi vardır. Çalışmanın ana sonucu şudur: birim kollektör alanına düşen güneş ekserjisini maksimum yapmak için toplama/depolama şebekesinin günlük işletim rejimi tasarım tarafından belirlenir.

Paykoç ve Kakaç (1988) çalışmalarında, ısı enerjisi depolama sistemlerinin çeşitli tiplerini tanıtmışlar, önemi ve istenen karakteristiklerini ana hatları ile sunmuşlardır. Pratikte çok sık kullanılan ısı depolama sistemlerinden biri olan duyulur ısı depolama tanımlanmış ve üç çeşit duyulur ısı depolama ortamı tartışılarak avantajları ve dezavantajları belirtilmiştir. “well-mixed” (tam karışmış) ve “stratified” (katmanlaşmalı) su depolama tankları tanıtılmıştır. “Packed bed” (paketlenmiş malzemeli) depolama sistemleri kullanılarak gerçekleştirilen analitik ve deneysel çalışmalar tartışılmıştır.

Velraj (1997) uzunlamasına iç yüzgeçleri (ısı transfer yüzeyleri) olan dik silindirik tüplerdeki ısı transferini artırmak üzerine çalışmıştır. Sistemden maksimum faydanın sağlanabilmesi için V-şekilli yüzgeç dizaynı yapılmıştır. Tüp etrafındaki ısı akışını hesaplayan teorik bir model entalpi formülasyonu kullanılarak geliştirilmiştir. Bu model taşınım ile soğutulan tüpte katılaşılan FDM nin sonlu elemanlar yöntemiyle ortak olarak kullanılabilir. Sayısal model deneysel ölçümlerle uygunluk göstermiştir.

Lee ve Jones (1999) test düzeneğini hazırladıkları bir DID sisteminin performansını belirlemişlerdir. Test düzeneğini çeşitli ölçüm cihazlarıyla donatmışlardır. Sistem hava kaynaklı ısı pompası olarak çalışmaktadır. Kompresör çıkış havası ısı kaynağı olarak su deposunda duyulur ısı olarak depolanmaktadır. Sistem çeşitli iç ve dış şartlarda test edilerek ısıtma şarj oranı, kompresör gücü, COP değerleri gibi parametrelerin bulunmasına olanak sağlanmıştır. Sistem şarj esnasında tüm ısıyı depolayabilmiştir. Depodaki sıcaklık artış oranı dış ortam sıcaklığının artmasıyla çoğalmıştır. Deşarj testlerinde iç ortam sıcaklığının artmasıyla deponun sıcaklık düşme oranı azalmıştır.



Şekil 3.5 Lee ve Jones'un (1999) test düzeneği

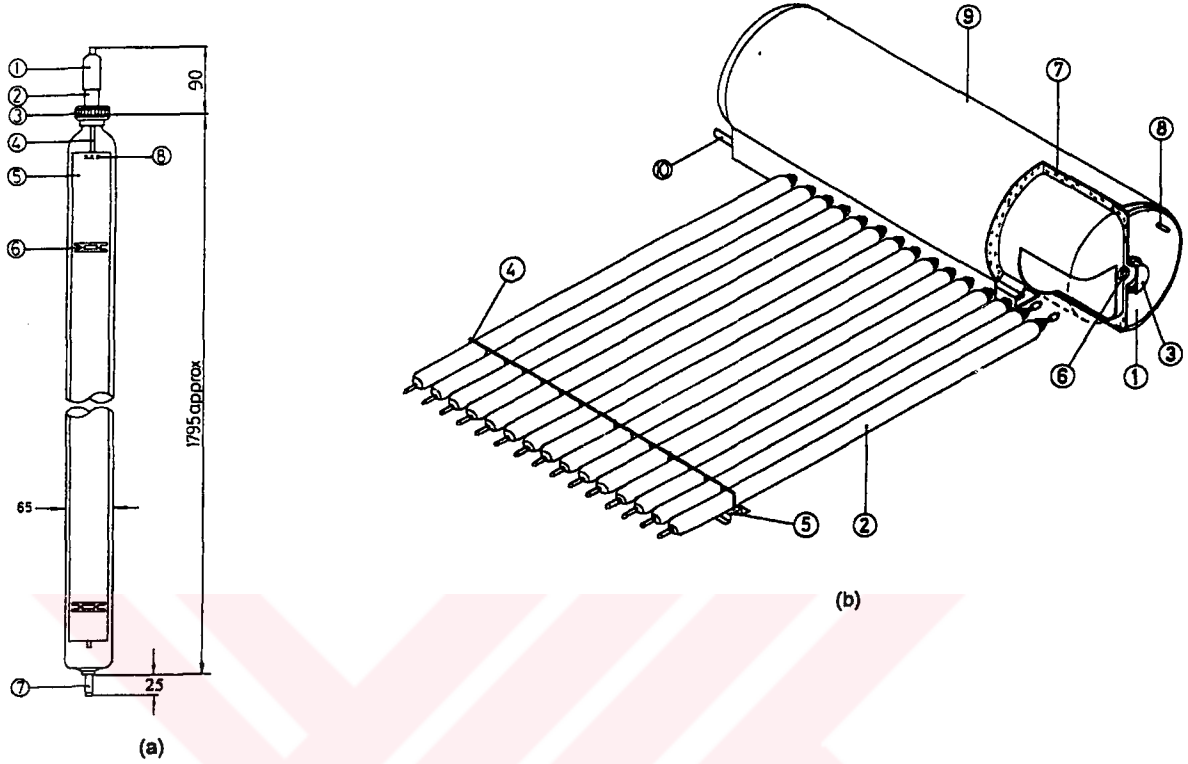
Yapılan hesaplamalar sonucunda değişik dış hava sıcaklıklarında ölçülen COP ortalaması 2,78 – 2,80 aralığındadır.

Dinçer (1999) güneş enerjisinin DID sistemleriyle nasıl ve hangi malzemelerle depolanacağından bahsetmiştir. Duyulur ısı depolanmasında oda sıcaklığının üstünde faz değiştirmeyen bir malzemeye ihtiyaç duyulur. Verilen depodaki duyulur ısı depolama kabiliyeti, (3.1) eşitliğinden anlaşılacağı gibi, malzemenin ρc_p değeriyle ilgilidir. Su en yüksek değere sahiptir. Suyu Minimum sıcaklıktan $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa ısıttığımızı varsayalım. 1000 MWh lik bir depolama arzu ediyorsak, $m = 8620\text{ m}^3$ olmalıdır. $20,5\text{ m}$ çaplı bir küre bu hacmi sağlayacaktır. Kullanığımız sistemin verimi %35 ise (tipik $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ lık çalışma sıvısı) üretilmesini ihtiyaç duyduğumuz 1000 MWh 'lik enerji için su deposunun çapı $27,8\text{ m}$ olmalıdır. Maliyet göz önüne alındığında kayalarda iyi bir DID malzemesidir. Fakat

kapasitesi suyun yarısı kadardır. Geçmiş çalışmalar göstermektedir ki paketlenmiş kaya depoları (depolama kutuları) pratiktir, ve en önemli avantajı kolaylıkla 100 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ısı depolanmasında kullanılabilmesidir. DID uygulamalarından belki de güneşle ısıtılmış yerleşim bölgeleri ve ticari binalar ilerki yıllarda en çok karşılaştığımız sistemlerdir. Depolama şeklinin seçimi su veya kaya kullanan duyulur ısı tipi depolamanın kabiliyeti, dayanımı ve maliyet verilerine göre yapılması gerekir. Daha önce belirtildiği gibi bazı durumlarda kaya kullanımını suya tercih edilir. Ne var ki hava/ kaya güneş sistemlerinde kullanım sıcak suyu için ısı depolamada bazı şartlar gerekmektedir. Aynı miktarda ısının kayalarda depolanması suya göre ortalama 3 kat daha fazla hacme ihtiyaç duyar. Bu dezavantaj maliyetler hesaba katıldığında ortadan kalkacaktır. Yüzme havuzu inşa eden bir kişi su depolamanın nedenli pahalı bir iş olduğunu bilir. Pahalı maliyetlere ilaveten sıvı tankının yüksek bakım giderleri, ekonomiklik hesaba katıldığında yerel ısıtma uygulamalarında hava/ kaya sistemlerinin kullanımı ön plana çıkar. Su ve hava / kaya sistemlerinin birlikte kullanımı güneş sistemli uygulamalarda standart form olma yolundadır. Buradaki amaç kullanım sıcak suyu için gerekli olan enerjiyi hacim ısıtmak için kullanılan güneş enerjisi kaynağından azalmaya uğramadan sağlamaktır. Bu melez sistem aslında tipik bir hava/ kaya güneş sistemiyle ısı eşanjörü ve küçük bir su deposundan oluşmaktadır. Hacim ısıtmasında kullanılan geleneksel hava/ kaya güneş sistemleri sadece ısıtma sezonunda kullanılmaktadır. Sistemin yılın 6 ayında iş görmemesinden dolayı da amortisman süresi uzamaktadır. Sıcak su kabiliyetinin hava/ kaya sistemine eklenmesi maliyeti küçük bir yükselmeye sebebiyet verecektir. Bu sayede güneş ısıtma sistemi yazın su ihtiyacının % 100' ünü karşılarken, kışın ve kışa doğru değişen mevsimlerde de düşen oranlarda bu ihtiyacı karşılar.

Düz plaka tipi güneş kolektörlerinin teknik ve işletme problemleri vardır. Bu zorlukları aşmak için tahliyeli tüplü güneş kolektörleri geliştirildi. 1991'de Thermomax Mazdan (Şekil3.5 a) tahliyeli güneş kolektörünü geliştirdi. Bu kolektörler çeşitli ısıl ve işletmesel problemleri azaltmakta ve termofiziksel özelliği sayesinde düz güneş kolektörlerinden daha iyi bir verim sağlamaktadır. Bu kolektörlerin bazı özellikleri; yüksek verim, düşük kapasite, yüksek ısı transfer oranı, ısı akışının tek yönlü olma prensibi (Termal diode), maksimum sıcaklığı kontrol edebilme, yüksek dayanım, sıcak su hazırlamadan endüstriyel proses ısını sağlama kadar geniş bir ısıl uygulama alanı, korozyon, bakım, soğuk hava/ donma problemlerinden uzak olması, montaj kolaylığıdır. Şekil 3.6 b de oluşturulan depo sistemi, 15 tahliyeli güneş kolektör tüpü ve 170 lt lik sıcak su deposundan oluşmaktadır. Depo iyi kalite paslanmaz

çelikten yapılmış olup, içeriğinde en az % 2,5 molipten vardır ve hava dirençli metal örtü ile contalanmıştır. Poliüretan köpük depo ile örtü arasındadır (Dinçer, 1999).



Şekil 3.6 a) tahliyeli güneş kolektör tüpü b) 15 tüp ve 170 lt lik sıcak su depolu sistem

a) Boşaltılmış tüp tipi güneş kolektörü	b) Boşaltılmış tüp güneş kolektörlü bir bütünleştirilmiş depo sistemi
1) Kondansatör	1) Sıcak Su Depolama Tankı
2) Kilitleme Yakası	2) Kolektör Tüp
3) Muhafaza Başlığı	3) Isıtıcı Erişim Kapağı
4) Sıcaklık Borusu	4) Dip Destek Klipsi
5) Absorbe Edici Tabaka	5) Dip Desteği
6) Absorbe Edici Desteği	6) Elektrikli Su Isıtıcısı
7) Dip Desteği	7) İzolasyon
8) Getirici	8) Su Çıkışı (22mm Boru)
	9) Önceden Kaplanmış Çelik Kaplama
	10) Su Girişi (22mm boru)

Dinçer (1998) enerji ve ekserji analizlerinin DID sistemleri için gerekli formüllerini vermiştir ve ekserji analizlerinin niçin depolama sistemleri için önemli olduğunu yazısında anlatmıştır. Ekserji analizleri DID sistemlerinin performans değerlendirmesinde enerji analizlerinden daha güçlü bir metot olarak karşımıza çıkmaktadır. Verimlilik terimi birincil kanun (enerji verimliliği) ve ikincil kanun (ekserji verimliliği) verimlilikleri gibi en az iki yönden kullanılır.

Enerji verimliliği enerji depolamaya yararlı enerji çıktısının toplam enerji girdisine oranı olarak etki yapar. Ekserji verimliliği ise termodinamiksel imkansızlıkları entropide artış sağlayarak bu orana yansıtır. Bu sebeple ekserji verimi enerji veriminden enerji girdisindeki kayıplar yüzünden her zaman küçüktür. Çizelgede belirtildiği gibi, DID sistemlerinde kesin enerji ve ekserji analizleri için dikkate alınma zorunluluğu olan üç adım (alt-proses) vardır. Yapılan analizlerde şarj ve deşarj sıvılarından çevreye ısı kaybının olmadığı kabul edilmiştir. Çizelge 3.3'teki dört enerji verimi denkleminde $E_i^R = E_f^R = 0$ olduğunda kritiklik gösterir (Denklemler sistemin performans ölçümlerini mantıklı vermeyecektir). Mantıklı ölçüler çıkması için ΔE sıfırdan küçük olmalıdır. Ekserji verim denklemleri içinde benzer durum söz konusu olacaktır.

Çizelge 3.3 DID sistemleri için enerji ve ekserji verimleri ve dengeleri

Açıklama	Enerji Denklemi	Ekserji Denklemi
Depolama veya alt-prosesleri için genel enerji ve ekserji dengeleri	$Q_c - (Q_d + Q_r) = \Delta E$ $Q_r = \sum_{j=1}^3 Q_{r,j}, \Delta E = \sum_{j=1}^3 \Delta E_j$	$A_c - (A_d + A_r) - I = \Delta B$ $I = \sum_{j=1}^3 I_j, A_r = \sum_{j=1}^3 A_{r,j}, \Delta B_r = \sum_{j=1}^3 \Delta B_j$
Şarj Depolama Deşarj Periyotları için enerji ve ekserji dengeleri	$Q_c - Q_{r,1} = \Delta E_1$ $-Q_{r,2} = \Delta E_2$ $-(Q_d + Q_{r,3}) = \Delta E_3$	$A_c - A_{r,1} - I_1 = \Delta B_1$ $-A_{r,2} - I_2 = \Delta B_2$ $-(A_d + A_{r,3}) - I_3 = \Delta B_3$
İlk ve son haller için enerji, ekserji dengeleri	$\Delta E = E_f - E_i, \Delta E_j = E_{f,j} - E_{i,j}$ <p>burada $E_{i,1} = E_i,$ $E_{i,2} = E_{f,1}, E_{i,3} = E_{f,2}, E_{f,3} = E_f.$</p>	$\Delta B = B_f - B_i, \Delta B_j = B_{f,j} - B_{i,j}$ <p>burada $B_{i,1} = B_i,$ $B_{i,2} = B_{f,1}, B_{i,3} = B_{f,2}, B_{f,3} = B_f.$</p>
Çevreye saygılı özel hal için enerji içeriği	$E^R = E - E_0$ $\Delta E = (E_f - E_0) - (E_i - E_0) =$ $E_f^R - E_i^R, \Delta E_j = (E_{f,j} - E_0) -$ $(E_{i,j} - E_0) = E_{f,j}^R - E_{i,j}^R$	
Genel enerji ve ekserji verimleri	$\eta = Q_d/Q_c = 1 - [(Q_r + \Delta E)/Q_c]$ $\eta = (Q_d + \Delta E)/Q_c = 1 - (Q_r/Q_c)$ $\eta = Q_d/(Q_c + E_i^R) = 1 -$ $[(Q_r + E_f^R)/(Q_c + E_i^R)]$ $\eta = (Q_d + E_f^R)/(Q_c + E_i^R) =$ $1 - [Q_r/(Q_c + E_i^R)]$	$\psi = A_d/A_c = 1 - [(A_r + I + \Delta B)/A_c]$ $\psi = (A_d + \Delta B)/A_c = 1 - [(A_r + I)/A_c]$ $\psi = A_d/(A_c + B_i) = 1 -$ $[(A_r + I + B_f)/(A_c + B_i)]$ $\psi = (A_d + B_f)/(A_c + B_i) =$ $1 - [(A_r + I)/(A_c + B_i)]$

Şarj periyodu için enerji ve ekserji verimleri	$\eta_1 = \Delta E_1 / Q_c = 1 - (Q_{r,1} / Q_c)$ $\eta_1 = E_{f,1}^R / (Q_c + E_{i,1}^R) = 1 - [Q_{r,1} / (Q_c + E_{i,1}^R)]$	$\psi_1 = \Delta B_1 / A_c = 1 - [(A_{r,1} + I_1) / A_c]$ $\psi_1 = B_{f,1} / (A_c + B_{i,1}) = 1 - [(A_{r,1} + I_1) / (Q_c + B_{i,1})]$
Depolama periyodu için enerji ve ekserji verimleri	$\eta_2 = (\Delta E_1 + \Delta E_2) / \Delta E_1 = 1 - (Q_{r,2} / \Delta E_1)$ $\eta_2 = E_{f,2}^R / E_{i,2}^R = 1 - (Q_{r,2} / E_{i,2}^R)$	$\psi_2 = (\Delta B_1 + \Delta B_2) / \Delta B_1 = 1 - [(A_{r,2} + I_2) / \Delta B_1]$ $\psi_2 = B_{f,2} / B_{i,2} = 1 - [(A_{r,2} + I_2) / B_{i,2}]$
Deşarj periyodu için enerji ve ekserji verimleri	$\eta_3 = Q_d / (\Delta E_1 + \Delta E_2) = 1 - (Q_{r,3} + \Delta E) / (\Delta E_1 + \Delta E_2)$ $\eta_3 = (Q_d + \Delta E) / (\Delta E_1 + \Delta E_2) = 1 - [Q_{r,3} / (\Delta E_1 + \Delta E_2)]$ $\eta_3 = Q_d / E_{i,3}^R = 1 - [(Q_{r,3} + E_{f,3}^R) / E_{i,3}^R]$ $\eta_3 = (Q_d + E_{f,3}^R) / E_{i,3}^R = 1 - (Q_{r,3} / E_{i,3}^R)$	$\psi_3 = A_d / (\Delta B_1 + \Delta B_2) = 1 - (A_{r,3} + I_3 + \Delta B) / (\Delta B_1 + \Delta B_2)$ $\psi_3 = (A_d + \Delta B) / (\Delta B_1 + \Delta B_2) = 1 - [(A_{r,3} + I_3) / (\Delta B_1 + \Delta B_2)]$ $\psi_3 = A_d / B_{f,2} = 1 - [(A_{r,3} + I_3 + B_{f,3}) / B_{f,2}]$ $\psi_3 = (A_d + B_{f,3}) / B_{f,2} = 1 - [(A_{r,3} + I_3) / B_{f,2}]$

Aşağıdaki örnek performans analizlerinin ve bilhassa ekserji analizlerinin önemini vurgulamak ve Çizelge 3.3'ün kullanımı hakkında bilgi vermek için sunulmuştur (Dinçer, 1998).

1) Çevre sıcaklığının 25 °C olduğu iki DID sistemi olan X ve Y yi düşünelim. Her biri 80 °C den 30 °C ye soğuyan 500 kg lık su akımından 104 650 kJ luk ısı enerjisi almaktadır. Şarj periyodunda her depo ünitesi için depo edilen ısı girdisi $Q_i = m_i \times c_p \times \Delta T = 104650 \text{ kJ}$, X sistemi için: Bir gün sonra, deşarj periyodunda 4500kg lık su akısının sıcaklığının 30 dan 35 °C çıkarılmasıyla 94 185 kJ luk ısı geri kazanılmış olur. $Q_0 = m_0 \times c_p \times \Delta T = 94185 \text{ kJ}$. Enerji verimliliği: $\eta_x = Q_0 / Q_i = 0,9$. Depolama esnasında çevreye kaybolan ısı: $Q_r = Q_i - Q_0 = 10465 \text{ kJ}$. Y Sistemi için: Y depolama sistemi için, deşarj periyodunda geri kazanılan ısı, enerji verimi ve çevreye kaybolan ısı da benzer biçimde değerlendirilebilir. Y depolama sistemi ısıyı 90 gün boyunca depolasın, 500 kg lık su akısını sıcaklığını 30 dan 75°C a çıkararak 94 185 kJ lik ısıyı geri kazansın. Enerji verimliliği için yapılan hesaplamalar $Q_0 = m_0 \times c_p \times \Delta T = 94185 \text{ kJ}$, Y sistemi için enerji verimi X sisteminin verimiyle aynı değerde olacaktır, $\eta_x = Q_0 / Q_i = 0,9$. Depolama esnasında çevreye kaybolan ısı ise, $Q_r = Q_i - Q_0 = 10465 \text{ kJ}$. Sonuç olarak termodinamiğin birinci yasasını göz önüne alarak hesaplamaları yaptığımızda her iki sisteminde enerji verimi aynı çıkmaktadır, nevarki Y depolama sistemi, ısıyı tek gün yerine 90 gün depolayarak ve su sıcaklığını 35 °C yerine kullanımı daha kolay bir sıcaklık olan 75 °C çıkararak göz ardı edilemeyecek, yüksek bir

performans farkı yaratmaktadır. Eğer DID in gerçek faydası makul temeller çerçevesinde ekonomik değerlerin optimizasyonu için hesaplanacaksa, enerji verimlerinin sağladığı karşılaştırma değerlerinden daha iyi sonuç verecek değişik bir büyüklüğe ihtiyaç duyduğumuz apaçık ortadadır. O zaman DID sistemlerinin etkinliğinin ölçüsü olan ekserji verimini tanımlamak gereklidir. Geri kazanılabilen depolanmış toplam enerjinin yüzdesi olarak tanımlanabilen verimlilik geri kazanılan enerjinin kalitesini (kullanılabilirliğini) dikkate almaz. Bu yüzden daha önceden de belirtildiği gibi ideal performans ölçüsünü oluşturamaz. Ekserji verim ifadesinin daha iyi bir ölçü olacağı ortadadır.

2) Daha önce incelediğimiz X ve Y DID sistemlerini ele alalım. Benzer haller için ekserji analizleri aşağıda yapılmıştır. Ekserji verimleri Çizelge 3.3'teki denklemlerden kolaylıkla bulunabilir. Şarj periyodundaki ekserji değişimi şu şekilde bulunacaktır. X sistemi için: Deşarj periyodunda ekserji değişimi X sistemi için aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$A_0 = m_0 C_p [(T_1 - T_2) - T_0 (\ln(T_1 / T_2))] = 2310,18 kJ$$

$$A_i = m_j C_p [(T_1 - T_2) - T_0 (\ln(T_1 / T_2))] = 9386,88 kJ. \text{ X depolaması için ekserji verimi ise}$$

$$\psi_x = A_0 / A_i = 0,25. \text{ Y sistemi için: } A_0 = m_0 C_p [(T_1 - T_2) - T_0 (\ln(T_1 / T_2))] = 7819,52 kJ,$$

$$\psi_y = A_0 / A_i = 0,83. \text{ Örnekte görüldüğü gibi farklı depolama periyoduna sahip bu iki}$$

depolama sistemi içinde enerji verimleri aynıdır ve değeri 0,90 olarak saptanmıştır. Yani termodinamiğin birinci kanunu bu iki ayrı DID sisteminin iki değişik depolama periyodu için farklarını göstermede yeterli değildir. Bu ihtiyacı gidermek için ekserji daha kullanışlı bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu iki depolama sisteminden birinin seçimi ekserji analizlerinin sonuçlarına bakılarak kolaylıkla yapılabilir. Ekserji verimi X sistemi için 0,25 ve y sistemi için 0,83 olarak saptanmıştır. Bu sonuç Y DID sisteminin X'e göre daha yüksek sıcaklık derecesi sağlayarak ısının geri kazanılabilme imkanlarını çoğaltmasından kaynaklanmaktadır. Ekserji analizlerinin sağladığı avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir; DID sistemindeki ısının kullanılabilirliğindeki kayıp hakkında, kütle ve enerjinin korunma prensibiyle birlikte dizayn ve analiz hedefleri için termodinamiğin ikinci kanununu kullanarak, daha doğru bir rapor sunar. DID sistemlerinde performans, kayıplar ve verim ele alındığında enerji analizine kıyasla daha anlamlı ve kullanışlı bilgiler verir. DID sisteminin işletilmesi esnasındaki ekonomik ve termodinamik değerleri daha doğru verir. Varolan ünitelerdeki verimsizlikleri düşürerek daha verimli bir DID sistemi dizaynının ne kadar mümkün olup olamayacağı hakkında bilgi veren etkili bir tekniktir (Dinçer, 1998)

Rosen (2001) enerji analizleriyle beraber ekserji analizlerinin DID sistemlerine yapılmasının

önemini ifade etmiştir. Termodinamik, enerjinin birinden bir diğerine dönüşümünü tarif eden sistemlerin davranışını, performansını ve verimini inceler. Geleneksel termodinamik analizleri enerjinin dönüşümü prensibini ifade eden termodinamiğin birinci kanununu esas alır. Bir enerji dönüşüm sistemine yapılan enerji analizleri aslında giren ve çıkan enerjinin çeşitli yöntemlerle hesaplanmasıdır. Çıkan enerji ürün ve artık olarak ikiye ayrılabilir. Verimlilikler genelde enerji miktarlarının oranları olarak tarif edilirler ve genelde sistemlerin karşılaştırılmasında ve değer biçilmesinde kullanılırlar. Örneğin geleneksel ısı depolamada çoğunlukla enerji verimlilikleri ile kıyaslama yapılır. Ne var ki, enerji verimlilikleri sistemin performansının ideale ne kadar yaklaştığına dair bir ölçü sağlayamadığından çoğunlukla yanıltıcıdır. Ayrıca, sistemin içinde oluşan termodinamiksel kayıplar (ki bu kayıplar sistem performansını idealinden uzaklaştırır) enerji analizleriyle tam olarak tanımlanamaz ve değer biçilemezler. Enerji analizlerinin sonuçları sistemin yanlış bölümleriyle birlikte temel verimsizlikleri ve olandan daha farklı bir teknolojik verimliliği gösterirler. Ekserji analizleri enerji analizlerine ait noksanlıkların birçoğunun üstesinden gelirler. Ekserji analizleri termodinamiğin ikinci kanununu esas alır ve proses verimsizliklerinin nedenlerini, yerini ve büyüklüğünü tanımlamada faydalıdır. Ekserji, enerji miktarıyla birleştiğinde fayda veya kalitesinin nicel değeri belirlenecektir. Ekserji analizleri enerjinin yoktan var edilemediğini, ve vardan yok edilemediğini kabul etmekle beraber, enerjinin miktarca küçülebileceğini varsayar sonucunda da çevresiyle tümüyle dengeye gelmiş bir hal alır ki buda ilerde sistemden bir fayda elde edilemez anlamına gelir. Bu durum IED sistemleri için hayati önem taşır öyle ki, termodinamiksel perspektiften, enerji girdisinin depolanmasından sonra olabildiğince fazla ısı enerjinin çevreye enerji kaybı olmadan geri kazanımı sağlanmak istenir. IED sistemleri için ekserji analizleri bir kimsenin, gelen ısı enerjisiyle maksimum potansiyelin nasıl elde edeceğini kararlaştırmasını sağlar. Sistem tersinir karakterli olmaya doğru ilerledikçe maksimum değer elde edilir ve geri kazanılır. Çevrenin ve sistemin sıcaklıkları eşit olduğu hallerde faydalı enerji ve ekserji eldesi yoktur. Ekserji geri kazanımında oluşacak potansiyel kayıplar ise hep olur çünkü sistemler gerçek dünyada hep tersinmezdir. Aslında, ekserji analizleri IED için teorik limitleri belirler, hiçbir gerçek sistem ısı ekserjiyi koruyamaz sadece bir kısmını geri kazanabilir. Ayrıca ekserji analizleri kayıpları direk ölçüyü vererek uygulamalı IED limitlerini belirler. Genel katmanlı DID sistemleri için enerji ve ekserji formülleri aşağıda belirtildiği gibidir.

IED sistemlerinde enerji E , ekserji ϵ tüm depolama sıvısı kütlesi m nin integrasyonu ile bulunabilir.

$$E = \int_m e dm \quad (3.2)$$

$$\varepsilon = \int_m \xi dm \quad (3.3)$$

e özgül enerjiyi, ξ özgül ekserjiyi gösterir. İdeal sıvılarda e ve ξ sadece sıcaklık T'nin fonksiyonudur ve aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$e(T) = c(T - T_0) \quad (3.4)$$

$$\xi(T) = c[(T - T_0) - T_0 \ln(T/T_0)] = e(T) - cT_0 \ln(T/T_0) \quad (3.5)$$

Depolama sıvısı özgül ısısı c ve referans çevre sıcaklığı T_0 burada sabit kabul edilmiştir.

Tek boyutlu katmanlı, örneğin sıcaklık değişiminin sadece dikey doğrultuda h yüksekliğinin değişimiyle olduğu, H yüksekliğinde bir IED ele alalım. IED te yatay kesit alanının sabit kaldığı varsayalım. Kütlenin yatay elemanın dm nin değişiminin ortalaması,

$$dm = \frac{m}{H} dh \quad (3.6)$$

olacaktır. Sıcaklık sadece yüksekliğin bir fonksiyonu iken ($T=T(h)$) (3.4) ve (3.5) denklemleri aşağıdaki gibi düzenlenebilir:

$$e(h) = c(T(h) - T_0) \quad (3.7)$$

$$\xi(h) = e(h) - cT_0 \ln(T(h)/T_0) \quad (3.8)$$

(3.6) denkleminin yardımıyla (3.2) ve (3.3) denklemlerini düzenlersek

$$E = \frac{m}{H} \int_0^H e(h) dh \quad (3.9)$$

$$\varepsilon = \frac{m}{H} \int_0^H \xi(h) dh \quad (3.10)$$

(3.7) denkleminin yardımıyla E denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$E = mc(T_m - T_0) \quad (3.11)$$

$$T_m = \frac{1}{H} \int_0^H T(h) dh \quad (3.12)$$

IED sıvısının tam karıştığı zamanda T_m IED sıvısının sıcaklığını verir. Sabit T_m sıcaklığındaki tam karışmış bir tankın enerjisi E_m , sabit sıcaklıktaki (3.4) denkleminin yardımıyla ve (3.2) denklemiyle aşağıdaki biçimde yazılabilir:

$$E_m = mc(T_m - T_0) \quad (3.13)$$

Tam karışmış deponun enerjisi olan E_m , enerjinin dönüşümü prensibiyle katmanlı deponun enerjisi E ye eşit olacaktır.

$$E = E_m \quad (3.14)$$

(3.11) (3.13) (3.14) denklemleri incelendiğinde görülecektirki T_m karışmış IED sıvısının sıcaklığını vermektedir.

(3.8) denklemi yardımıyla (3.10) denklemi aşağıdaki hali alacaktır.

$$\varepsilon = E - cmcT_0 \ln(T_e / T_0) \quad (3.15)$$

T_e ise

$$T_e \equiv \exp \left[\frac{1}{H} \int_0^H \ln T(h) dh \right] \quad (3.16)$$

T_e katmanlı IED ile aynı ekserjiye sahip olan karışmış IED in sıcaklığına eşittir. Genelde $T_e \neq T_m$, T_e IED teki katmanlaşma derecesine bağlıyken, T_m katmanlaşma derecesine bağlı değildir. Aslında $T_e = T_m$ IED in tam karışma durumundaki ulaşılan limit durumdur (3.3)(3.5)(3.13)(3.14) denklemlerinden ekserjinin yazılmasıyla bu durum rahatlıkla görülebilir.

$$\varepsilon_m = E_m - mcT_0 \ln(T_m / T_0) \quad (3.17)$$

Tam karışmış ve katmanlı IED sistemlerinin ekserji farkı (3.15) ve (3.17) denklemleriyle aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$\varepsilon - \varepsilon_m = mcT_0 \ln(T_m / T_e) \quad (3.18)$$

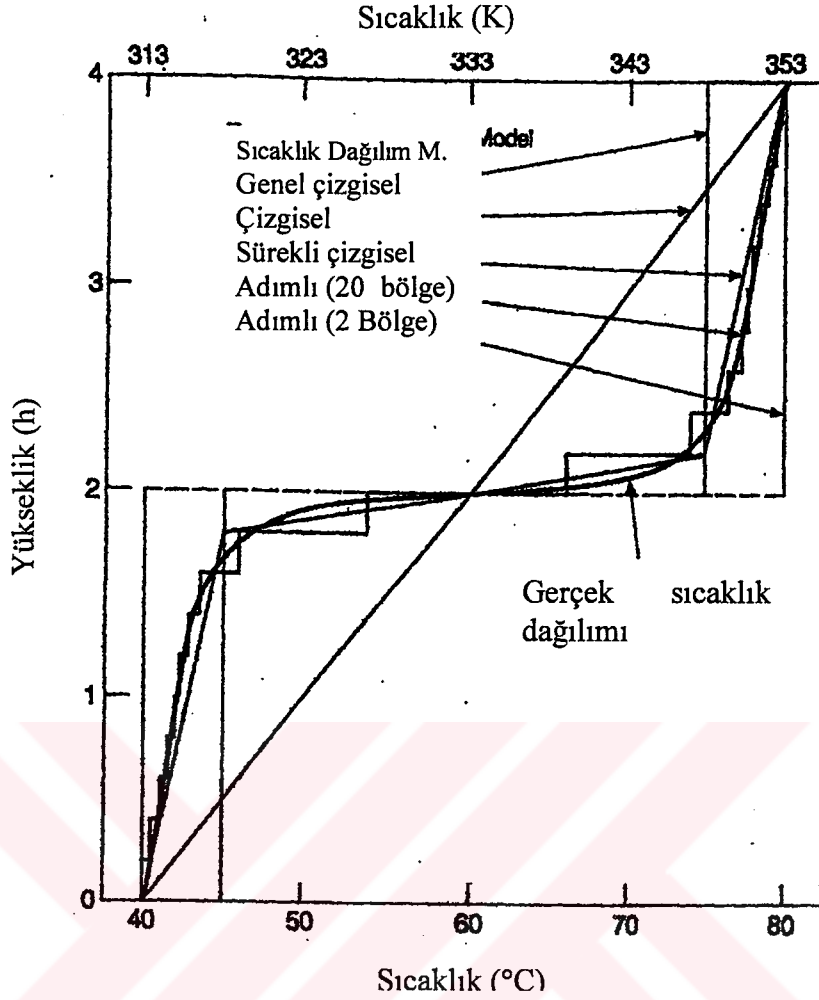
(3.18) denklemiyle tanımlanan fark her zaman negatif olacaktır. Değişik sıcaklıklardaki

sıvıların karıştırılmasında veya sıcaklık farkının sağlanması için gerekli minimum işte oluşan enerji tüketimi her zaman pozitif olacaktır.

IED in merkezinden itibaren oluşan sıcaklık dağılımı simetrik iken,

$$\frac{T(h)+T(H-h)}{2}=T(H/2) \quad (3.19)$$

Karışmış sıcaklık T_m her zaman IED in tavan ve taban sıcaklıklarıyla eşit olacaktır. Depodaki sıcaklık dağılımını saptamamız için Rosen (2001) katmanlaşmalı depolar için altı değişik sıcaklık dağılım modelini makalesinde formülleriyle beraber açıklamıştır. Bu altı sıcaklık dağılım modelinde gerçek sıcaklık dağılımının karşılaştırılmasında ekipmanlar ve esneklik bakımlarından avantajları ve dezavantajları vardır. Altı sıcaklık dağılım modelinin(S.D.M.) adları ve özellikleri şöyledir; 1) Çizgisel sıcaklık dağılım modeli: hazırlıklar basittir fakat gerçek sıcaklık dağılım yaklaşımında yeterli esnekliği gösteremez. 2) Adımlı S.D.M. 3) Sürekli çizgisel S.D.M. ve 4) Genel çizgisel S.D.M. ise bu esnekliği gösterirler. Eğer bölgeler yeterince küçük seçilirse gerçek sıcaklık eğrisine yakın bir eğri elde edilebilir. Fakat bu modeller bölge sayısı çoğaldıkça hesaplamalar bakımından karmaşıktır. Adımlı modele göre sürekli ve genel çizgisel modeller daha az bölgeye ihtiyaç duyarlar fakat formülleri ve hesaplamaları daha karmaşıktır. Birçok durum için üç bölgeli sıcaklık dağılım modeli sonuçların doğruluğu, bilgisayar ortamında kolay hesaplanabilmesi fiziksel bilgi edinme ve bunun gibi daha birçok yönden en iyi modeldir. Üç bölgeli modellerde hem hazırlıklar hem de esneklik bakımlarından birçok IED sıvısına ait sıcaklık katmanlarının (alt ve üst bölgelerde sıcaklık hemen hemen aynı kalırken orta bölgelerde gerçek anlamda sıcaklık değişimleri olacaktır) hesabında iyidir. Modellenen deponun orta bölgesinde ısıl karışımın tersinmezlik etkisinden ısıl difüzyon oluşacaktır. 5) Temel üç bölgeli model daha kolayken 6) genel üç bölgeli model daha kesin sonuçlar verir. Karışmadan önce ve sonra depolamadaki toplam enerji (deponun iki ayrı kısmındaki enerjilerin toplamı) eşit kalırken, toplam ekserji karışmadan önce daha büyük bir değere sahip olmaktadır. Sonuç olarak karışma prosesinin tersine çevirmek istediğimizde depoya enerji vermemize gerek yoktur fakat ekserji vermek gerekmektedir. Sadece $T_1=T_2$ iken ekserji değişimi sıfırdır (eğer aynı sıcaklıktaki iki akışkan karıştırılırsa ekserji tüketimi olmayacaktır). Makalede açıklayıcı sayısal bir örnek üzerinde çalışılmıştır. Sonuçlar Şekil 3.7 ve Çizelge 3.4 te verilmiştir.



Şekil 3.7 Sıcaklık dağılımları

Çizelge 3.4 teki sonuçlar aşağıdaki noktaların saptanmasını sağlamıştır:

- Ekserji değerleri yüksek değerler almakla birlikte, enerjiden küçüktürler. Bu da Çevre sıcaklığının depolama sıcaklığına yakın olduğunda kalitesiz ve kullanışsız olduğunun ispatıdır.
- Değerler T_e , ε ve $\varepsilon - \varepsilon_m$ ile değişirken T_m , E_m , ε_m ile değişmemektedir.

Değerlerin doğruluk kontrolü;

- Sayısal integrasyonla elde edilen sonuçların sıcaklık dağılım modelleriyle elde edilen sonuçların karşılaştırılması gerekmektedir.

$$\%yanılma = ((\text{değer}) - (\text{sayısal simülasyon değeri})) / (\text{sayısal simülasyon değeri}) \quad (3.20)$$

Bölge sayısı arttıkça gerçek sıcaklık dağılımı ve modellerden elde edilen sıcaklıkların karşılaştırılması için gereken işlem sayısı artmaktadır. Bu sebepten sayısal integrasyon

metodu Çizelgenin oluşturulmasında tüm modellere uygulanmıştır. Genel üç bölgeli modelin doğruluk ve kullanım kolaylığı bakımından iyi olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.4 Katmanlaşma örneğindeki sonuçlar

	Sıcaklık Dağılım Modeli						Sayısal İntegrasyonla elde edilmiş sonuçlar.
	Çizgisel	Genel Çizgisel	Adımlı k=200 k=20 k=2			Sürekli çizgisel*	
T_m (K)	333,00	333,00	333,00	333,00	333,00	333,00	333,00
T_e (K)	332,80	332,54					
E (MJ)	2090	2090	2090	2090	2090	2090	2090
E_m (MJ)	2090	2090	2090	2090	2090	2090	2090
$E-E_m$ (MJ)	0	0	0	0	0	0	0
ϵ (MJ)	172,5	181,8	181,4	181	186,7	180,7	181,4
ϵ_m (MJ)	165,4	165,4	165,4	165,4	165,4	165,4	165,4
$\epsilon-\epsilon_m$ (MJ)	7,1	16,4	16	15,6	21,3	15,3	16,0
%yanılma T_e	0,075	-0,030	0,000	0,003	0,045	0,006	-
%yanılma ϵ	-4,9	2	0,0	-0,2	-2,9	-0,4	-
%yanılma $\epsilon-\epsilon_m$	-55,6	22,5	0,0	-2,5	33,1	-4,4	-

Ekserji değerleri enerji değerlerinden farklı olarak katmanlaşmayla değişirler ve katmanlaşmanın avantajlarını ortaya çıkarırlar. Enerji ve ekserji hesaplamalarında yukarıda açıklanan modeller dikey katmanlaşmış depolar içindir. Sonuç doğruluğu ve kolay hesaplama ikilemi içinde en uygun model üç bölgeli olanlardır. Bir ID sisteminde katmanlaşmanın kullanımı ekserjiyi artırabilir (Rosen,2001).

Rosen (1999) IED sistemi performans ölçümü gerektirdiğine ve bu performans ölçümünün akılcı, anlaşılabilir, pratik olması gerektiğine dikkat çekmiştir. Verimliliği temel alan ekserji oranları akılcı ve mantıklı performans ölçüleri sağlarlar. Bu ölçüler bir sistemin ne kadar yararlı ve teoriye ne kadar yaklaştığını belirlerler. 100°C den 90°C ye soğuyan depodan elde edilen 100kJ lük ısı bir depodan bir başka depoya transfer edilir. Daha sonra 100 kJ lük ısı sıvıyı 20°C den 30°C ye çıkarmak için başka bir depoya transfer edilir. Enerji verimliliği %100 olmasına rağmen ısıtılan su sadece 30°C dir ve de bunun çok az kullanışlılığı vardır. Bu örnekte ekserji verimliliği %8.2 dir. IED sistemlerindeki toplam enerji kaybı çevreye kaybolan ısı ve ekserjinin kendi içindeki kayıplarının toplamına eşittir. Tabakaların etki değerlerinin saptanması enerji analizlerine nazaran ekserji analizlerinde daha çok

* Bu durum genel üç bölgeli sıcaklık dağılım modeliyle aynıdır.

kullanılmaktadır. Tabakalaşma daima ekserji verimliliğini arttırmaktadır, fakat enerji verimliliğini her zaman arttırmamaktadır. YIED sistemleri için enerji ve ekserji analizlerini de yapan Rosen (1999) aşağıdaki denklemlerin kullanımının uygun olacağını belirtmiştir.

$$E = \int_1 \dot{E}(t) dt \quad (3.21)$$

Zamana bağlı integre ettiğimiz bu denklemde, herhangi bir andaki enerji akışı

$$E = \dot{m}c \int_1 (T(t) - T_0) dt \quad (3.22)$$

olarak ifade edilebilir. Aynı şekilde ekserjiyi ifade edersek.

$$\varepsilon = \int_1 \dot{\varepsilon}(t) dt \quad (3.23)$$

$$\varepsilon = E - \dot{m}cT_0 \int_1 \ln(T(t)/T_0) dt \quad (3.24)$$

çıkar.

Şarj sırasında YIED'e verilen enerji, $\dot{m}c$ hızı ile giren su ve zaman t_c ye gitmekteyse,

$$E_c = \dot{m}c \int_{t=0} (T_c - T_0) dt = \dot{m}_c t_c (T_c - T_0) \quad (3.25)$$

ekserji kazancı

$$\varepsilon_c = \dot{m}c t_c [(T_c - T_0) - T_0 \ln(T_c / T_0)] \quad (3.26)$$

veya

$$\varepsilon_c = E_c - \dot{m}c t_c T_0 \ln(T_c / T_0) \quad (3.27)$$

ile ifade edilir.

YIED'ten deşarj sırasında çıkan kütle m_d ile gösterilir sıfırdan başlayan zaman dilimi ise t_d ile gösterilir.

$$E_d = \dot{m}_d c \int_{t=0}^{t_d} (T_d(t) - T_0) dt = \dot{m}_d c [T_d(0) - T_0] \tau (2t_r - \tau) / (2t_r) \quad (3.28)$$

burada

$$\tau = \begin{cases} t_d, & 0 \leq t_d \leq t_f \\ t_f, & 0 \leq t_d \leq \infty \end{cases} \quad (3.29)$$

ekserji içinse aşağıdaki denklemler yazılabilir.

$$\int_{t=0}^{t_d} \ln(T_d(t)/T_0) dt = \int_{t=0}^{t_d} \ln(at+b) dt = [(a\tau+b)/a] \ln(a\tau+b) - \tau - (b/a) \ln b \quad (3.30)$$

$$\begin{aligned} a &= [T_0 - T_d(0)] / (T_0 t_f) \\ b &= T_d(0) / T_0 \end{aligned} \quad (3.31)$$

$$\int_{t=0}^{t_d} \ln(T_d(t)T_0) dt = t_r \left[\frac{T_d(0)}{T_d(0) - T_0} \ln \frac{T_{cl}(0)}{T_0} - 1 \right] \quad (3.32)$$

olarak gösterilebilir.

Bir şarj-deşarj çevriminde enerji: Giren enerji= geri kazanılan enerji+ kayıp enerji olarak ifade edilebilir. Ekserjide: Giren ekserji= geri kazanılan ekserji+ kayıp ekserji olarak yazılabilir. Sonsuz zamanda enerjinin geri kazanım katsayısına f dersek

$$f = \frac{t_f \dot{m}_d (T_d(0) - T_0)}{2t_c \dot{m}_c (T_c - T_0)} \quad (3.33)$$

Burda $0 < f < 1$ değer alacaktır. Bir YIED için enerji verimliliği η , boşaltma zaman periyodunun bir fonksiyonu olarak

$$\eta_d(t_d) \frac{E_d(t_d)}{E_c} = \frac{m_d(T_d(0) - T_0)}{\dot{m}_c(T_c - T_0)} \frac{\tau(2t_f - \tau)}{2t_f t_c} \quad (3.34)$$

ekserji verimliliği ise ψ :

$$\psi(t_d) = \varepsilon_d(t_d) / \varepsilon_c \quad (3.35)$$

olarak ifade edilebilir. Enerji verimliliği sonsuz zamanda $f=1$ iken %100 olarak bulunabilirken ekserji verimi karışımın etkisiyle her zaman %100 ün altındadır. Pratikte, maksimum enerji geri kazanımını sağlayana dekdeşarj zamanını devam ettirmek ekonomik olarak uygun değildir. Çünkü süre uzadıkça yer altı suyu sıcaklığı çevre sıcaklığına yaklaşacaktır bu da faydalı enerjinin azalmasına sebebiyet verecektir. Uygundeşarj zamanını

belirleyebilmek için Threshold derecesi T_t devreye girer. Treshold sıcaklığı deşarj sıcaklığından büyük olduğunda hiçbir ısı enerji geri kazanımı olmayacaktır.

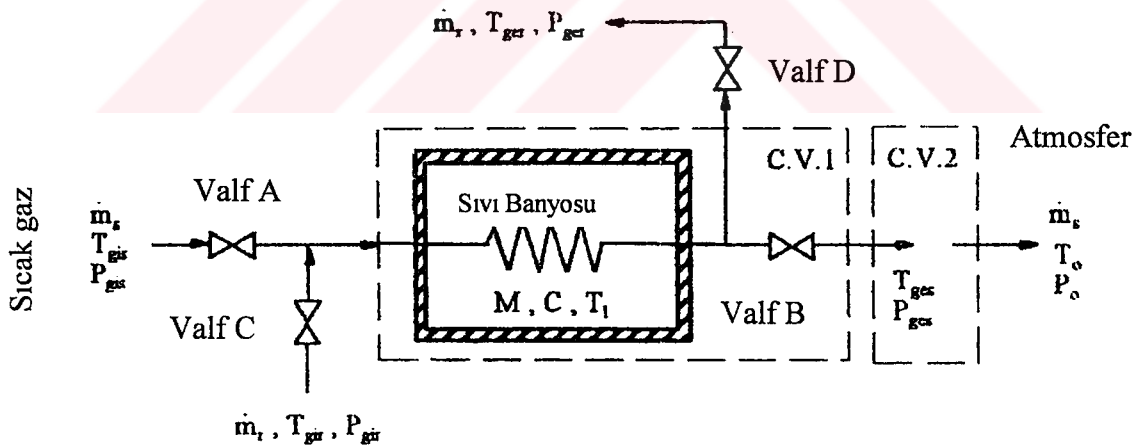
$$t_d = \begin{cases} \frac{T_d(0) - T_t}{T_d(0) - T_0} t_f, & T_0 \leq T_t \leq T_d(0); \\ 0, & T_d(0) \leq T_t \end{cases} \quad (3.36)$$

pratikte threshold derecesi deşarj süresinin üst limitini belirlemeye yaramaktadır (Rosen, 1999).

Bıyıkoglu ve Yüncü (2001) sistemdeki tersinmezlikleri en aza indirgeyecek optimum şartların bulunması için termodinamiğin ikinci kanununu bir DID sistemine uygulamıştır. Çalışma ve dizayn parametrelerinin tersinmezliğe etkileri üzerinde durulmuştur. Çalışma parametreleri iki grupta incelenmiştir. Depolama prosesi ve deşarj prosesi. Her iki prosesi içinde enerji verimi

$$\eta = \left(\frac{\tau_s}{(T_i - T_0)/T_0} \right)^{-1} \ln \left(\frac{\beta}{(T_i - T_0)/T_0} \right)$$

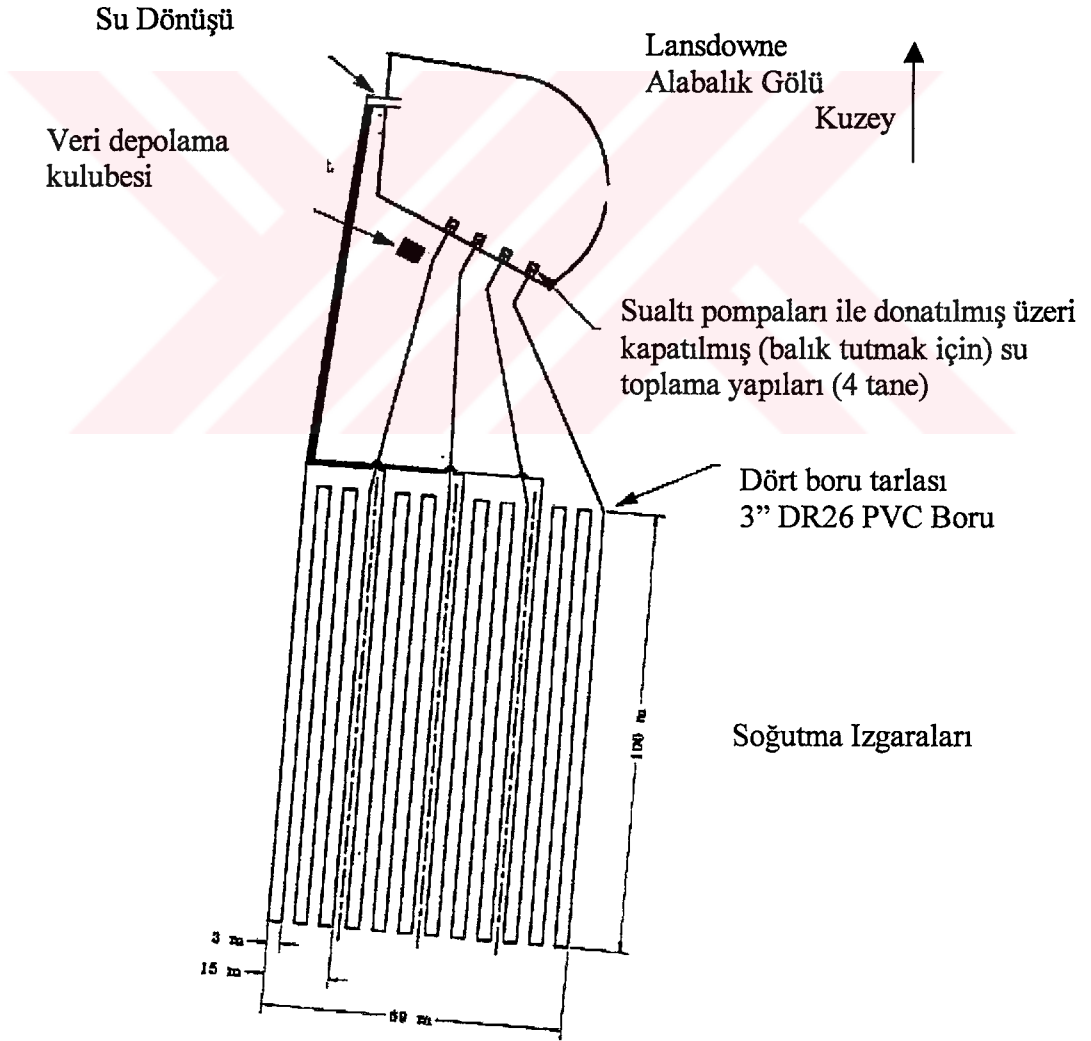
ile ifade edilebilir. Burada τ_s boyutsuz gaz akımı giriş sıcaklığı, β ise ısı eşanjörüne ait bir değişkendir. Ekserji verimi şarj için $\Psi_c = 1 - (\epsilon_{cv1} - \epsilon_{cv2})/E_{gis}$ ile ifade edilmektedir. Deşarj içinse $\Psi_d = 1 - (\epsilon_d)/(\epsilon_f - \epsilon_i)$ olarak verilmiştir.



Şekil 3.8 DID sisteminin şematik görünümü

Şekil 3.8 geniş izolasyonlu sıvı banyosu ve içindeki c özgül ısısına sahip faz değiştirmeyen sıvı malzemeden oluşur. Depolama prosesinde A ve B valfleri açıktır. Sıcak gaz sıvı banyosundan eşanjör vasıtasıyla geçerken soğur ve B valfinden atmosfere bırakılır. Sıcak gaz ısı eşanjöründen geçerken T_1 ve T_{ges} sıcak gazın giriş sıcaklığına T_{gis} ulaşırlar. Depolama prosesi sıvının istenilen sıcaklığa T_{is} ulaşmasına kadar devam edecektir. Bu anda A ve B

valfleri kapanacak C ve D valfleri açılacaktır. Böylece deşarj başlayacaktır. Soğuk gaz C valfinden geçecek ardından sıvı banyosunun eşanjöründe ısınacak ve D valfinden sistemi terk edecektir. Sisteme yapılan birinci kanun analizi göstermektedir ki yüksek verim elde edebilmek için depolama boyutları büyütülmelidir fakat bu durum maliyetleri arttıracaktır. Ayrıca ısı kaynağı olan gazında debisi artırılmalıdır. Proseslerin çok yavaş gerçekleşmesi gerekmektedir veya ısı eşanjörü sonsuz büyüklükte olmalıdır. Bunlar gerçek hayatta imkansızdır. İkinci kanun analizi en iyi çalışma şartlarında bile kullanılabilir ısının %50 den azının depolanabileceğini göstermektedir. Depolanan ekserjinin deşarj esnasında %62 den fazlası kullanılamaz. Toplam çevrim verimi %70 lere ulaşabilir. Sistem endüstride pratikte kullanmak için yetersizdir ve verimi artıracak yeni çalışmalar yapılmalıdır (Bıyıkoğlu ve Yüncü, 2001).



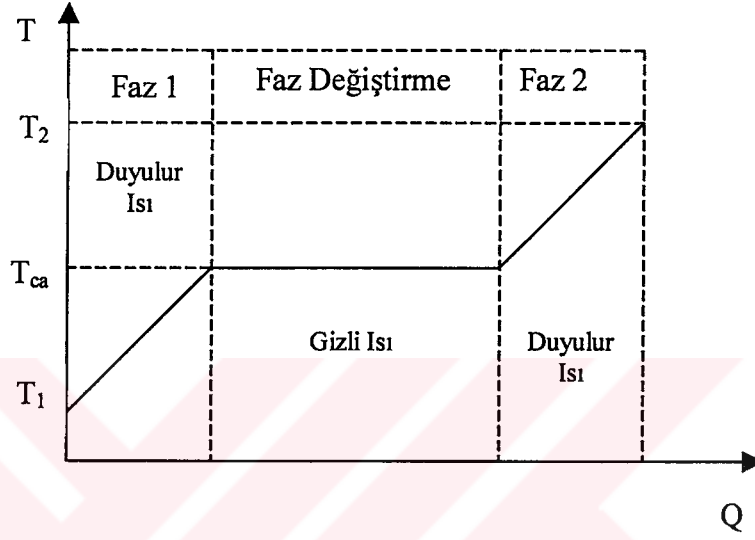
Şekil 3.9 Lansdowne alabalık gölü ve DID sistemi

DID sistemlerinin çeşitli uygulamalarda kullanabildiğine dair iyi bir örneği de Blanchard (2000) vermiştir. Blanchard (2000) yazısında alabalık üretiminin su sıcaklığının kontrolüyle çok alakalı olduğuna değinmiş ve Lorda gölündeki bitki örtüsünün dolayısıyla alabalık sayısının sıcaklık düşüşüyle azalmasını engellemek için düşünülen DID sisteminden bahsetmiştir. Sistem Şekil 3.9 da gösterildiği gibi toprak yüzeyinden aşağı inen birçok borunun belirli aralıklarla enlemesine ve boylamasına konulmasıyla sağlanmıştır. Bu sistem toprak ile göl suyu sıcaklığı arasındaki farktan yararlanmakta ve borular büyük bir ısı eşanjörü görevini görmektedir. 14000 m² alan üzerine 1,5 m derinliğe inen borularla Şekil 3.9 düzeninde yerleştirilmiştir. Su sıcaklığı düştüğünde toprak depoladığı ısıyı suyun sıcaklığını yükseltmek için kullanacak, arttığında ise azaltmak için kullanacaktır.



4. GİZLİ ISI DEPOLAMA

Bir maddenin sıcaklığı aynı kalırken fiziki yapısını (katı sıvı veya gaz halinde oluşunu) değiştiren ısı miktarına gizli ısı denir. Malzeme faz değiştirme esnasında belirli miktarda ısıyı sıcaklığını değiştirmeden absorbe eder. Eğer bu malzeme saklanır ve süreç tersine çevrilirse daha önce absorbe edilen ısı yine belirgin sıcaklık değişiklikleri olmadan serbest kalacaktır [2].



Şekil 4.1 FDM lerde sıcaklık – ısı enerjisi bağıntısı

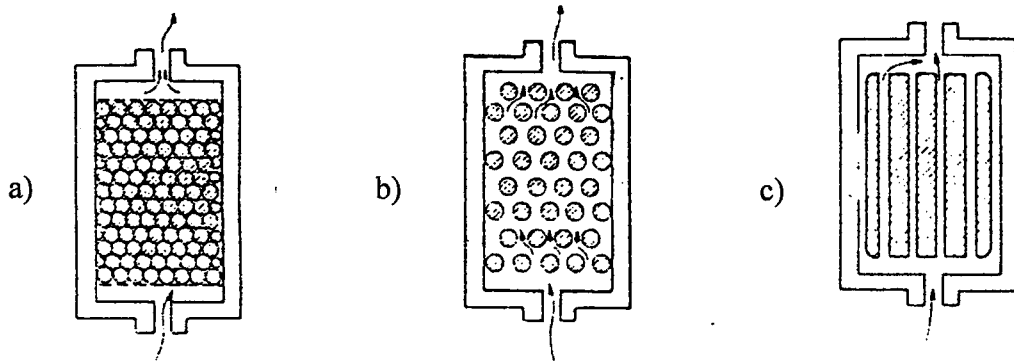
Faz değiştiren malzemelerin (FDM) depolama kapasitesi “faz değiştirme sıcaklığındaki faz değiştirme entalpisi+ depolama sıcaklık aralığındaki duyulur ısı kazancı” olarak ifade edilir (Lund, 2000). DID sistemlerinin en büyük kusurlarından biri olan büyük hacim gereksinimleri gizli ısı depolama (GID) sistemleriyle azaltılabilir. Faz değiştiren malzemelerle kayalar kıyas edildiğinde beşte bir ile dokuzda da bir, suyla kıyas edildiğinde yarı yarıya depolama hacminde azalmalar sağlanabilir. Gizli ısı depolama sistemlerinde malzemenin fusion ısısından yararlanır. GID sistemlerinin çözüm bekleyen problemleri ise; büyük ısı transfer alanı gereksinimi, faz ayrıştırma, istenmeyen erime, aşırı soğuma, bozulma, hacim değişimleri, fazla maliyettir. Düşük sıcaklık GID sistemlerinde şu malzemeler genelde kullanılır; organik bileşikler (parafin wax, yağ asitleri ve stearic asit), inorganik bileşikler (Glauber tuzu gibi hydrate tuzları ve eutectic-hydrate tuz karışımları). Orta ve yüksek sıcaklık GID sistemlerinde kullanılabilecek çeşitli FDM ler vardır. Fakat burada dikkat edilmesi gereken kimyasalların depo üzerindeki artan korozif etkisi ve kimyasalların çevrimler sonrasında bozulmaya uğramasıdır (izolasyon kalınlığı fazla olmalıdır). Buharlaşma gizli

ısının kullanıldığı GID sistemlerinde geniş hacimlerde buharı saklamak maliyeti oldukça artıracaktır. Genel kanı basınçlı su ile buharı direk temas ettirmek suretiyle suyu ısıtan ve buharın basıncını düşürerek sonradan kullanıma hazır eden buhar akümülatörlerinin kullanımınıdır (Fath, 1998).

GID sistemleri FDM nin kimyasal bağlarından yararlanarak ısı depolar ve bırakır. Isıl enerji transferi faz değişimi esnasında gerçekleşir. DID sistemlerinin tersine FDM nin sıcaklığı faz değişim sıcaklığına yükseldiğinde kendi sıcaklığı yükselmeden büyük miktarlarda ısı depolayabilir [5]. FDM ler katı-katı, sıvı-gaz, katı-sıvı faz değişimlerine uğrayarak depolama sağlayabilirler (Hasnian, 1997).

- Katı – katı GID sistemlerinde FDM aynı fazda kalarak gizli ısı depolayabilir. Malzeme sadece biraz yumuşar veya sertleşir. Katı-Katı GID sistemlerine uygun fusion ısısı ve dönüşüm sıcaklığına sahip sadece birkaç malzeme vardır.
- Sıvı-gaz GID sistemleri yüksek fusion ısısına sahip olmalarına rağmen, faz değişimi esnasındaki büyük hacim değişimleri pratikte uygulamalar için problem yaratmaktadır [5].
- Sıvı –katı GID sistemleri en çok kullanılan sistemlerdir. Katı-sıvı sistemleri fazla hacim değişimine uğramadan geniş malzeme yelpazesinde yüksek ısı depolama imkanı sağlarlar (Hasnian, 1997).

Bazı FDM ler sıvı haldeyken ayrışır ve katmanlaşırlar ve buyüzden düzgün bir şekilde katılaşamazlar. Bu durum FDM nin gizli ısısının tamamen kullanılamaması anlamına gelir. Bu durum FDM lerin ince ve sığ depolar içine kümeleştirilmesiyle (paketlenmesiyle) azaltılır. Ayrıca FDM lerin içine inceltici ve toplayıcı katkı maddeleri eklenir. FDM lerde en iyi verim, FDM ler 25,4 mm lik tüpler içinde bir depo içine kümeleştirilerek elde edilmektedir. Kümeler arasından su geçmemeli ve sızıntı, korozyon olmamalıdır. Çelik ve polietilen çok kullanılan paketleme elemanlarıdır [5].



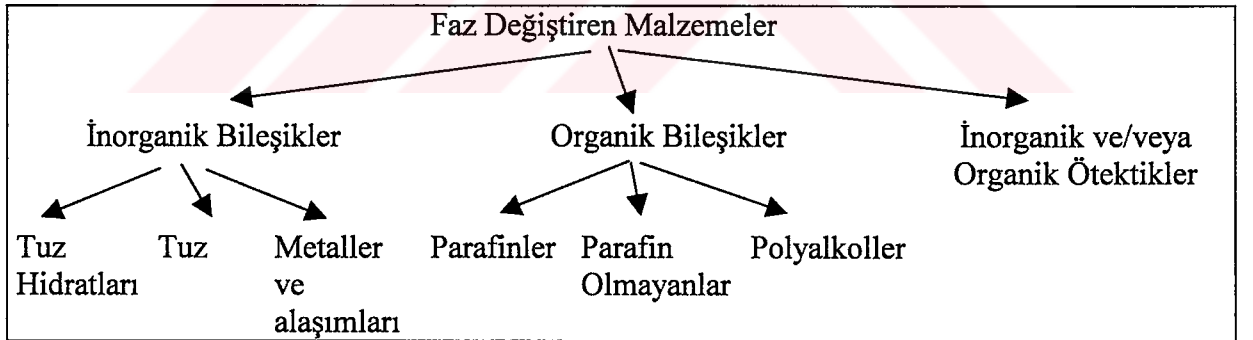
Şekil 4.2 Tipik FDM depolama üniteleri. a) PB ünitesi b) ST ünitesi c) TB ünitesi .

Buchlin (1998), tipik FDM depolama ünitelerini Şekil 4.2 gibi göstermiştir. PB ünitesi 25 mm lik küresel polietilen topların paketlenip (sıkıştırılıp) 0,2 m çaplı ve 0,5 m yükseklikteki silindir içine sıkıştırılmasıyla oluşur. Topların içinde FDM vardır. ST ünitesinde 13 PVC çubuktan oluşan 25 yatay sıra vardır. TB ünitesi PB ünitesi deposuna benzer depo içine konmuş 0,0053 m çaplı 0,95 m uzunluktaki 37 SS-tüpüyle donatılmıştır.

Hasnian (1997) GID sistemlerinde depolama malzemesinin ve ısı eşanjörlerinin önemine dikkat çekmiştir. GID sistemleri sabit sıcaklıkta depolama malzemesinin fusion gizli ısısını kullanarak yüksek yoğunluk ve kapasitede ısı depolayabilir. GID sistemleri en az aşağıdaki üç temel bileşenden oluşur:

- İstenilen çalışma sıcaklığı aralığında katı – sıvı faz değişimini tamamlayabilen ve ısı kaynağından gelen enerjinin ana kısmı gizli fusion ısısı olarak depolayabilen bir FDM,
- Depolama malzemesini saklayabilecek bir depo,
- Isı kaynağından FDM ye, FDM den de ihtiyaç duyulan bölgeye ısı transferini sağlayacak eşanjör.

Isıtma ve soğutma amaçlı kullanılacak çeşitli sıcaklık aralıklarında çalışabilen birçok FDM vardır. Bunlardan bazıları Çizelge 4.1 de belirtilmiştir. FDM lerin sınıflandırılması ise Şekil 4.3 de verilmiştir.



Şekil 4.3 FDM'lerin sınıflandırılması

Çoğu tuz hidrati ucuzluğu dolayısıyla tercih edilir. Tuz hidratlarının aşırı soğuma ve faz ayrışması problemleri vardır. Parafinler yüksek fusion ısısı, ihmal edilebilir aşırı soğuma, düşük buhar basıncı, kimyasal kararlılık, faz ayrışmasının olmayışı, kolay ve ucuza temin gibi FDM lerde olması istenen birçok özelliği taşırlar. Dezavantajları düşük ısıl iletkenlik ve faz değişiminde karşılaşılan büyük hacim değişimleridir. Saf parafinler çok pahalıdır. Bu sebepten GID sistemlerinde teknik dereceli parafinler kullanılır. Bu parafinlerin keskin bir

Çizelge 4.1 FDM'lerin çalışma sıcaklık aralıkları

Sıcaklık Aralığı (°C)	Malzeme	Geçiş Sıcaklığı (°C)	Fusion ısısı (kJ/kg)
0 -100	Su	0	335
	Parafin	20-60	140-280
	Tuz hidratı	30-50	170-270
100 – 400	AlCl ₃	192	280
	LiNO ₃	250	370
	Na ₂ O ₂	360	314
400 – 800	50LiOH/50LiF	427	512
	KclO ₄	527	1253
	LiH	699	2678
800 - 1500	LiF	868	932
	NaF	993	750
	MgF ₂	1271	936
	Si	1415	1654

erime noktasından çok erime sıcaklık aralığı vardır. Parafin olmayan organikler arasında yağ asitleri, ester, alkol ve glikol gibi çeşitli organik malzemeler vardır. Yağ asitleri iyi fusion ısısına, aşırı soğuma olmadan uygulanabilirliğe ve erime noktasına sahiptirler. Ana problem fiyatlarının pahalı olmasıdır. Çizelge 4.2 bazı yağ asitlerinin özelliklerini vermektedir.

Çizelge 4.2 Bazı yağ asitlerinin termofiziksel özellikleri

Bileşim	Erime Noktası (°C)		Gizli Isı (kJ/kg)	
Capric Asit	31,3		163	
Lauric Asit	42-44		178	
Myristic Asit	54	58	190	200
Palmitic Asit	62	63	164	212
Stearic Asit	69	70	199	209

Ötektikler, kesin erime ve donma noktasına sahip iki veya daha fazla tuzun karışımından elde edilir. Çizelge 4.3 ve 4.4 bazı ötektiklerin özelliklerini vermektedir. Tuz – seramik sistemleri ısı eşanjörü gerektirmeden depolamaya olanak sağlayan duyulur/gizli ısı melez depolama teknolojisi olarak geliştirilmektedir. GID sistemleri FDM nin ısıl iletkenliğine ve depolama prosesine göre özel dizayn edilmiş ısı eşanjörüne sahip olmalıdır.

Termokimyasal ısıl enerji depolama sistemlerine nazaran düşük olan verimlerine rağmen, uygulamalardaki sıcaklık serbestliği GID sistemleri için avantajdır. 0-120°C ve 100-350 kJ/kg aralığındaki düşük sıcaklık IED sistemi uygulamaları için geniş bir FDM yelpazesi

Çizelge 4.3 Bazı organik ötektiklerin termokimyasal özellikleri

Organik Ötektikler	Erime Noktası (°C)	Fusion Isısı (kJ/kg)
Lauric-Capric	18	120
Lauric-Palmitic	33	145
Lauric-Stearic	34	150
Palmitic-Stearic	51	160

Çizelge 4.4 Bazı inorganik ötektiklerin termokimyasal özellikleri

İnorganik Ötektikler	Erime Noktası (°C)	Fusion Isısı (kJ/kg)
(%49,3) MgCl ₂ .6H ₂ O+(%50,7) Mg(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	58	132,3
(%32,5)Na ₂ SO ₄ +(%41,4)H ₂ O+(%6,66)NaCl+(%6,16)NH ₄ Cl	13	146
(%61,5)Mg(NO ₃) ₂ .6H ₂ O+(%38,5)NH ₄ NO ₃	51	131,3
(%58,3)Mg(NO ₃) ₂ .6H ₂ O+(%41,7)MgCl ₂ .6H ₂ O	58	106
CaCl ₂ .6 H ₂ O+CaBr ₂ 6H ₂ O	14	140

vardır. Çizelge 4.5 düşük ısı iletkenlik katsayısıyla (0,2 W/mK) karakterize edilen bazı parafinlerin ısı özelliklerini vermektedir. Kristalleşme proseslerinde aşırı soğuma olmaz. Fakat plastikleri eritme eğilimleri ve yanıcı bir malzeme oluşu parafinlere olan ilgiyi azaltır. Çizelge 4.6 de GID sistemlerine uygun bazı hidrat tuzlarının listesi vardır. Bu bileşiklerin temel avantajları; yüksek ısı kapasiteleri, düşük maliyetle kolay tedarik edilebilme, parafinlere nazaran daha yüksek ısı iletkenlik. Kristalleşme süresince aşırı soğuma karakteristiği gösterirler (Buchlin, 1998). Çizelge 4.7'de çeşitli firmalarca ısı enerji depolama amaçlı üretilmiş FDM'lerin termofiziksel özellikleri verilmiştir [3].

Su DID sistemlerinde en çok kullanılan malzemedir. Su ucuzdur, iyi ısı transfer karakteristiğine sahiptir. Fakat düşük enerji depolama kabiliyetinden dolayı büyük depolama hacmine ihtiyaç duyar. Suyun bir dezavantajı da depolama sıcaklığının büyük bir aralıkta değişim göstermesidir. FDM ler ise yüksek enerji depolama kabiliyetine sahiptir ve depolama sıcaklığı çok küçük bir aralıkta değişim gösterir. FDM nin erimesi çok küçük bir sıcaklık aralığında olduğu için ısı pompası sabit şartlarda çalışacaktır. Sonuç olarak ısı pompası performans katsayısı (COP) su depolu durumdan daha yüksek olacaktır (Sarı ve Kaygusuz, 2001).

Çizelge 4.5 Bazı parafinlerin termofiziksel özellikleri

Parafin ²	C Atomunun Dağılımı	Yağ İçeriği (%)	Donma Noktası (°C)	Fusion Isısı		Yoğunluk (kg/dm ³)		Özgül Isı (100°C) (kJ/kg°C)	Isıl İletkenlik (W/m°C)
				(kJ/kg)	(kJ/dm ³)	20°C	70°C		
-	C14	-	4,5	165	-	-	-	-	-
-	C15-C16	-	8	153	-	-	-	-	-
5913 ^(*)	C13-C24	20	22-24	189	144	0,900	0,760	2,1	0,21
OCTODECANE	C18	0	28	244	189	0,814	0,774	2,16	0,15
6106 ^(*)	C16-C28	5	42-44	189	145	0,910	0,765	2,1	0,21
P116 ^(**)	-	-	45-48	200	165	0,817	0,786	2,5	-
5838 ^(*)	C20-C33	<0,5	48-50	189	145	0,912	0,769	2,1	0,21
6035 ^(*)	C22-C45	4	58-60	189	150	0,920	0,795	2,1	0,21
6403	C23-C45	<0,5	62-64	189	150	0,915	0,790	2,1	0,21
6499 ^(*)	C21-C50	3	66-68	189	157	0,930	0,830	2,1	0,21

Çizelge 4.6 Bazı tuz hidratlarının termofiziksel özellikleri

Malzeme	Erime Noktası (°C)	Fusion Isısı		Yoğunluk (kg/dm ³)	Özgül Isı ³ (kJ/kg°C)		Isıl İletkenlik (W/m°C)		
		(kJ/kg)	(kJ/dm ³)		(K)	(S)	(K)	(S)	
KF.4H ₂ O	18,5	231	336	1,455 1,447	18°C 20°C	1,84 2,39	(K) (S)	Bulunamadı	
CaCl ₂ .6 H ₂ O	29,7	171	256	1,710 1,496	25°C (S)	1,45	(K)	Bulunamadı	
Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	32,4	254	377	1,485	(K)	1,93	(K)	0,544 32°C	
Na ₂ HPO ₄ .12H ₂ O	35,0	281	405	1,520 1,442	(K) (S)	1,70 1,95	(K) (S)	0,514 0,476	32°C 49°C
Zn(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	36,4	147	304	2,065	14°C	1,34 2,26	(K) (S)	Bulunamadı	
Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O	48,0	201	322	1,73 1,67	(K) (S)	1,46 2,39	(K) (S)	Bulunamadı	
Ba(OH) ₂ .8H ₂ O	78,0	267	581	2,18	(K)	1,17	(K)	Bulunamadı	
MgCl ₂ .6H ₂ O	116,0	165	239	1,57 1,442	20°C 78°C	1,72 2,82	(K) (S)	Bulunamadı	

² (*) Teknik dereceli parafinlerin üreticisi : TER HELL PARAFFIN, Hamburg, FRG

(**) Parafin üreticisi : SUN OIL COMPANY, USA.

³ (K) : Katı, (S) : Sıvı

Çizelge 4.7 Ticari FDM'lerin termofiziksel özellikleri

FDM	Tipi	Erime N.	Isı	°C	Isı	Yoğunluk	°C	Yoğunluk	°C	Üretici
		°C	kJ/kg		kJ/l	kg/l		kg/l		
E117		117	169		245	1,45				EPS Ltd
RUBITHERM® RT 100	Gizli ısı parafin	99	168	91/106	158	0,94	15	0,77	130	RUBITHERM GmbH
RUBITHERM® RT 90	Gizli ısı parafin	90	194	82/97	180	0,93	15	0,77	100	RUBITHERM GmbH
E89		89	163		253	1,55				EPS Ltd
TH89	Tuzhidrat	89	149		229	1,54				TEAP
RUBITHERM® PX 80	Gizli ısı toz	77	91	70/85	58	0,64	15			RUBITHERM GmbH
RUBITHERM® GR 80	Gizli ısı tanecik	79	71	71/86	53	0,75	15			RUBITHERM GmbH
RUBITHERM® FB 80	Gizli ısı lifli kalas	79	132	71/86	99	0,75	15			RUBITHERM GmbH
RUBITHERM® RT 80	Gizli ısı parafin	79	175	71/86	161	0,92	15	0,77	100	RUBITHERM GmbH
PCM72	Salzhidrat/Salz Eutektikum	72	0		290	0				Merck KGaA
ClimSel C 70		70	194		330	1,7				Climator
RUBITHERM® RT 65	Gizli ısı parafin	64	173	56/71	157	0,91	15	0,79	70	RUBITHERM GmbH
ClimSel C 58		58	364	45/75	531	1,46				Climator
E58		58	226		289	1,28				EPS Ltd
TH58	Tuzhidrat	58	226		291	1,29				TEAP
STL55 (Sodiumacetatetrihydrate)	Tuzhidrat	55	242		312	1,29				Mitsubishi Chemical
Mitsubishi tescilli	Tuzhidrat	55	242		312	1,29				Cristopia
RUBITHERM® FB 54	Gizli ısı lifli kalas	55	135	46/61	101	0,75	15			RUBITHERM GmbH
RUBITHERM® RT 54	Gizli ısı parafin	55	179	46/61	161	0,90	15	0,76	70	RUBITHERM GmbH
RUBITHERM® GR 54	Gizli ısı tanecik	55	72	46/61	54	0,75	15			RUBITHERM GmbH
STL52 (Sodiumacetatetrihydrate)	Tuzhidrat	52	201		261	1,3				Mitsubishi Chemical

E48		48	201		336	1,67				EPS Ltd
ClimSel C 48		48	324	35/65	441	1,36				Climator
STL47 (Sodiumacetatetrihydrate eut.)	Tuzhidrat	47	221		297	1,34				Mitsubishi Chemical
Mitsubishi tescilli	Tuzhidrat	47	221		297	1,34				Cristopia
RUBITHERM® RT 42	Gizli ısı parafin	43	174	36/51	153	0,88	15	0,76	70	RUBITHERM GmbH
RUBITHERM® GR 41	Gizli ısı tanecik	43	63	35/50	47	0,75	15			RUBITHERM GmbH
RUBITHERM® FB 41	Gizli ısı lifli kalas	43	117	35/50	88	0,75	15			RUBITHERM GmbH
RUBITHERM® RT 41	Gizli ısı parafin	43	152	35/50	134	0,88	15	0,76	70	RUBITHERM GmbH
RUBITHERM® PX 41	Gizli ısı toz	43	96	35/50	61	0,64	15			RUBITHERM GmbH
RUBITHERM® RT 36	Gizli ısı parafin	36	159	27/42	140	0,88	15	0,76	70	RUBITHERM GmbH
RUBITHERM® RT 35	Gizli ısı parafin	35	157	27/42	138	0,88	15	0,76	70	RUBITHERM GmbH
ClimSel C 32	Tuzhidrat	32	302	20/50	438	1,45				Climator
E32		32	186		272	1,46				EPS Ltd
RUBITHERM® RT 32	Gizli ısı parafin	31	130	23/38	114	0,88	15	0,76	70	RUBITHERM GmbH
E30		30	201		262	1,3				EPS Ltd
TH29	Tuzhidrat	29	188		290	1,54				TEAP
RUBITHERM® RT 27	Gizli ısı parafin	28	179	19/34	156	0,87	15	0,75	70	RUBITHERM GmbH
RUBITHERM® GR 27	Gizli ısı tanecik	28	72	19/34	54	0,75	15			RUBITHERM GmbH
RUBITHERM® PX 27	Gizli ısı toz	28	112	19/34	72	0,64	15			RUBITHERM GmbH
A28		28	245		193	0,79				EPS Ltd
S27	Tuzhidrat	27	207		304	1,47				Cristopia
STL27 (Calciumchloride hexahydrate)	Tuzhidrat	27	213		232	1,09				Mitsubishi Chemical
RUBITHERM® RT 26	Gizli ısı parafin	25	131	15/30	115	0,88	15	0,76	70	RUBITHERM GmbH

ClimSel C 24	Tuzhidrat	24	216	15/45	320	1,48				Climator
A22		22	220		171	0,775				EPS Ltd
RUBITHERM® RT 20	Gizli ısı parafin	22	172	11/26	150	0,87	15	0,75	70	RUBITHERM GmbH
E21		21	150		222	1,48				EPS Ltd
		20								TEAP
ClimSel C 15		15	130		0	0				Climator
E13		13	140		245	1,78				EPS Ltd
Mitsubishi tescilli		13	0		0	0				Cristopia
E10		10	140		213	1,52				EPS Ltd
Mitsubishi tescilli		9	0		0	0				Cristopia
RUBITHERM® RT 6	Gizli ısı parafin	8	174	-3/12	150	0,86	-15	0,77/0,73	15/70	RUBITHERM GmbH
E8		8	140		206	1,47				EPS Ltd
A8		8	220		170	0,77				EPS Ltd
RUBITHERM® RT 5	Gizli ısı parafin	7	156	-5/10	134	0,86	-15	0,77/0,73	15/70	RUBITHERM GmbH
E7		7	120		185	1,54				EPS Ltd
ClimSel C 7		7	162	0/30	230	1,42				Climator
TH 7		7	189							TEAP
RUBITHERM® RT -2	Gizli ısı parafin	6	214	-10/5	184	0,86	-15	0,77/0,73	15/70	RUBITHERM GmbH
A4		4	227		174	0,766				EPS Ltd
TH 0		0	334							TEAP
RUBITHERM® RT -7	Gizli ısı parafin	-3	165	-15/0	142	0,86	-15	0,77/0,73	15/70	RUBITHERM GmbH
SN03	Tuz çözeltisi	-3	328		331	1,01				Cristopia
STL-3 (sodiumcarbonate çözeltisi)	Tuz çözeltisi	-3	328		331	1,01				Mitsubishi Chemical
TH-4		-4	286							TEAP

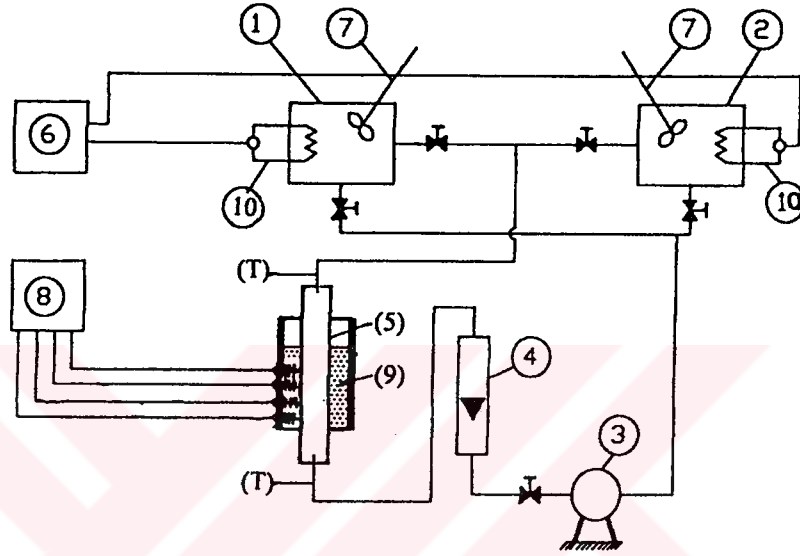
SN06	Tuz çözeltisi	-6	284		304	1,07				Cristopia
STL-6 (potassiumhydrogencarbonate çözeltisi)	Tuz çözeltisi	-6	284		304	1,07				Mitsubishi Chemical
TH-10		-10	283							TEAP
SN10	Tuz çözeltisi	-11	310		341	1,11				Cristopia
STLN10 (Pottasiumchloride çözeltisi)	Tuz çözeltisi	-11	271		284	1,05				Mitsubishi Chemical
SN12	Tuz çözeltisi	-12	306		324	1,06				Cristopia
SN15	Tuz çözeltisi	-15	311		317	1,02				Cristopia
STL-16 (ammoniumchloride çözeltisi)	Tuz çözeltisi	-16	0		0	0				Mitsubishi Chemical
TH-16		-16	289							TEAP
SN18	Tuz çözeltisi	-18	268		324	1,21				Cristopia
STL-21 (sodiumchloride çözeltisi)	Tuz çözeltisi	-21	240		269	1,12				Mitsubishi Chemical
SN21	Tuz çözeltisi	-21	240		269	1,12				Cristopia
TH-21		-21	222							TEAP
SN26	Tuz çözeltisi	-26	268		324	1,21				Cristopia
SN29	Tuz çözeltisi	-29	233		268	1,15				Cristopia
TH-31		-31	131							TEAP
SN33	Tuz çözeltisi	-33	245		304	1,24				Cristopia

Marin vd. (2001) deneysel sonuçlarla elde edilen FDM lerin termofiziksel özelliklerinin saptanmasındaki zorlukları aşağıdaki gibi sıralamıştır. Bu zorlukları aşmak için geliştirilen modellerden bahsetmişlerdir.

- Bazı termofiziksel özellikler FDM nin miktarına bağlı olmasına karşın deneysel analizler küçük miktarlardaki FDM ler ile yapılır.

- Analiz ekipmanları karmaşık ve pahalıdır.
- Faz değişimi tam görünür olarak elde edilemez.

Sarı ve Kaygusuz (2001) stearic asidin ısı performansını ve faz değişim kararlılığını deneysel şartlarda saptamışlardır. Bunun için aşağıdaki deney düzeneği (Şekil 4.4) kullanılmıştır. Dik bir silindirdeki stearic asidin içine tek ve dik bir boru ısı eşanjörü görevi yapmak üzere sokulmuştur. Erime ve katılaşma sürelerince ısı transfer oranları ölçülmüştür.



Şekil 4.4 Cihazın şematik diyagramı;

(1) Soğuk su deposu, (2) sıcak su deposu, (3) pompa, (4) Akım ölçer, (5) Isı eşanjörü, (6) sıcaklık kontrolörü, (7) karıştırıcı, (8) veri kaydedicisi, (9) FDM, (10) Isıtıcı

Eşanjörden FDM ye transfer olan ısının büyük bir kısmı doğal taşınım ile olmuş ancak, küçük bir kısmı iletim ve taşınım ile gerçekleşmiştir. Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde stearic asit depolama için uygun bir FDM dir. Uygun erime noktası (60-61 °C), %90 saflık oranı ve yüksek gizli ısı 186,5 kJ/kg vardır. Erime ve katılaşma süreleri ısı transfer akışkanının akış oranıyla ilgili değildir. Buddhi ve Sharma (1999) sıvı faz stearic asidin şeffaflığının aynı kalınlıktaki camdan fazla olduğunu göstermiştir. Bu şeffaflığı ve düşük ısı iletkenliği sayesinde ticari dereceli stearic asit, güneş enerjili ısıtma uygulamalarında transparan izolasyon malzemesi olarak kullanılabilir (Sarı ve Kaygusuz, 2001).

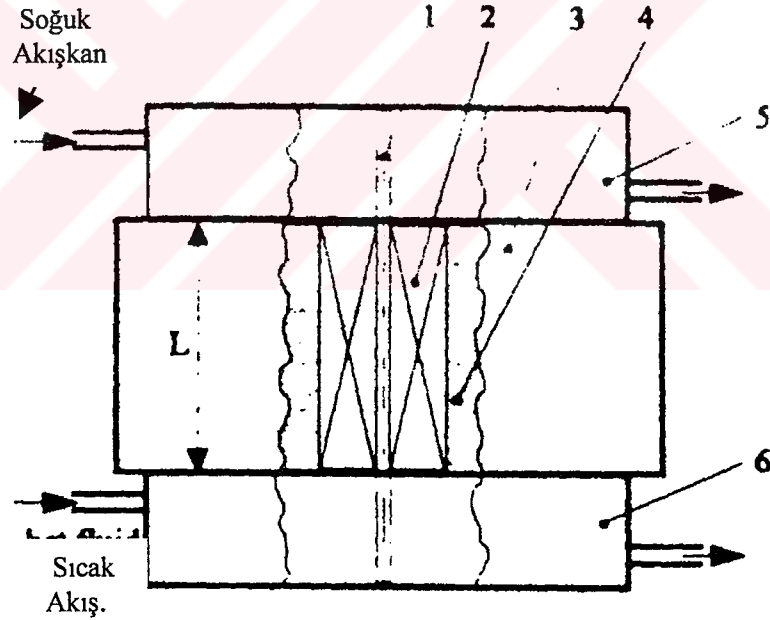
Organik kimyasalların uzun erime donma çevrimleri boyunca kimyasal bir değişime uğramadıkları tespit edilmiştir (Mazman vd., 1999). Güneş ışınımı enerjisinin yaklaşık %50'si görünür spektral aralıkta oluşur. İnsan gözünün hassas olduğu dalga boyu aralıkları güneş

ışınımının maksimum olduğu yerle örtüşür. Bu yüzden seçilecek kimyasal maddenin sadece ısı depolama kapasitesi yüksek olmamalı, aynı zamanda absorpsiyon ve geçirgenlik verilerinin de uygun olması gerekiyor. Suyun ışık geçirgenliği insan gözüyle uyum gösterdiği için olabildiğince çok su içeren kimyasalların kullanılması uygun olacaktır (Manz vd., 1997).

Setterwall (2000), GID sistemlerinde karşılaşılan zorlukları şöyle sıralamıştır:

- İstenilen sıcaklık aralığında kullanılabilir FDM bulma zorlukları
- Kütle ve ısı transfer limitleri
- Faz ayrışması, aşırı soğuma ve diğer tersinmezliğe etki eden faktörler.
- Kurulu sistemle entegrasyonu.

Horbaniuc vd (1998) sıvı – katı GID sistemlerindeki FDM nin toplam katılma zamanını verilen yüzgeç sayısına göre bulan bir matematik modeli geliştirmişlerdir. Bu model tersten gidildiğinde istenilen sürede FDM nin katılması için gerekli yüzgeç (ısı transfer yüzeyi) sayısını da bulmaktadır.



Şekil 4.5 Isı borusu GID sistemi

Şekil 4.5'te (1) Isı boruları (2) uzunlamasına konumlandırılmış yüzgeçler (3) depolama çevrimi (4) faz değiştiren malzeme (5) yoğunlaştırıcı bölgeye gelen soğuk akışkan (6) buharlaştırıcı bölgeye güneş kolektörlerinden gelen sıcak akışkandır. Şarj esnasında sıcak akışkan buharlaştırıcı bölgesinde FDM'yi eritmek için ısı transferini sağlar. Deşarj esnasında

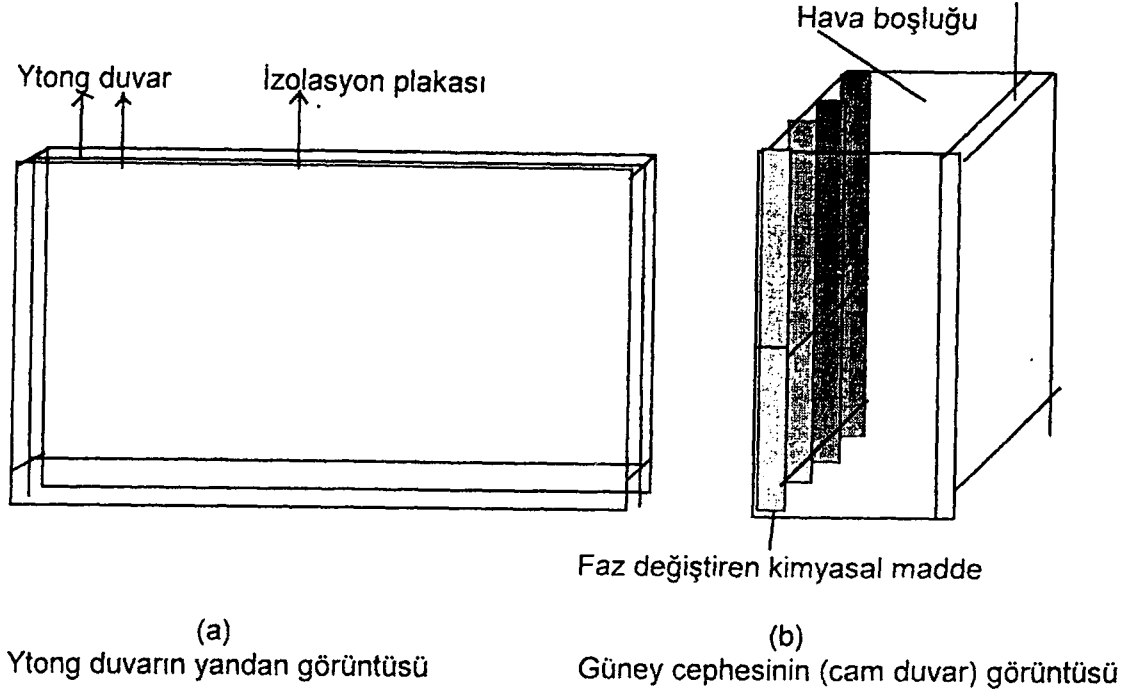
FDM depoladığı enerjiyi üst taraftan geçen soğuk akışkana verir. Şarj ve deşarj esnasında ısı hem depo edilir hem de soğuk akışkana verilir. Isı borularının avantajlarından biride aynı anda şarj ve deşarja olanak sağlamasıdır. Horbaniuc vd (1998), katılma prosesinin matematik modelini çeşitli kabuller yaparak çıkarmıştır. Bu formüller kullanılarak belirli şartlarda 6, 10, 12 yüzgeçli ısı borularındaki katılma süreci bulunmuştur. 6 yüzgeçli ısı borusu 180 dakikada katılmanın tamamlanma isteğine cevap verememiş, 10 yüzgeç istenen sürede katılmaya olanak tanımış, 12 yüzgeç 120 dakikada katılmaya olanak tanımıştır.

Paykoç ve Kakaç (1988) çalışmalarında gizli ısı depolama sistemlerinin çeşitli tipleri tanıttıktan sonra gizli ısı depolamada kullanılabilecek maddeler ve bir faz değişim maddesi için duyulan gereksinimler sıralanarak avantajları ve dezavantajları ayrıntısıyla açıklanmıştır. Ayrıca, gizli ısı depolama sistemlerinde kullanılan ısı değiştiricileri tanıtılmıştır. Son olarak, duyulur ısı depolama ve gizli ısı depolama olarak adlandırılan iki önemli depolama tekniğinin karşılaştırması yapılmıştır.

Sera içinin ısınan havasını depolama yollarından birisi de, faz değiştiren materyal kullanmaktır. Faz değiştiren materyal bir ısı depolama ortamı olarak, genellikle yeraltında çok iyi izole edilmiş bir alan üzerine yada seranın kuzey duvarına yerleştirilmektedir. Konuya ilişkin olarak yapılan bir çalışmada, faz değiştiren materyal sera çatısında çift kat polikarbonat örtülerin arasına yerleştirilmiştir ki, bu sistemin bazı konstrüksiyon zorluklarına neden olması bir dezavantaj olarak görülmektedir. Gündüz sera içindeki sıcak ve nemli hava, faz değiştiren malzemenin bulunduğu depo içinden geçirilmektedir. Isı, faz değiştiren depolama materyali tarafından absorbe edilmekte ve daha sonra kullanılmak üzere depolanmaktadır. Bu işlem esnasında malzeme faz değiştirmektedir. Gece ise seranın içindeki soğuk hava depo içinden geçirilmekte ve ısınarak tekrar seraya geri dönmesi sağlanmaktadır. Gece havanın ısıtılması esnasında meydana gelebilen yüksek nem probleminin çözülmesi, ısı pompası kullanarak sisteme nemi giderici bir işlemin monte edilmesi ile mümkündür. Faz değiştiren malzemenin etkinliğini kaybetmesi nedeniyle 1 yada 2 yılda bir değiştirilmesi gerekmektedir.(Koçar, 1997)

Gizli ısı depolama, güneş enerjisini depolamak için maddelerin faz değişimi sırasında aldıkları ve verdikleri ısıdan faydalanır. Güneş enerjisini alan madde erir ve tekrar katılırken aldığı bu enerjiyi geri verir. Böylece ortam sıcaklığı Duyulur ısının depolanmasından farklı olarak, faz değişim sıcaklığına çok yakın bir sıcaklık aralığında tutulmuş olur (Mazman vd., 1999). En genel örnek buzun suya dönüşmesidir. Faz değiştiren malzemeler (FDM) depolama için seçilmiş ortamı oluştururlar ve en bilineni Glauber Tuzu ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) dur. Faz

değişimli depolamanın performansını kanıtlamak için iki yaklaşım geliştirilmektedir. Birinci yaklaşım tuzun yüksek sıcaklığa doğru faz değiştirdiğinde, sıcaklığı değiştirmektir diğeri ise ısı pompasının kullanımına işlevsellik vermektir. Isı pompasının işlevi, GID ten ayrılan ısıнын sıcaklığını yersel enerji ihtiyacını karşılayacak sıcaklığa kadar yükseltmektir. FDM in avantajlarından biride aynı hacimdeki kayalarda depolanan ısıнын dokuz misline kadar ısı depolayabilmesidir. Bu avantaj genelde ikametgaha sonradan eklenen güneş sistemlerinde fayda sağlamaktadır. Sonradan eklemenin en önemli zorluğu güneş deposunun yerleştirilmesi ve şarj edilebilmesidir. Kaya veya su kullanan DID lerde boyut ve hacim uygulamaları sınırlandıran öğelerdir. Hafif ağırlığı ve küçük depolama hacmi FDM leri sonradan ekleme sistemler için uygun kılmaktadır. GID ler bu karakteristikleri ile küçük boşluklara, dolaplara ve hatta yer ile tavan arasına bile konumlandırılabilirler. Glauber tuzu son 30 yıldır kullanılmaktadır. Şimdi ise yeni malzemeler (örneğin yağlı asitler ve türevleri, polietilen glicol) üzerine yoğunlaşmak gerekmektedir. İlk önceleri pahalı maliyetlerinden dolayı tutulmamalarına rağmen sonraları petrol türevlerine karşı oluşan önyargı sebebiyle tercih edilmişlerdir. Fiziksel ve kimyasal kararlılıkları, iyi ısııl davranışları ve ayarlanabilir geçiş bölgeleri sayesinde daha tercih edilir olmuşlardır. Parafinler güneş ısııl uygulamalarına daha yatkındır. FDM lerin yüksek ısııl depolama yoğunluğu IED için önem arz etmektedir. FDM tabanlı ısı eşanjörleri esas alan incelemeler yapılmaktadır. Bu çalışmalar GID sistemlerinin analizi ve optimizasyonu için gerekli temeli oluşturmaktadır. FDM lerin seçiminde hiçbir malzemenin her yönden mükemmel olamayacağını göz önüne almalı ve istenilen uygulama için FDM çeşitli yönlerden özellik testlerine tabii tutulmalıdır. Sodyum asetat trihidrat büyük gizli ısıısıyla ($264-289 \text{ Jg}^{-1}$) ve erime sıcaklığıyla ($58-58,4^\circ\text{C}$) dikkat çekmektedir. Pasif direk güneş ısııl kazançlı evlerde bulunan FDM'li duvarın (Şekil 4.6) enerji dengesi, depolamadan maksimum performansın eldesi için, FDM'nin erime sıcaklığının özgül optimum sıcaklığa ayarlanması gerekmektedir. Optimum olmayan erime sıcaklığı gizli ısııl depolama kapasitesini düşürür. 1991 de geliştirilen FDM li güneş tüplerinde, güneş radyasyonu FDM tarafından absorbe edilmekte ve direkt olarak suyun ısıılmasında avantaj sağlamaktadır. Bunlar, basit yapılı, verimli ve küçük gizli ısııl depoludur, pahalı parçalardan (su tankı, sirkülasyon pompası ...) bağımsızdır, modüler konstriksiyona uygundur, donmaya karşı dayanımı istenilen düzeydedir. Termofiziksel özellikler: erime ısıısı, katı ve sıvının ısııl kapasiteleri, katı ve sıvının ısııl transferi, katı ve sıvının ısııl yoğunluğudur (Dinçer, 1999).



Şekil 4.6 Bina malzemelerine FDM eklenerek depolama sağlanması

Manz vd. (1997) kısa süreli pasif sistemler için yukarıda Şekil 4.6 da görülen yapı malzemeleri üzerlerinde çalışmışlardır. Duvarın FDM için ayrılan hacimlerine çeşitli karışımlar doldurularak deneyler yapmışlardır. Karışımların isimleri ve deney sonuçları aşağıda verilmiştir.

- Koko karışımı (erime noktası: 22-24°C): Erime noktası deneyler sırasındaki mevsim normallerinin altında olan koko karışımı günün ilk saatlerinden itibaren güneş ışınımı ve zaten yüksek olan ortam sıcaklığıyla tamamen erimiştir. Günün ilerleyen saatlerinde koko, güneş ışınımının görünür bölge dışında kalan kısmını absorblayarak duyulur ısı şeklinde depolamıştır. Gün ışığının görünür bölgedeki ışınımıysa koko tarafından tutulmadan ortama geçebilmiştir. Düzeneğin FDM'siz hali (boş) için alınan ölçümlerle kıyaslandığında koko'nun ortam sıcaklığı üzerinde beklenen olumlu etkiyi yapmıştır. Koko gün içinde aldığı ısıyla çok kısa sürede erimiş ve gece boyunca aldığı ısıyı vererek donmuştur. Boş ölçümler sırasında ortam sıcaklığı gecenin ilerleyen saatlerinde 20°C'nin altına düşmüştür. Koko donarken ise gece boyunca ortam sıcaklığı koko'nun erime-donma aralığı olan 22-24°C dolayında kalmıştır. Koko'nun miktarı artırılırsa depolayacağı ısı artacağından gündüzleri de ortam ısını ılımlı bir düzeyde tutabileceğini düşünebiliriz. Bu beklentiler başka deneylerle sınanması gerekmektedir. Bununla birlikte gün içinde de ortam sıcaklığı boş olduğu zamana kıyasla düşmüştür. Düşüşün büyük oranda olmamasını;

FDM miktarının az olması, erime noktası ve ısı depolama kapasitesinin düşük olmasıyla açıklayabiliriz. FDM gizli ısı depolamasının dışında, güneşten gelen ısıyı duyulur ısı şeklinde depolamıştır, Bu durum gün içinde ortamın sıcaklığının boş halden daha düşük, ama erime-donma aralığından daha yüksek olmasına neden olmuştur. Bir haftalık erime-donma çevrimi ölçümleri sonucunda koko'nun erime noktasında bir değişiklik olmadığı gözlenmiştir.

- Palm oil karışımı (erime noktası: 36-38°C); Adana için çalışılan mevsim normalleri palm oil'in erime noktası aralığının diğerlerinden daha uygun olduğu bir döneme rastlamaktadır. Bu durum palm oil'den daha iyi bir verim elde edebileceğimizi gösterir. Palm oil'in performansı diğerlerinden daha iyi olmakla birlikte ortam sıcaklığı erime-donma aralığının altındadır. Bu durumda pilot yapının iç ortam sıcaklık farkı boş duruma göre fazla olamamaktadır. Bu da kullanılan kimyasal maddenin az olduğunu göstermektedir. Palm oil gün içinde aldığı ışıyı ve ısıyla erimekte ve gece donarak aldığı ısıyı geri vermektedir. Fakat miktarı az olduğu için donma bittikten sonra ortam sıcaklığı üzerinde etkisini yitirmekte ve bu durumda ortam sıcaklığının erime-donma aralığının altına düşmesine sebep olmaktadır. Bununla birlikte erime-donma aralığı Adana'da çalışılan mevsim normallerine yakın olduğu için donarken ortam sıcaklığını 26°C civarında tutmaktadır. Bu da koko'nun sağlayabildiği sıcaklıktan daha yüksektir. Ama gün içinde erime noktası yüksek, miktarı az olduğu için tamamen eridikten sonra ısının ortama geçişini engelleyememektedir. Bu yüzden gün içinde pilot yapının ortam sıcaklığı yüksek olmaktadır. Bir haftalık ölçüm sonucunda, palm oil'in erime noktasında herhangi bir değişim belirlenememiştir.
- Palm stearin karışımı (erime noktası: 44-48°C): Yüksek erime noktasına sahip olan palm stearin mevsim normallerinde güneş ışıınıyla eritilemedi. Palm stearin erimemiş olmakla birlikte güneş enerjisinin bir bölümünü duyulur ısı olarak depolamıştır. Gece ortamın sıcaklığını boş ölçüme göre daha yüksek tutması bunun göstergesidir.

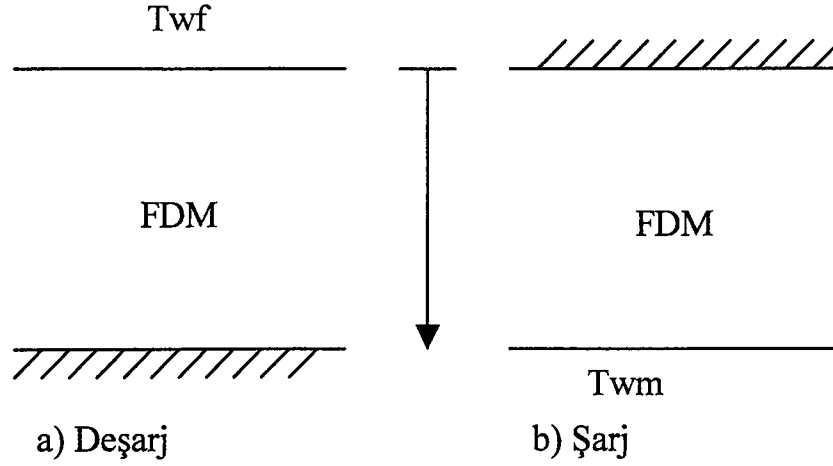
Dessoukky ve Juvayhel (1997) GID sistemi için ikinci kanun analizi geliştirmişlerdir. Metot depolama ve deşarj çevrimi için entropi oluşum sayısını (N) belirlemekle başlamaktadır. Çevrim boyunca FDM erime sıcaklığında bulunmaktadır. Entropi oluşum sayısı N çevrim sıvısına ait Reynolds sayısının, özgül ısının, transfer yüzeyinin, akışkanın giriş sıcaklığının ve FDM ile akışkanın termo fiziksel özelliklerinin bir fonksiyonu olarak belirlenir. Çalışma modelin uygulanabilirliğini göstermektedir. Çalışmada FDM olarak eriyik parafin ve kalsiyum klorit hexahidrat kullanılırken ısı transfer sıvısı olarak hava ve su kullanılmıştır.

Wang ve Chen (1997a) yaptıkları çalışmada IED sistemlerinin faz değişim süresi üzerinde etkili olan FDM'lerin sabit, doğrusal ve parabolik faz değişim sıcaklık (FDS) dağılımlarını sırasıyla analiz etmiş ve faz değişim süresine karşılık gelen FDM donma oranı ifadesi çıkarılmıştır. Optimum parabolik ve çizgisel sıcaklık dağılımları duyulur ısının ihmal edilmesiyle elde edilmiştir. FDS dağılımı bilinen FDM'lerin şarj ve deşarj verimleri artırılabilir. Geleneksel IED sistemleri tek bir FDM kullanılarak dizayn edilirdi. Son 10 yılda, teorik ve deneysel yapılan çalışmalar birkaç FDM karışımı ile elde edilen sistemlerin enerji tasarrufu sağladığı ve uygulamalardaki önemi anlaşılmıştır. Çeşitli FDS dağılımlarına sahip malzemelerin IED hakkındaki hemen hemen tüm araştırmalar yazarların kendi kişisel FDS dağılımı içeren FDM seçimine dayanmaktadır. Bu çalışmada teorik analizler ve sayısal simülasyonlardan yararlanılarak IED sistemlerinde malzemelerin çeşitli FDS dağılımları için genel yargılar çıkarılmıştır. Aşağıda sistemin fiziksel modeli ve teorik analizi ele alınmış, sabit FDS ye sahip FDM ler için yapılan hesaplamalara ve sonuçlarına yer verilmiştir. Çizgisel ve parabolik FDS'ye sahip FDM'lerin hesaplamalarını, Wang ve Chen çalışmalarında yer vermiştir. Aşağıda sonuçları yer almaktadır.

Şekil 4.7a'da görüldüğü üzere alt yüzey izole edilince üst yüzeyden enerji bırakılmış ve Şekil 4.7b'de görüldüğü üzere üst yüzeyden izole edilince alt tabakadan enerji yüklenmiştir. Sınır sıcaklıklar T_{wf} ve T_{wm} , enerji bırakılma (FDM'in erimesi sırasında) ve ısı yüklenmesindeki (FDM'in erimesi sırasında) proseslerde sabit tutulmuştur. FDM'in faz değişim sıcaklıkları x koordinat ekseninde süreklilik gösteren bir özelliğe sahiptir.

Isıl prosesin matematiksel tanımı için şu özellikler bilinmelidir:

- FDM'in tüm termo-fiziksel özellikleri sabittir.
- İletim olayı FDM'deki ısı transferini sağlamak ve iletim sadece x -doğrultusunda olmaktadır.
- FDM'deki sıvı ve katı yoğunluğu eşittir.
- FDM'deki sıvı ve katı iletkenlikleri eşittir.
- FDM faz değişim sıcaklıklarında erir veya donar.
- Çeşitli FDS dağılımlarında FDM'in ortalama FDS'leri sabittir (T_{ca})



Şekil 4.7 Fiziksel model

FDM için basit faz bölgesinde (katı veya sıvı)

$$K \frac{\partial^2 T}{\partial X^2} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.1)$$

Sıvı-katı yüzeyinde:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \left| -\frac{K}{\rho h} \frac{\partial T}{\partial X} \right|_l + \frac{K}{\rho h} \frac{\partial T}{\partial X} \Big|_s \quad (4.2)$$

Burada 'S' sıvı-katı yüzeyinde koordinat değeridir. Küçük 's' ve 'l' sırasıyla katı ve sıvı bölgeyi ifade eder. 'c' özgül ısı, 'h' gizli ısı, 'K' iletkenlik ve 'ρ' ise FDM'in yoğunluğudur.

Başlangıç ve sınır şartlar ise şöyledir:

$$T(x,0) = T_i \quad 0 \leq x \leq L \quad (4.3)$$

$$T(0,t) = T_{wf}, \quad \frac{\partial T(L,t)}{\partial X} = 0, \quad mt_{cp} \leq t \leq mt_{cp} + t_f \quad (4.4)$$

$$T(L,t) = T_m, \quad \frac{\partial T(0,t)}{\partial X} = 0, \quad mt_{cp} + t_f \leq t \leq (m+1)t_{cp} \quad (4.5)$$

Burada $m=1,2,3,\dots$; t_f , t_m , t_{cp} sırasıyla donma zamanı, erime zamanı ve çevrim periyodunu (süresini); T_i başlangıç sıcaklığını ifade eder.

Analitik çözüm elde etmek amacıyla yapacağımız tahminlere daha önce hesaba katılmamış faz değişim prosesinin duyulur ısısı eklenmelidir. İdeal tahmin sadece FDM'in özgül ısısı ve

ısının serbest bırakılma veya alınma değişim sıcaklıklarının çok küçük olduğunu belirtir.

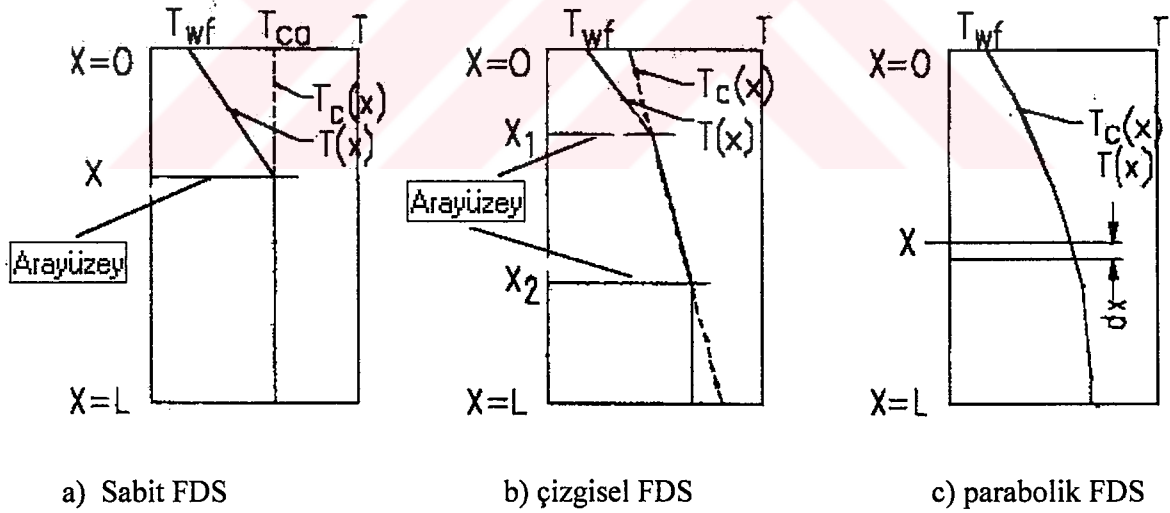
Değişik FDS dağılımlı FDM'ler arasında karşılaştırma yapmak için önce tek FDS'li FDM'in faz değişim prosesini incelemek gerekir. Duyulur ısının ihmal edildiği Şekillerde olduğu gibi $c \cdot \partial T / \partial t = 0$ alalım. Basit faz (sıvı veya katı) bölgelerinde denklem (4.1)'e göre:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial X^2} = 0 \quad (4.6)$$

Bunun anlamı tek fazlı bölgelerde herhangi bir zamanda çizgisel sıcaklık dağılımı var olduğudur.

Şekil 4.8a'da olduğu gibi donma proseslerinde faz değişim arayüzeyinin üzerindeki bölgenin sıcaklığı T_{wf} 'ten T_{ca} 'ya (ortamam FDS) yükselir. Faz değişim arayüzeyinin altındaki sıcaklık sabittir (T_{ca}). Çünkü ısı transferi sınır şartlarındaki izole edilmiş yüzey üzerinden olmaktadır. Böylece:

$$K \frac{T_{ca} - T_{wf}}{x} dt = \rho h dx \quad (4.7)$$



Şekil 4.8 Çeşitli FDS dağılımlarına sahip FDM'in faz değişim prosesleri

Denklem 7'nin integrasyonu $x=0$ 'dan $x=L$ 'ye kadar yapılırsa

$$t_f = \frac{\rho h L^2}{2K(T_{ca} - T_{wf})} \quad (4.8)$$

Burada t_f donma süresidir. Aynı yolla erime süresi t_m bulunur:

$$t_m = \frac{\rho h L^2}{2K(T_{wm} - T_{ca})} \quad (4.9)$$

denklem 8 ve 9'u karşılaştırırsak, tek FDS dağılımlı FDM için FDM'nin faz değişim süresi

$$t_s = \frac{\rho h L^2}{2K\Delta T_s} \quad (4.10)$$

Burada ΔT_s faz değişiminin sıcaklık farkıdır. Denklem 7'den FDM'in t anındaki (FR) donma oranını buluruz

$$FR = \sqrt{\frac{2K\Delta T_f t}{\rho h L^2}} \quad (4.11)$$

aynı işlemleri çizgisel ve parabolik FDS'ye sahip FDM proseslerine aşığıdaki gibi uygulayabiliriz. Çizgisel FDS dağılımına sahip FDM'lerde genelde iki ayrı faz değişim arayüzeyi vardır(Şekil 4.8b). Çizgisel sıcaklık dağılımını $T_c(x)$ olduğunu kabul edelim. Çizgisel FDS dağılımına sahip FDM için donma oranı FR ifadesi

$$FR = \frac{2K(T_{ca} - T_{cl})}{\rho h L^2} t + \sqrt{\frac{2K(T_{cl} - T_{wf})}{\rho h L^2} t} \quad (4.12)$$

optimum FDS dağılımı için faz değişim süresi ($\Delta T_L = T_{ca} - T_{wf}$)

$$t_L = \frac{3\rho h L^2}{8K\Delta T_L} \quad (4.13)$$

ideal homojen faz değiştiren FDM'de faz değişimi herhangi bir bölgesinde doğal olarak başlar ve biter aynı zamanda faz değişimi aynı hızda gerçekleşir. Donma prosesinde (Şekil 4.8c) x üzerinde çok küçük dx elementi ile işlemlere başlarız. ideal homojen faz değiştirme süresi t_p ve optimum FDS de FR aşığıdaki denklemler gibi bulunur. (ΔT_p ideal homojen faz değiştirme için faz değişim sıcaklık farkıdır).

$$FR = \frac{3K\Delta T_p}{\rho h L^2} t \quad (4.14)$$

$$t_p = \frac{\rho h L^2}{3K\Delta T_p} \quad (4.15)$$

3 FDS dağılımı (sabit, çizgisel, parabolik) için denklem 10,23,30'dan bilindiği üzere faz

EC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU AB
DOKÜMANASYON MERKEZİ

değişimi sıcaklık farkları eşittir. Sabit FDS'li FDM'ler için faz değişim süresi en yüksek çizgisel FDS dağılımı için %25 düşmekte, parabolik FDS dağılımı içinse %33,33 düşmektedir. Sonuç olarak IED sistemlerindeki FDM'nin faz değişim sürelerine FDS dağılımı etkisi apaçık ortadadır. Teorik analizleri özellikleri sıralanmış FDS dağılımlarını FDM'in basit FDS'leri ile karşılaştırırsak değişken FDS dağılımlı FDS'lerin faz değişim sürelerinin %25 - %33 arasında değiştiğini ortaya koymuştur (Wang ve Chen, 1997a)

Wang ve Chen (1997b) yaptıkları ikinci çalışmada değişik FDS dağılımına sahip FDM'lerle dizayn edilmiş IED sisteminin tek boyutlu ısı iletim modelini kurmaktadır. FDS'nin faz değişim süresine etkisi araştırılmıştır. Seçilen FDM'nin termofiziksek özellikleri Çizelge virilmiştir ve FDM'nin ortalama FDS'si sabit ($T_{ca}=90^{\circ}\text{C}$) kabul edilmiştir. Hesaplamalarda donma oranı $FR < 10^{-7}$ iken şarj (erime) bitmiş ve $(1-FR) < 10^{-7}$ iken deşarj (katılaşma) bitmiş kabul edilmektedir. Çizgisel FDS dağılımına sahip FDM'ler ile Değişik T_{c1} sıcaklıkları için çizgisel FDS dağılım sonuçları karşılaştırılmıştır. Şekil 4.9 yardımıyla şunları bulabiliriz:

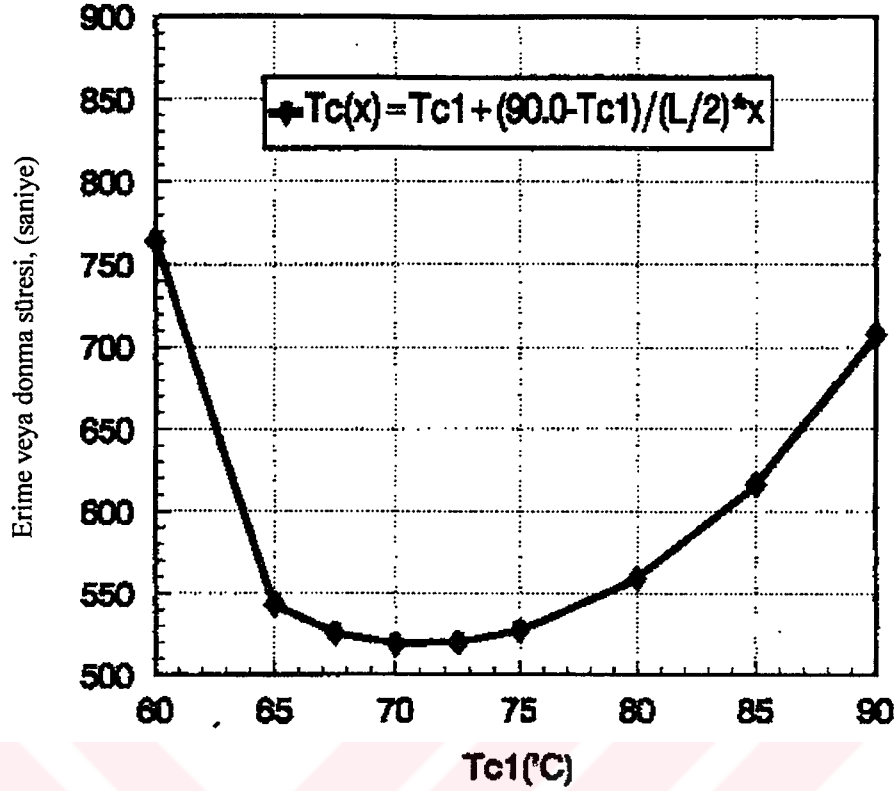
Çizelge 4.8 Seçilen FDM'nin termofiziksek özellikleri

ρ	K	c	h	T_{ca}	L	T_{wm}	T_{wf}
100	1.0	400	40000	90	0.1	120	60
Kgm^{-3}	$\text{W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$	$\text{J. Kg}^{-1}\text{K}^{-1}$	J. Kg^{-1}	$^{\circ}\text{C}$	m	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$

1) $T_{c1}=70^{\circ}\text{C}$ için Faz değişim süresinin en küçük değeri $t_L = 518$ sn.dir. Denklem 13, $T_{c1}=(2T_{wf}+T_{ca})/3$ ve Çizelge 4.8 yardımıyla teorik sonuç $T_{c1}=70^{\circ}\text{C}$ için 500s.dir. Burada duyulur ısı ihmal edilmiştir. Ayrıca yukarıdaki T_{c1} denklemi optimum FDS dağılımını bulabiliriz.

2) Faz değişim süresi optimum sıcaklık dağılımının sağlanmasıyla %26,7 oranında azaltılabilir. Bu çok dikkat çekici bir husustur.

3) $T_{c1} < 62^{\circ}\text{C}$ 'deki faz değişim süresi $T_{c1} = 90^{\circ}\text{C}$ 'dekinden büyüktür. Örneğin sabit FDS dağılımları.



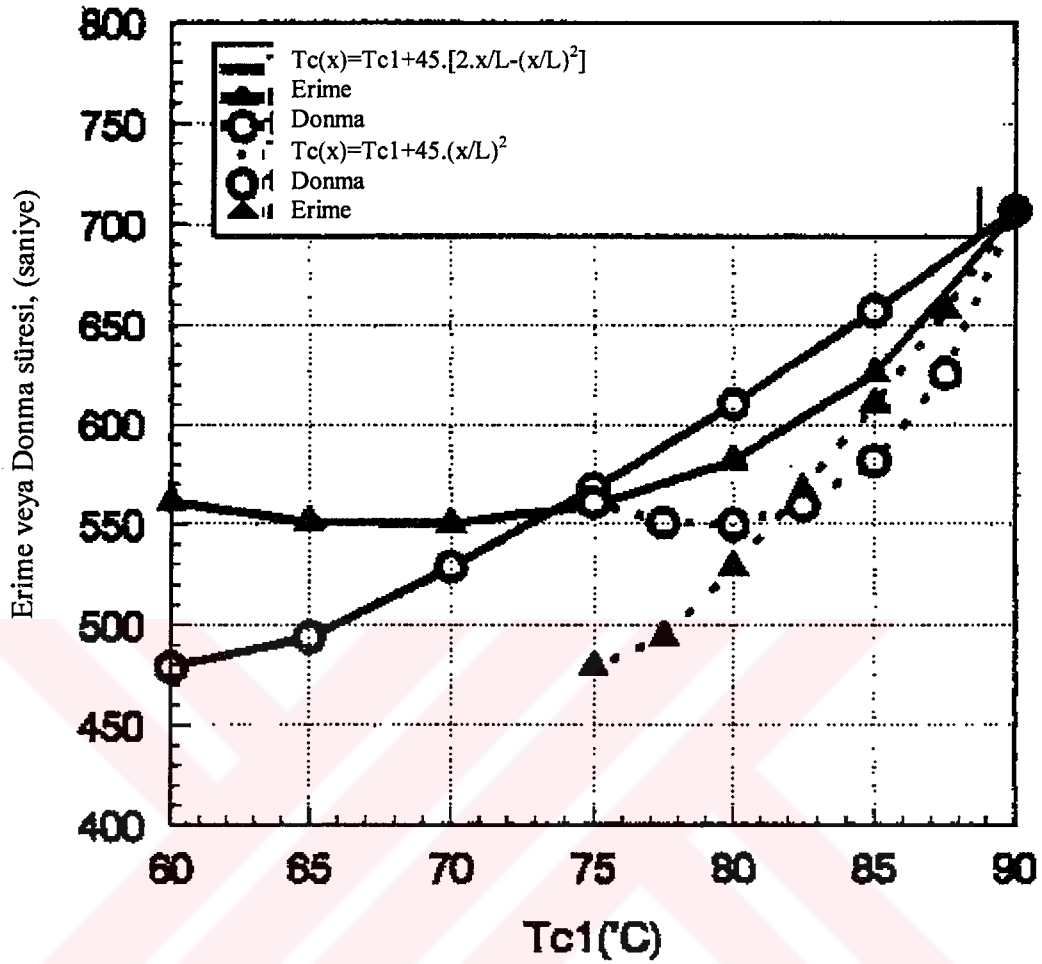
Şekil 4.9 Çizgisel FDS dağılımının faz değişim süresi üzerindeki etkileri

Parabolik FDS'ye sahip FDM'ler için yapılan hesaplamalar sonucunda;

- Donma süresi, T_{c1} sıcaklığının 90°C 'den 60°C 'ye düşmesi ile azalmaktadır. Donma süresi en az değerine $T_{c1}=60^{\circ}\text{C}$ iken ulaşır.
- $T_{c1}=90^{\circ}\text{C}$ 'deki sıcaklıktaki sabit FDS dağılımlarını karşılaştırırsak, donma süresi 60°C 'de iken %32,2 azalabilir. Bu şaşırtıcı bir sonuçtur.
- Genel olarak ifade edilirse donma ve erime süresi 2 FDS dağılımı için eşit değildir.

Çizelge 4.9'dan duyulur ve gizli ısının ikisi birden nümerik hesaplamalara katılmadan önce bütün sayısal değerlerin teorik sonuçlardan fazla çıktığını görüyoruz. Teorik analizlerden en yüksek FDS dağılımlarının sayısal simülasyonlarda hemen hemen aynı olduğunu anlıyoruz. Bir başka deyişle teorik analizlerdeki FDS dağılımları direk olarak IED sistemlerinde kullanılabilir. Sayısal simülasyonlar yardımıyla teorik analizlerde 3 faz değişim oranı birbirine yakındır. Isı transferinin simetriklik özelliğinde olduğu gibi sabit ve çizgisel FDS dağılımlarında donma ve erime süresi eşittir. Fakat parabolik FDS dağılımlarında donma ve erime süresi eşit değildir. Bu özelliğe bağlı olarak parabolik FDS dağılımları özel IED sistemlerinde kullanılır. Donma veya erime noktası gibi 2 faz değişim prosesinden birinde hızı artırmak genel bir ifade olarak çok önemlidir. Karşılaştırırsak Çizelge 4.9'dan

gördüğümüz üzere optimum parabolik FDS dağılımı ile çizgisel FDS dağılımlarının çevrim süresi ($t_f + t_m$) hemen hemen aynıdır.



Şekil 4.10 Parabolik FDS dağılımının faz değiştirme üzerindeki etkileri

Çizelge 4.9 Teorik analiz ve sayısal simülasyonun faz değişim süresi

FDS Çeşitleri	Sabit FDS	Optimum çizgisel FDS	Optimum Parabolik FDS
Teorik sonuçlar	$t_s=666.7$	$t_L=500.0$	$t_H=444.4$
Nümerik sonuçlar	$t_f=t_m=707$	$t_f=t_m=518$	$t_f=479(561)$ $t_m=561(479)$

Nümerik sonuçlardan duyulur ısının ihmal edildiği teorik analizlerden elde edilen yüksek çizgisel ve parabolik FDS dağılımlarının pratik IED sistemlerinde direkt olarak kullanılabilir olduğunu, enerji tasarrufu ve uygulamalarında önemli bir yeri olduğunu görürüz (Wang ve Chen, 1997b).

5. SOĞUK DEPOLAMA

Soğuk depolama (SD) binaların soğutulmasında ve yiyecek depolarında maliyetleri düşürmesiyle, çevreye olan saygılarıyla çok tercih edilmektedirler. Genelde su, duyulur ısı depolayarak, en çok kullanılan malzeme olsa da FDM'ler birçok avantajı yanında getirmektedir. Soğuk depolama için uygun FDM'ler çeşitli kimyasal veritabanlarından araştırılmış olup bunların içinden düşük sıcaklıklarda çalışmaya uygun olan malzemeler saptanmıştır. Çizelge 5.1'de bu malzemelerin termofiziksel özellikleri verilmiştir. Dengedeki bir kimyasal reaksiyonun konsantrasyon-sıcaklık-basınç ilişkilerini incelemek için faz diyagramlarını (denge diyagramlarını) kullanmak gerekebilir (He, 2001)

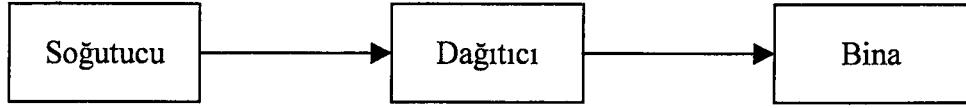
Çizelge 5.1 Soğuk depolamaya uygun FDM'lerin termofiziksel özellikleri

Malzeme		Erime Noktası (°C)	Fusion Entalpisi (kJ/kmol)
Dodecanoic asit etil ester	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	-1,7	37597,44 (40821,29)
Butyric asit tetradecyl ester	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	-2,0	-
Tridecanoic asit pentyl ester	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	-3,7	0,8549 (yoğunluk)
Carbonic asit dinonyl ester	C ₁₉ H ₃₈ O ₃	-4,9	0,8878 (yoğunluk)
Pentanoic asit	C ₅ H ₁₀ O ₂	-18 - (-20)	7745,58
Lactic asit pentyl ester	C ₈ H ₁₆ O ₃	-22	0,956 (yoğunluk)
Butyric asit dodecyl ester	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	-22,64	0,8754 (yoğunluk)
Adipic asit dibutyl ester	C ₁₄ H ₂₆ O ₄	-23,2	0,9619 (yoğunluk)
Octanoic asit Metil ester	C ₉ H ₁₈ O ₂	-40 - (-41)	0,8769 (yoğunluk)
Nonanoic asit Etil ester	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	-43,6 (-55)	0,8657 (yoğunluk)
Heptanoic asit hexyl ester	C ₁₃ H ₂₆ O ₂	-47,9	0,86507 (yoğunluk)
Hexyl alkol	C ₆ H ₁₄ O	-51,6 (-46,99)	15390,67
Formic asit etil ester	C ₃ H ₆ O ₂	-80	9210,96
Propionic asit metil ester	C ₄ H ₈ O ₂	-88	0,915 (yoğunluk)
Butyl alkol	C ₄ H ₁₀ O	-90	9288,04
Heptane	C ₇ H ₁₆	-91	14042,52

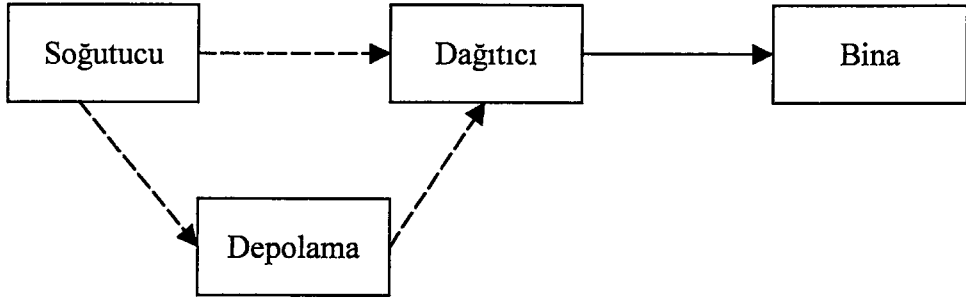
Dinçer (2002) soğutma için yapılan bir IED sisteminde, "soğuk"un bir ısı depolama kütlesi içinde depolanacağını belirtmiştir. Şekil 5.1'de gösterildiği gibi, bir binada depolama,

havalandırma ya da soğutma sistemiyle birleştirilebilir. En geleneksel soğutma sistemleri 2 şekilde ele alınır.

a) Depolama olmadan konvansiyonel sistem



b) Depolama ile (IED sistemi)



Şekil 5.1 Soğutma sistemleri

Bir soğutucu – su gibi bir akışkanı soğutmak için kullanılır, bir dağıtıcı sistemi – soğuk akışkanı soğutucudan, bina sahipleri için havayı soğutması gereken yere yollamak için kullanılır. Geleneksel sistemlerde, soğutucu sadece bina sahipleri soğuk hava istediği zaman çalışır. IED kapsayan bir soğutma sisteminde, soğutucu soğutma istenen zamanların dışında da çalışır. SD nin faydaları;

- Soğutulmuş su dağıtımı için küçültülmüş boru ve pompa boyutları.
- Düşük sıcaklıkta hava dağıtımı için küçültülmüş kanal ve vantilatör boyutları.
- Benzer olarak azaltılmış işletme maliyetleri

Jay (2002) SD'nin faydalarına aşağıdaki maddeleri eklemiştir şöyle sıralamıştır,

- Tüm maliyetlerde azalma
- Güvenirliğin artması
- Bakım kolaylığı
- Soğutucu yükünde azalma(%50-%80)

Isıl depolama, soğutma grupları ve HVAC için etkili bir sistemdir. Uygulamalara göre çiller kapasitesinde %50'den %90'a varan önemli düşmeler sağlanabilmektedir. Ayrıca diğer sistem elemanlarında (transformatörler, soğutma kuleleri vb..) aynı oranda boyutsal küçülmeler meydana gelmekte ve makinaların servisleri kolaylaşmaktadır. Geceleri de düşük fiyatta elektrik kullanımına imkan vermektedir.

Gizli ısı depolama sistemlerinin uygulamaları dikkate alındığında kullanılan enerjinin kaynağını önemlidir. Soğutmayı elektrik kullanarak üreten termodinamik makinalar (çillerler), pahalı tarife saatlerinde çalışıyorsa depolamanın cazibesi artar. Proses ihtiyaçları, endüstriyel soğutma ve air-condition sistemlerinde çevrim boyunca yüksek sıcaklık farklarına izin verilmez. Duyulur ısı depolama, çok yüksek depolama hacimlerine gereksinim duyar. Soğutucuların yüksek fiyatları sahip olunan gücün çekiciliğini düşürür. GID sistemleri, endüstriyel soğutma prosesleri ve hava şartlandırma sistemleri için elverişlidir (Jay, 2002)

Soğuk depolamalı sistemlerin tasarımında aşağıdaki işlemlerin yapılması gereklidir (Yılmaz, 1997):

- Ön ekonomik analizin yapılması
- Soğutma yükünün günün saatlerine göre belirlenmesi
- Soğu depolama sisteminin belirlenmesi
- Çalışma sistemlerinin belirlenmesi
- Soğutma ünitelerinin belirlenmesi
- Soğu deposunun belirlenmesi
- Kesin ekonomik analizin yapılması
- Kesin tasarımın yapılması

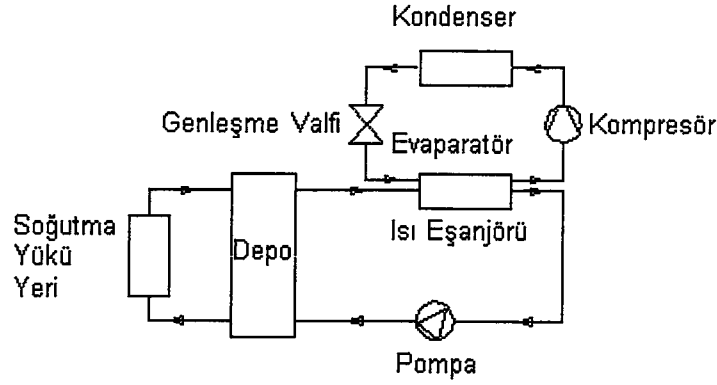
SD malzemesi, depo ve HVAC sistemi boyutlarını belirler. Aşağıda en çok kullanılan malzemeler belirtilmiş ve her malzemeyle ilgili geniş bilgi verilmiştir.

- su
- buz
- ötektik tuzlardır (Dinçer, 2002).

Su: Soğutulmuş su sistemleri, en geniş depo kullanımını gerektirir, fakat varolan soğutucu sistemleriyle kolaylıkla uyum sağlayabilir. Soğutulmuş su ile SD, suyun duyulur ısı kapasitesini kullanır. Standart soğutucu sistemleri ile uyumlu olarak 3.3-5.5°C sıcaklık değerleri arasında çalışırlar ve 2000 ton saat kapasiteden daha büyük sistemler için en ekonomik soğutma malzemesidir (Dinçer, 2002). Körfez arap ülkelerinde yaz boyunca hacim soğutması toplam üretilen enerjinin %80-90'nı tüketmektedir. Bu kadar yüksek miktardaki elektrik tüketimi ve dünya enerji kaynaklarının daha akılcı kullanımına olan ihtiyaç, binalarda oturanların konfor standartlarını düşürmeden birincil enerji tasarrufu yapmak için, her yolu denemeyi gerekli kılmıştır. Hava şartlandırma (klimatizasyon) amaçlı, belirli miktar su içersinde soğuk enerji depolama, soğutucuların neden olduğu elektrik tüketimini azaltmak için

gelişmiş bir çok ülkede kullanılan yaygın bir teknolojidir (Hariri, 2000).

Şekil 5.2'de su depolamalı sistem şematik olarak gösterilmiştir. Böyle bir sistemde şarj süresince depodan alınan su, bir su soğutma ünitesinden geçirilerek istenilen sıcaklığa kadar soğutulur. Kullanımda ise soğutulmuş su depodan alınarak iklimlendirilecek ortama götürülür ve daha sonra tekrar depoya geri döner (Yılmaz, 1997).



Şekil 5.2. Su depolamalı sistem.

Su depolu sistemlerinin avantajları şu şekilde özetlenebilir:

- Standart su soğutucularını yüksek bir etkinlikle kullanırlar. Özel ekipmana ihtiyaç yoktur.
- Mevcut alışılmalı sistemin kapasitesini artırmak için idealdir.
- Depo hacminin artmasıyla daha ekonomik hale gelirler. İlk yatırım maliyeti 7000 kWh (veya 760 m³) kapasitede alışılmalı sistemlerle yarışabilir hale gelir.
- Depo aynı zamanda yangın için su deposu görevini görebilir.
- Denenmiş olup güvenilir bir sistemdir.
- Hem sıcak hem de soğuk suyu depolayacak şekilde düzenlenebilir (Yılmaz, 1997).

Su depolu DID sistemi içerisinde şarj edilmiş soğutulmuş su ile ılık geri dönüş suyu arasında bir ısı ayrışma sağlama prensibine dayanır. Bu ayrışma değişik şekillerde gerçekleştirilebilir (Yılmaz, 1997).

- katmanlaştırma (stratification)
- çoklu depo
- membran veya diyafram
- labirent ve engel

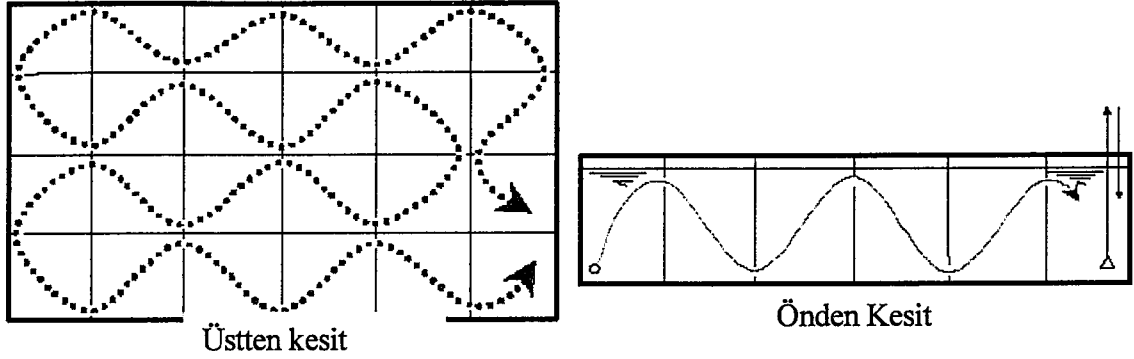
Çoklu Depo: Bu sistemde birden fazla depo kullanılır ve soğuk su ile iklimlendirilen ortamdan dönen ılık su ayrı ayrı depolarda saklanır. Böylelikle hemen hemen tam bir ayrışma sağlanır ve soğutulacak ortama daima aynı sıcaklıkta su gitmesi temin edilmiş olur. Bu sistemin bir diğer avantajı ise sistem çalışırken depolardan bazılarının bakım için devre dışı bırakılabilmesidir.

Bu sistemde şarjın başlangıcında depolardan birisi boştur. Şarj süresince dolu depodan alınan su, soğutucuda soğutulduktan sonra boş depoya gönderilir. Kullanımda ise soğuk su deposundan alınan su iklimlendirmeden sonra boşalmış depoya pompalanır. Boş bir depoya ihtiyaç duyulduğundan depo hacmi iklimlendirme için gerekli su hacminin yaklaşık iki katıdır. Bu da ilk yatırım maliyetini olumsuz yönde etkiler. Çoklu depo sisteminde kullanılan boru şebekesi ve kontrol devresi karmaşıktır (Yılmaz, 1997)

Yamaha (1999) Japonya'da 1950'li yıllardan beri uygulanmakta olan soğuk depolama sistemlerinin tiplerine, ısı karakteristیکlerine ve kontrol ünitelerine değinmiştir. SD sistemleri önceleri sadece soğutma sistemlerine yardımcı olması için inşa edilirken ilerleyen yıllarda elektrik enerjisindeki fiyat indirimlerinden yararlanılması için de inşa edilmiştir. Japonya'da inşa edilen birçok binanın depreme dayanıklı olması için yeraltında boş bir yapı oluşturulur. Bu hacimler su geçirmez olarak izole edilirse SD için uygun çoklu bağıntılı depo olarak kullanılabilirler (Şekil 5.3). Verimin fazla olması için hacimler arasındaki sıcaklık farkının korunmalıdır.

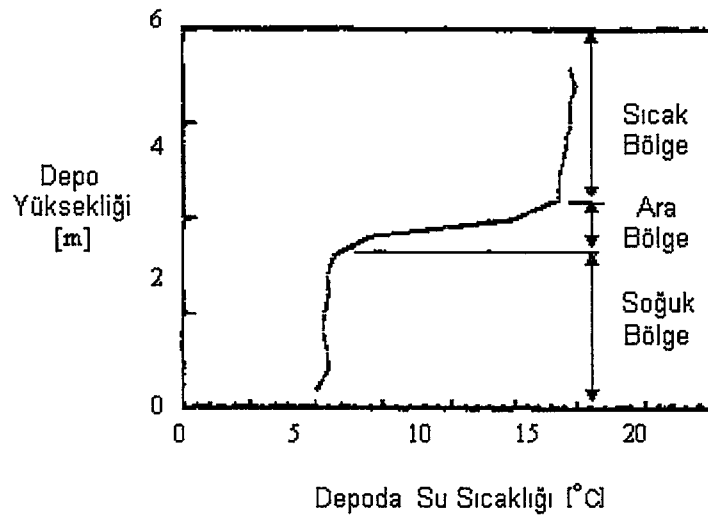
Katmanlaştırma: Soğutulmuş su depolama için katmanlaştırma en basit, en etkili ve maliyet açısından en avantajlı sistemdir. Bazı uygulamalarda diğer sistemlerde kullanılmış olmalarına rağmen, pratikte en yaygın olarak kullanılan sistem katmanlaştırılmış depolardır. Katmanlaştırma suyun yoğunluğunun sıcaklıkla değişmesi prensibine dayanır. Bilindiği gibi sıcaklık düştükçe suyun yoğunluğu artar. 4 °C de bir maksimuma ulaştıktan sonra donuncaya kadar tekrar artar. Bu sebepten dolayı 4 ile 6 °C civarındaki soğuk su deponun tabanında, geri dönen ılık (10 - 18 °C) su ise tavanında toplanır. İyi tasarlanmış katmanlaştırmalı bir depoda, depolanan soğunun %85-90'ından soğutma amacıyla faydalanılabilir. Bu oran diğer ayrıştırma yöntemleriyle aynı mertebede hatta bazılarında daha iyidir. İyi tasarlanmış katmanlaştırmalı bir depoda, soğuk su ile sıcak su ara bölge adı verilen bir bölge oluşturularak birbirlerinden ayrılırlar. Kararlı ve keskin bir ara bölge, deponun alt bölgesindeki soğuk su ile üst bölgesindeki ılık suyun birbirine karışmasını önler. Şarj süresince, su soğutma cihazında soğutulan su, difüzörler aracılığıyla depoya alttan girer ve ılık su üstten depoyu terk eder. Depo içerisinde soğuk su hacminin artmasıyla ara bölge yukarıya doğru hareket eder. Belirli

bir süre sonra depo içerisindeki suyun sıcaklığı her noktada eşitlenir. Deşarj süresince ise soğuk su depodan alttan çekilir ve iklimlendirilen ortamdan dönen ılık su üstten depoya döner. Sıcaklığın yükseklikle değişimi Şekil 5.4'de verilmiştir. Ara bölge 0.5-1 m civarındadır (Yılmaz, 1997).



Şekil 5.3 Bağlı-Çoklu su depoları

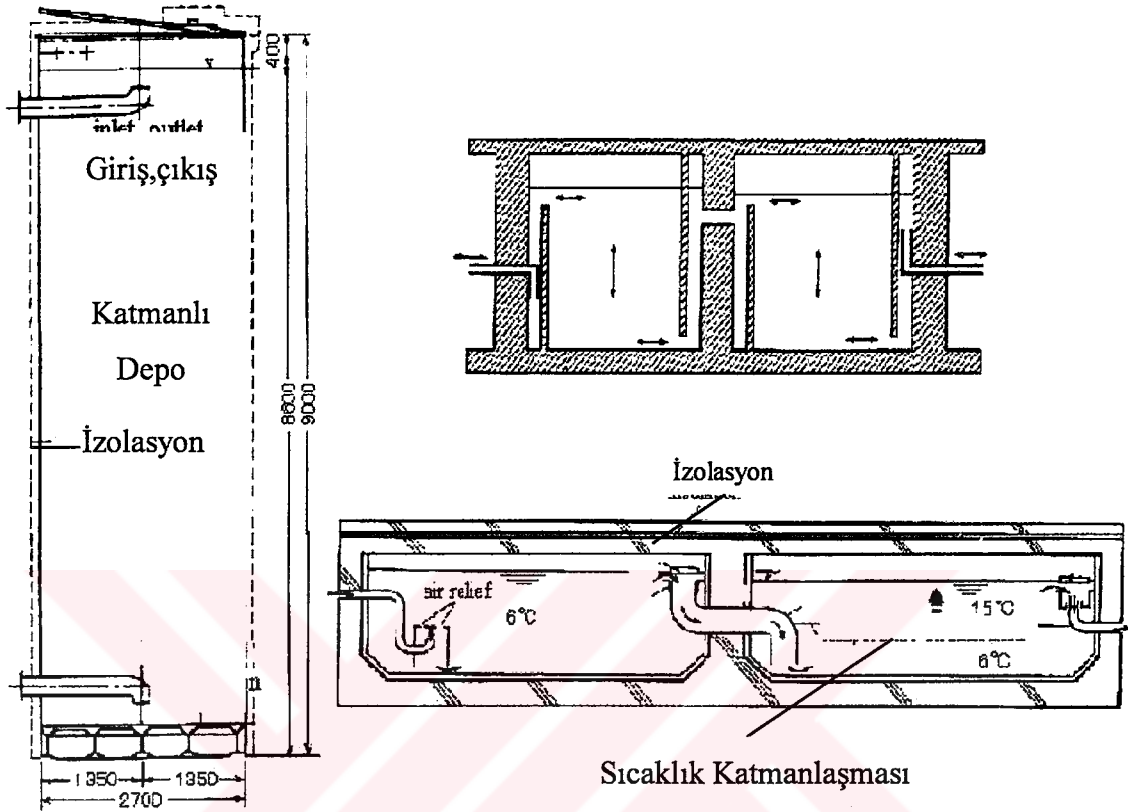
Sıcaklık katmanlaşması depo içindeki suyun karışmamasını sağlamak için kullanılır. Katmanlaşma suyun yoğunluğuna, girişteki sıcaklık farkına ve suyun momentumuna bağlıdır. Katmanlaşmalı depolar Şekil 5.5'teki gibi çok derin olabildikleri gibi yatay ve sığ da olabilirler. Suyun girdiği nokta katmanlaşmayı sağlar ve suyun karışmasını en aza indirir. Büyük dikey derin depoların yapım zorluğundan dolayı genelde yatay olanlar kullanılır (Yamaha, 1999).



Şekil 5.4 Depoda katmanlaştırma

Membran veya Diyafram: Bu sistemde soğuk su ile ılık su birbirlerinden esnek bir membran

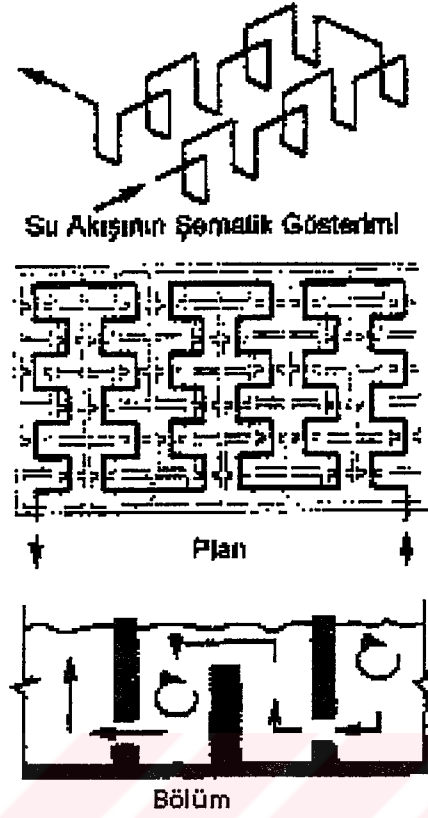
veya hareket edebilen katı bir diyafram kullanılarak ayrılırlar. Bu sebeple difüzörlere ihtiyaç yoktur. Ancak gerek membranın ilk yatırım maliyeti gerekse membranda meydana



Şekil 5.5 Katmanlı su deposu tipleri

gelebilecek yırtılmaların tamiri için gerekli maliyet difüzöre ihtiyaç duyulmamasından doğan maliyet avantajını ortadan kaldırmaktadır. Yapılan çalışmalar membranlı sistem ile katmanlaştırmalı sistemin hemen hemen aynı ısıl ayrışmayı sağladığını göstermiştir (Yılmaz, 1997).

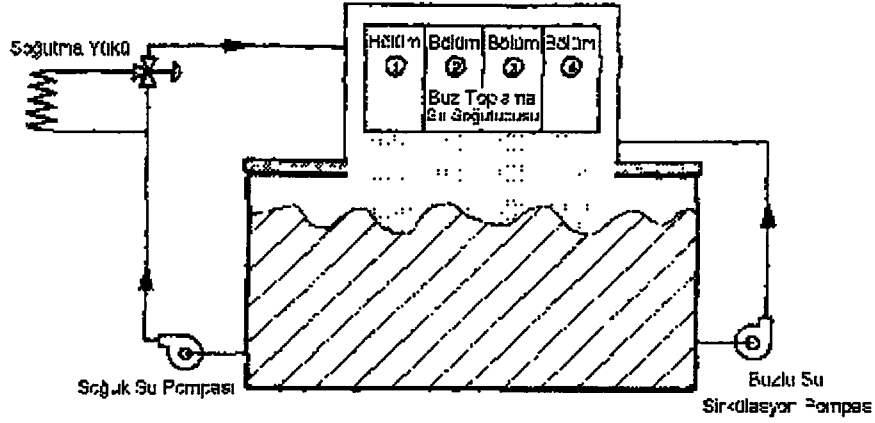
Labirent ve Engel: Bu sistemde depo içerisine yerleştirilen duvarlar veya engeller yardımıyla suyun depo içerisinde akış yolu karmaşık hale getirilir. Soğuk ve ılık akışkanlar arasında meydana gelen küçük hacimdeki bir miktar akışkan hareket ederek ayrışmayı sağlar. Ancak bu tür sistemlerde türbülans, serbest ve zorlanmış konveksiyon ve ısıl iletkenlik sebebiyle ayrışma istenilen düzeyde değildir. Bu sisteme bir örnek Şekil 5.6'de verilmiştir. (Yılmaz, 1997).



Şekil 5.6 Engelli depo sistemi.

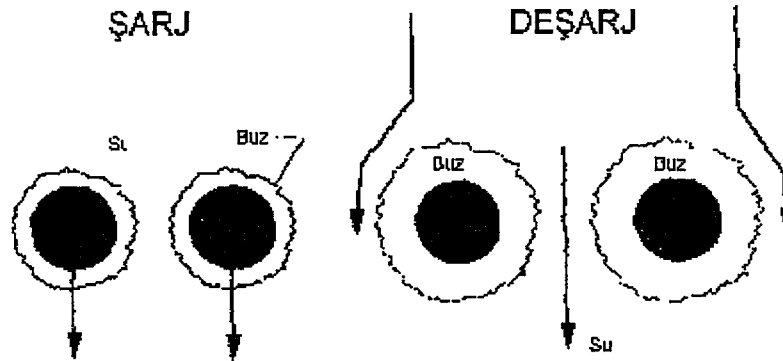
Buz: Buz sistemleri daha küçük depolar ve düşük sıcaklıkta hava sistemi kullanır, fakat daha karmaşık soğutucu sistemleri gerektirir. Buz ile SD suyun füzyon gizli ısısını kullanır (335kj/kg). Düşük sıcaklıkta çalışması için geliştirilmiş özel buz yapıcı ekipman ya da standart soğutucular kullanılmıştır. Depolama malzemesi olarak buzla, depolamayı şarj ve deşarj etmek için birçok teknoloji kullanılabilir (Dinçer, 2002). Statik ve dinamik sistemler olmak üzere genelde iki gruba ayrılırlar. Statik sistemlerde su dolu bir tank içerisine daldırılmış serpantinlerin üzerinde ve etrafında buz oluşur. Dinamik sistemlerde ise değişik şekillerde oluşturulan buz parçacıkları bir depoya gönderilerek, orada saklanır (Yılmaz, 1997).

Buz Toplama: Bu sistemde soğutucu akışkan düz, düşey buharlaştırıcı levhalar içerisinden geçer ve bu sırada levhaların üzerinden geçen su buz haline dönüşür (Şekil 5.7). Levhalar üzerinde belirli bir kalınlıkta buz oluştuktan sonra, evaporatörden geçirilen sıcak soğutucu akışkan yardımıyla buz evaporatörün altına yerleştirilen su deposunun içerisine düşer. Bu tankın altından alınan soğuk su iklimlendirilecek ortama gönderilir. Bu işlem periyodik olarak devam eder.



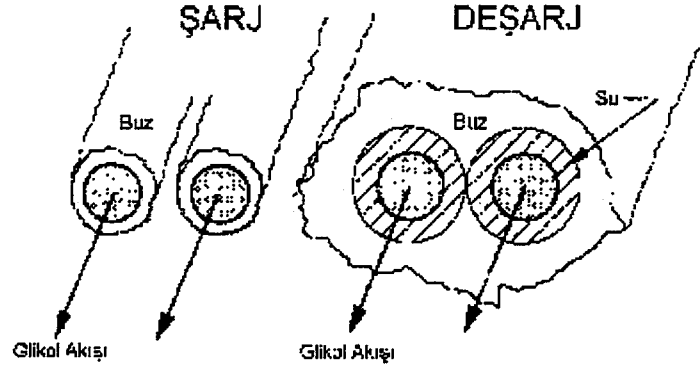
Şekil 5.7 Buz toplama sistemi.

Serpantinler Üzerinde Buz: Bu sistemin iki değişik türü mevcuttur. Birinci türde (Şekil 5.8) su ile doldurulmuş bir deponun içerisine serpantin yerleştirilir. Bu serpantin içerisinden soğutucu akışkan geçirilerek, serpantin üzerinde buz oluşması sağlanır. İklimlendirilecek ortamdan dönen ılık su oluşan buz tabakasının üzerine gönderilerek, buz eritir ve suyu da soğutur. İkinci türde (Şekil 5.9) ise boru içerisinden bir soğutma ünitesinin buharlaştırıcısında soğutulmuş glikol-su karışımı dolaştırılır. Buz oluştuğundan sonra iklimlendirilecek ortamdan dönen glikol-su karışımı boru içerisinden geçirilerek buzun erimesi ve karışımın soğuması gerçekleştirilir.



Şekil 5.8 Dıştan eritmeli buz depolamasının şarj ve deşarjı.

Kapsüllenmiş Buz: Bu sistemlerde iyonize edilmiş su ve buz çekirdeklendirici içeren plastik kapsüller kullanılır (Şekil 5.10).



Şekil 5.9 İçten eritmeli buz depolamada şarj ve deşarj.

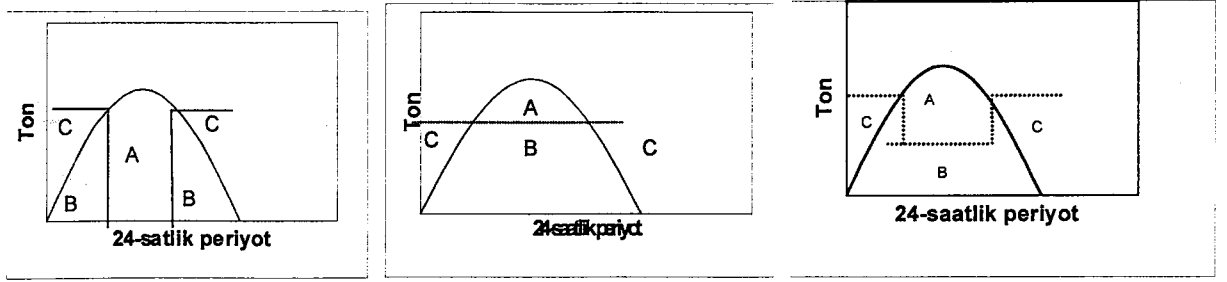
Ticari olarak satılan kapsüller ya silindirik ya da diktörtgenler prizması şeklindedir. Şarj süresince bir soğutucu üniteye soğutulan glikol-su karışımı bir depo içerisine yerleştirilmiş plastik kapsüllerin üzerinden geçirilerek kapsüllerin içerisinde buz oluşumu gerçekleşir. Deşarjda ise iklimlendirilecek ortamdan dönen glikol-su karışımı kapsüllerin üzerine gönderilerek buzun erimesi ve karışımın soğuması sağlanır. Kapsüllü depolamada şarj ve deşarj esnasında ısı transferi önemli bir rol oynamaktadır.



Şekil 5.10 Kapsülle buz depolamada şarj ve deşarj.

Faz Değiştiren Ötektik Tuzlar: Bu sistemlerde ise plastik kapsüller içerisinde su yerine faz değiştiren bir ötektik tuz kullanılır. Faz değiştiren bu maddelerde depolamada aşırı soğuma ve aşırı genleşme önlenabilmektedir (Yılmaz, 1997). Ötektik tuzlar varolan soğutucularda kullanılabilir fakat genellikle buz veya soğutulmuş su sistemlerine göre daha yüksek sıcaklıklarda çalışır. Ötektik tuzlar, arzu edilen sıcaklıkta donan inorganik tuzlar, su ve diğer elementlerden oluşan bir karışımla çalışır. Malzeme, suyun çevrim yaptığı deponun içine yığılan plastik kutuların içine yerleştirilmiştir (Dinçer, 2002).

Soğutma ihtiyacının karşılanması amacıyla depolamayı şarj ve deşarj etmek gerekir. Bunun için iki çeşit strateji vardır. Bunlar tam depolama ve kısmi depolamadır (Dinçer, 2002).



(a) Tam depolama (b) kademeli-yük kısmi depolama (c) talep-limitli kısmi depolama

— Yük A Depolama yükü karşılar C Çiller depoyu şarj eder
 — Çiller Çalışır B Çiller yükü direk karşılar

Şekil 5.11 Depolama stratejileri

Tam depolama: Tam depolama stratejisi en yüksek soğutma yükünü, pik saatlerin dışındaki saatlere kaydırır. Sistem tipik olarak en sıcak olan gün ve saatlerde, tam kapasiteyle depoyu şarj etmek üzerine kurulmuştur. Bu strateji, pik yük saatlerindeki tarifenin pahalı olduğu zamanlarda veya pik yük sürelerinin kısa olduğu zamanlarda kullanılır. Tam depolama dizaynları, pik ısıtma ya da soğutma ile üretim elemanlarının arasındaki bağı ayırmak için kullanılır. Üretim elemanları yüklerden bağımsız duruyorken, ısıtma ve soğutma depolamadan karşılanır. Tam depolama sistemleri aşağıdaki durumların bir veya daha fazlasının içinde bulunursa ekonomik açıdan daha avantajlı olabilir.

- En yüksek yük eğrisindeki tepe noktalar kısa sürelidir
- Enerji kullanım tarifesini, kısa süreli pik periyotlara bağlıdır
- En yüksek yük ve en yüksek enerji periyotları arasında kısa çakışmalar vardır
- IED kullanmak için, nakit teşfiki vardır
- Pik-yük saatlerinde pahalı tarife vardır

Örneğin yüklerin ve elektrik tarifesinin saat 13:00 ile 19:00 saatleri arasında yüksek olduğu bir bölgede saat 17:00 den sonra soğutma ihtiyacı kalmayan bir okul için tam depolama uygun olabilir. İstenirse saat 13:00 ile 17:00 arasındaki soğutma ihtiyacı çiller grubunun boyutlarını büyütülmeden tamamen IED sisteminden ekonomik olarak karşılanabilir.

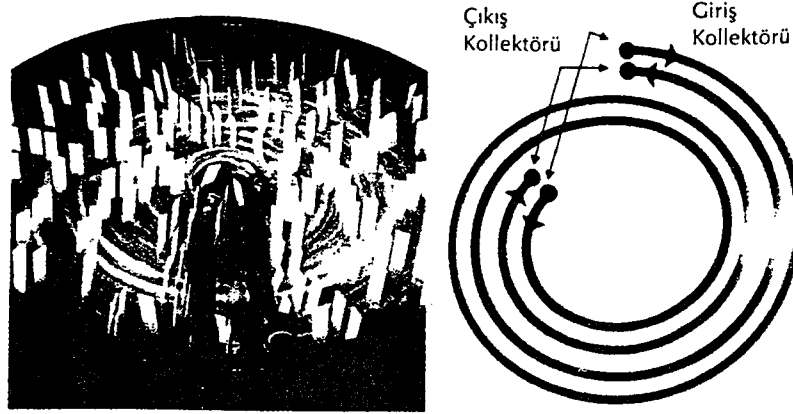
Kısmi depolama: Bir kısmi depolama metodunda, soğutucu en yüksek periyottaki soğutma yükünün bir kısmını karşılamak için çalışır ve geri kalanı depodan çekilmek suretiyle karşılanır. Çiller dizayn yükünden daha küçük bir kapasiteye göre boyutlandırılmıştır. Kısmi

depolama sistemleri kademeli-yük ya da talep-limitli üniteler olarak çalışabilir. Bir kademeli-yük sisteminde çiller en sıcak günlerde 24 saat tam kapasiteyle çalışacak şekilde boyutlandırılmıştır. Bu strateji pik yükün ortalama yükten çok fazla olduğu yerlerde etkilidir. Bir talep-limitli sisteminde çiller pik saatlerde azaltılmış kapasiteyle çalışır ve pik yüklerdeki elektrik maliyetlerini azaltmak için kullanılır. İşletim kazanımları ve ekipman maliyetleri kademeli-yük sisteminden fazla tam depolamadan azdır. Kısmi depolama çoğunlukla en ekonomik ve en çok tercih edilen stratejidir. Her ne kadar kısmi depolama sistemleri, tam depolama sistemleri kadar yük karşılama kısmi depolama sistemleri ilk etapta daha düşük maliyete sahip olabilir. Birçok uygulama için kısmi depolamanın bir çeşidi olarak bilinen kademeli-yük sistemi minimum sermaye maliyeti ile kullanılabilir. Yaklaşık tam kapasiteyle veya devamlı çalışan ısıtma, soğutma ekipmanı ile kademeli-yük sistemi gün içi yüklerini beraber karşılayacak biçimde dizayn edilmiştir. Böylece, minimum kapasiteye sahip ekipman kullanılabilir. Kısmi depolama pik yük saatleri dışında, tam depolama ile aynı işi görür. Örneğin; kış aylarında hacim ısıtma için dizayn edilen kademeli-yük kısmi depolama sistemi ilkbaharın başlarında ve sonbahar aylarında da tam depolama ile aynı işi görebilir (Dinçer, 2002)

Zaralı (2002) buz bankası depolu soğutma sistemi üzerine çalışmıştır. Buz bankası, suyla çevrili spiral plastik tüp ısı değiştirici içeren, modüler, izole edilmiş polietilen bir depodur. Dört farklı boyda mevcuttur. Geceleri standart bir havalandırma soğutucusundan gelen yüzde 75'i su yüzde 25'i glikol olan bir solüsyon ısı değiştiricide dolaştırılır ve depodaki tüm su sonunda tamamen donana kadar ısı düşer. Yakın bir şekilde yerleştirilmiş ısı değiştirici tüpler buz deponun her yerinde uygun şekilde oluşturur (Şekil 5.12). Su donma sürecinde buzla çevrili hale gelmez ve buz oluşurken depoya zarar gelmesini veya baskı olmasını engelleyerek rahatça hareket eder. Bir buz bankası depolu soğutma sistemi, havalandırma sezonu boyunca yük taleplerini ve sonuç olarak da enerji masraflarını gözle görülür ölçüde azaltacak olan bir yük aktarma ya da yük ayarlama metodudur. Buz bankası geceleri binanın elektrik ihtiyacının en az olduğu pik dışı saatlerde katı buz üretmek için standart bir çiller grubu kullanır. Buz, binanın bir sonraki günlük havalandırma yükü gereksinimini karşılamak için gerekli soğutmaya sağlamaya yardımcı olmak üzere modüler buz tanklarında üretilir ve depolanır. Aslında depolu soğutma sistemleri kuruluşların yaz aylarındaki pik ihtiyaçlarını karşılayacak jeneratör masraflarından kaçınmak için sahip olmak zorunda oldukları bir sistemdir.

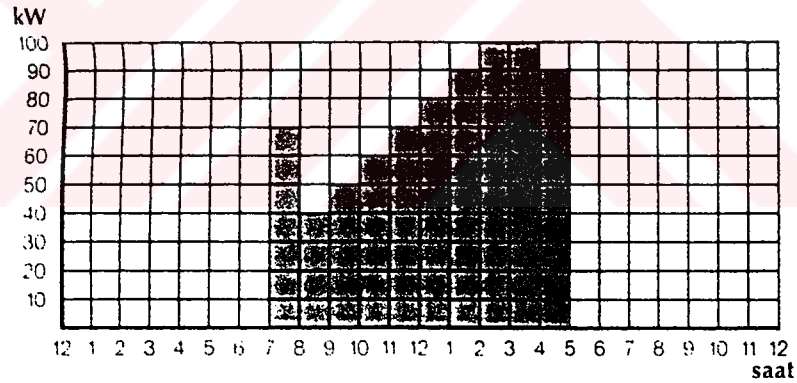
Buz bankası sadece çalışma masraflarını yarı yarıya azaltmakla kalmaz, ayrıca sistemler yeni ticari ve endüstriyel binalar için uygun şekilde dizayn edildikçe, ana harcamaları da büyük

ölçüde düşürür. Retrofit uygulamalarda bir buz bankası depolu-soğutma sistemi çoğu kez çiller kapasitesi artırılmadan binanın yeni bir ekine de soğutma sağlayabilir.



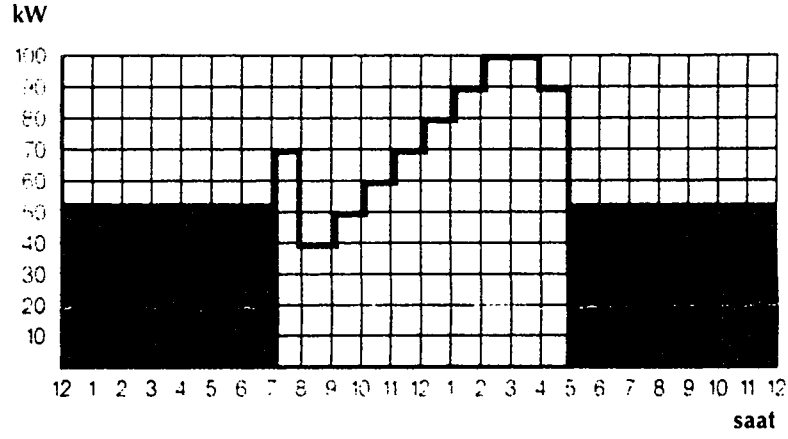
Şekil 5.12 Isı değiştirici tüpler

Gerçekte hiç bir havalandırma sistemi günlük soğutma süresi boyunca yüzde yüz kapasiteyle çalışmaz. Havalandırma yükü öğleden sonra, genel olarak saat 2'den 4'e kadar, çevredeki ısıların en yüksek olduğu zamanda doruk (pik) noktasına ulaşır.

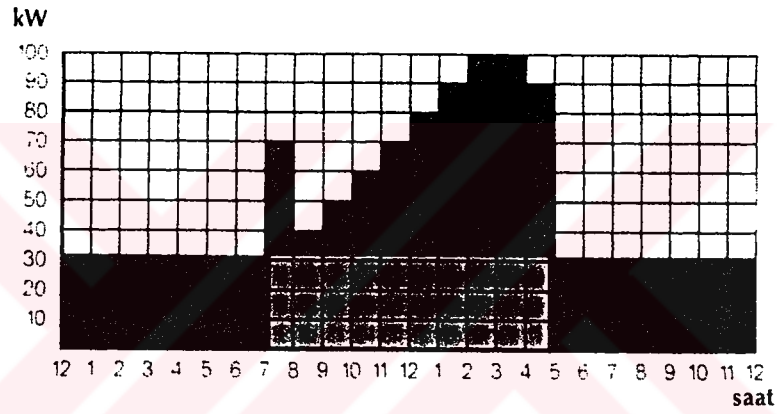


Şekil 5.13 Bir gün boyunca tipik bir binanın havalandırma yükü profili

Gördüğümüz gibi 100 kW'lık tam soğutma kapasitesi 10 saatlik soğutma süresinin sadece 2 saatinde gerekli olmaktadır. Kalan 8 saat içinse toplam soğutma kapasitesinden daha azı gerekmektedir. Eğer karartılmış kareleri sayarsanız, her biri 10 kWh'yı temsil eden toplam 75 kare görürsünüz. Demek ki binanın asıl soğutma yükü 750 kWh'dır. Fakat 100 kW'lık soğutma yükü doruğuyla başa çıkabilmek için 100 kW'lık bir soğutma belirtilmelidir. Değişkenlik faktörü gerek soğutma yükünün toplam potansiyel soğutma kapasitesine oranı olarak ya da (değişkenlik faktörü % = $(750 / 1000) \times 100 = 75$) olarak tanımlanır.



Şekil 5.14 Tam depolamada yük dağılımı

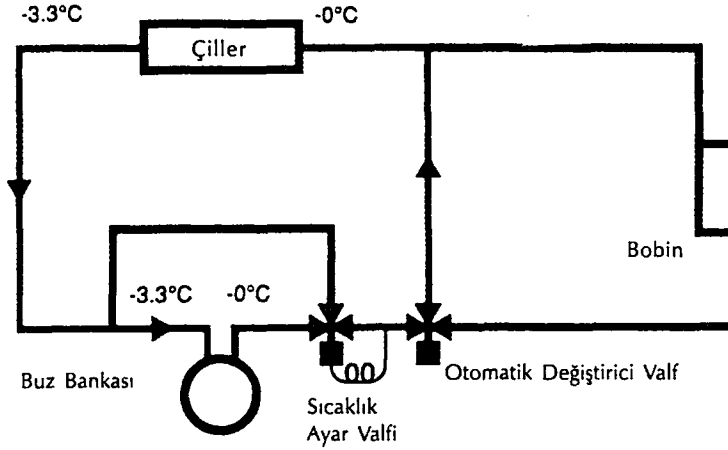


Şekil 5.15 Kısmi depolamada yük dağılımı

Buz bankası depolu soğutma sistemleriyle tam ve kısmi depolama uygulamaları yapılabilir. Eski sistemlere tam depolama yeni kurulacak sistemlere kısmi depolama stratejisi uygun olacaktır. Seri bağlantılı sistemler basit boru çalışmaları ve kontrollere olanak sağlar. Paralel bağlantılı sistemler depolardan su-glikol akışını ve basınç kaybını azaltır, böylelikle ısı farkını yükseltir.

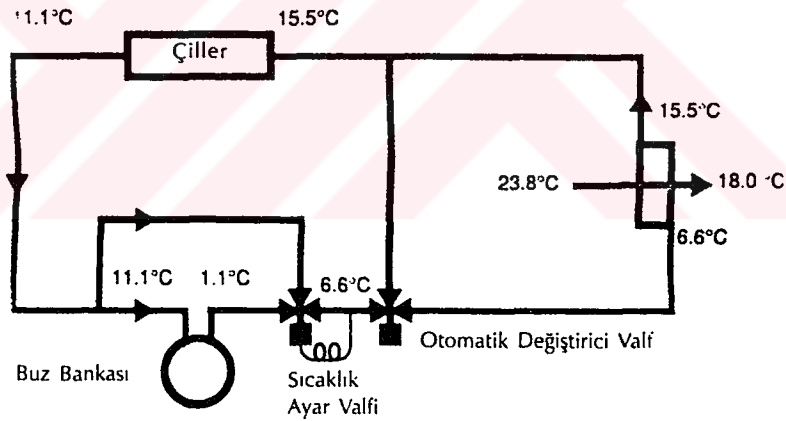
Geceleri su-glikol solüsyonu hava tutucu boru demetleri yanından geçerek soğutucunun ve buz bankası ısı değiştiricisinin içinde dolaşır. Sıvı $-3,3^{\circ}\text{C}$ 'dir ve ısı değiştiriciyi çevreleyen suyu dondurur (Şekil 5.16)

Gün içinde solüsyon buz bankası tarafından 11°C 'den $1,1^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar soğutulur. Buz bankası çevresindeki baypas çevrimi içinde $6,6^{\circ}\text{C}$ 'de tutulan ısı ayarlayıcı bir valf $11,1^{\circ}\text{C}$ 'de yeterli



Şekil 5.16 Kısmi depolama için tipik şarj çevrimi

miktarda sıvının buz bankasının yanından geçmesini, 1,1 °C ısıdaki sıvıyla karışmasını ve 6,6°C'lik istenen ısıyı elde etmesini sağlar. 6,6°C'lik sıvı havayı 23,8°C'den 12,7°C'ye kadar soğutacak boru demetine girer. Sıvı boru demetini 15,5°C'de terk eder, soğutucuya gelir ve 11,1°C'ye kadar soğutulur (Şekil 5.17).



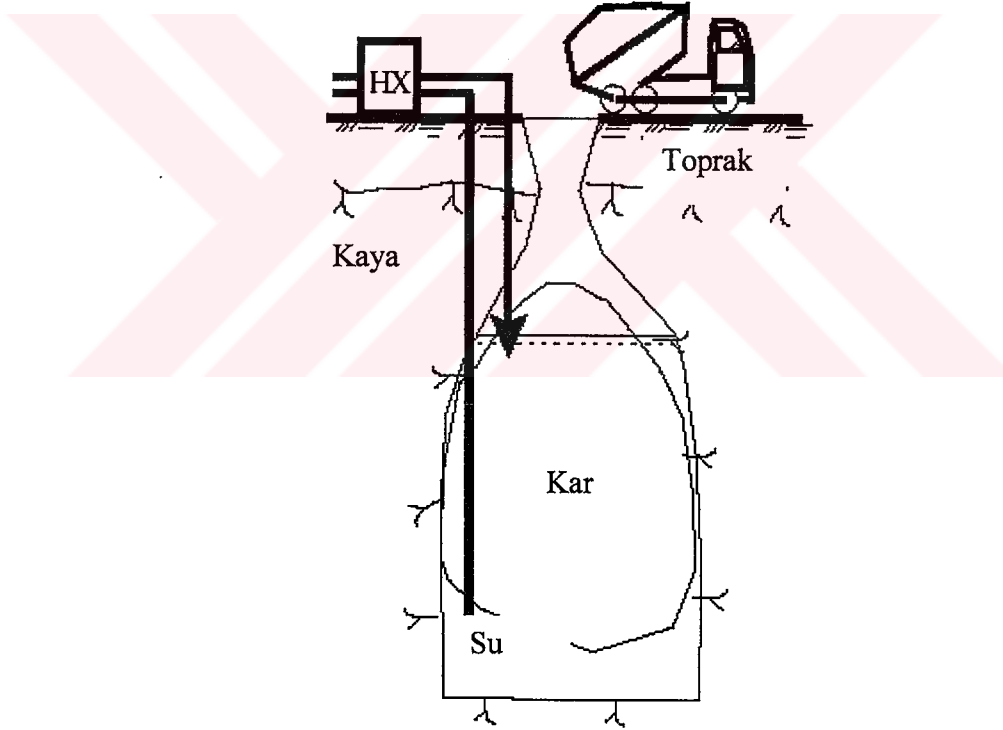
Şekil 5.17 Kısmi depolama için tipik deşarj çevrimi

Dikkat edilmelidir ki soğutucu, gece buz yaparken geleneksel havalandırma sistemleri için gereken 6,6°C'lik su ısını üretmek yerine, su glikol solüsyonunu 3,3°C'ye soğutmaktadır. Bu, soğutma kapasitesini yaklaşık olarak yüzde 30 oranında hafifletici etkiye sahiptir. Kompresör etkinliğini biraz azalır, çünkü düşük gece ısıları soğutma kulesinden daha soğuk kondansatör suyu gelmesine sebebiyet verir ve ünitenin etkili bir şekilde çalışmasını sağlamaya yardımcı olur.

Baypas çevrimdeki ısı ayarlayıcı valf, sınırsız kapasite kontrolü sağlamak gibi fazladan bir

ederek daha sonra buharlaşmasını sağlar buda kar yığınının ekstradan soğumasına olanak tanır. Çeşitli buz depolama teknolojileri vardır. Bunlar;

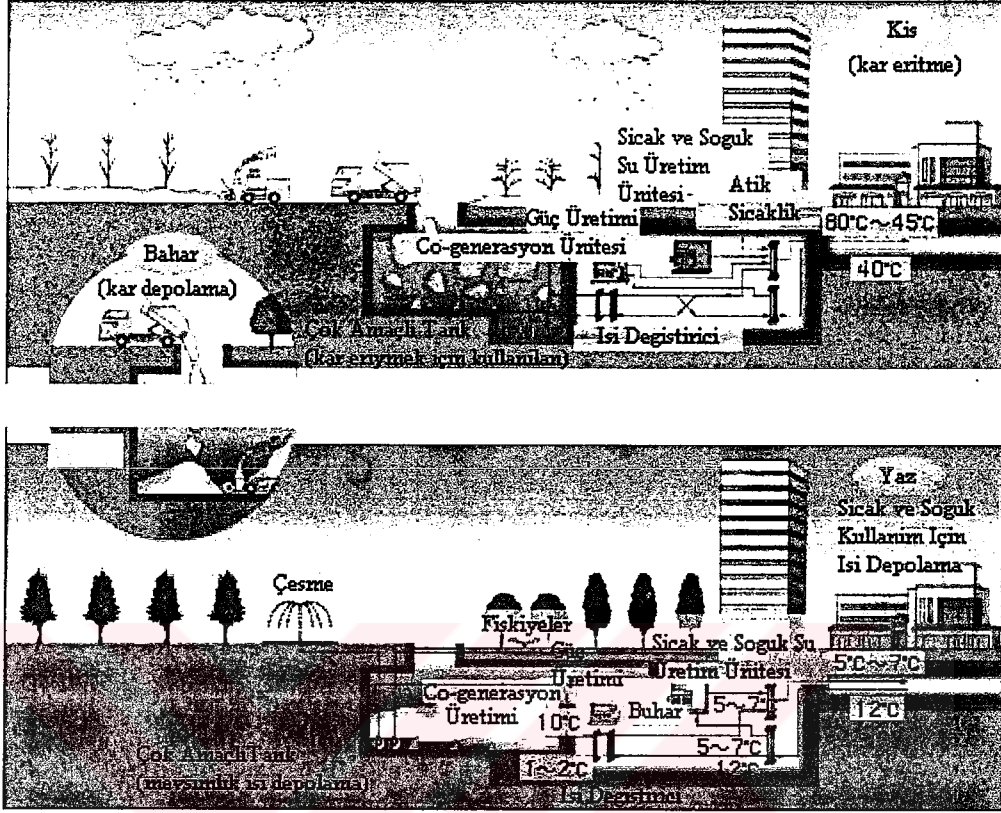
- Buz havuzu: Buz havuzunun alt tarafı plastik gibi bir malzemeyle sızdırmazlık sağlaması için kaplanır, üst tarafında ise izolasyon vardır. Bu havuzda yağan kar veya üretilen buz depolanır.
- Soğuk duvar: izolasyonsuz bir sistemdir. Kış mevsiminde duvar yüzeyine çok ince bir su tabakası gönderilir ve üzerinden soğuk dış hava geçirilir. Bu böyle sürer. 20 m den fazla bir buz kalınlığı bu şekilde elde edilebilir. Çok soğuk yağışsız iklimler için uygundur. Maliyeti fazladır.
- Himuros: japon kar evine verilen isimdir. Evin bir odası kar veya buz için ayrılırken diğer oda örneğin sebzeler içindir. Aynı kat veya farklı katlarda olması sistemi etkilemez. Hava akımı doğal sirkülasyonla sağlanır ve kapakların açılıp kapatılmasıyla kontrol edilir.



Şekil 5.19 Kar yığını depolanması

- Kar depolama: çok fazla kar alınan gelişmiş şehirlerde yerdeki karlar toplanarak şehir dışına çıkartılır ve bırakılır. Bu toplanan kardan yararlanarak soğutma sağlama üzerine çalışmalar ve uygulamalar yapılmıştır. Bu tip bir depolamada izolasyoa ihtiyaç vardır. Lulea Üniversitesindeki çalışmada ise izolasyona ihtiyaç duymayan şekil 5.19'da

gösterilen sistem üzerinde çalışılmaktadır (Nordell ve Skogsberg, 1999). Şekil 5.20 kar depolu bir sistemi şematik olarak göstermektedir (Skogsberg, 2001).



Şekil 5.20 Kar depolayarak iklimlendirme

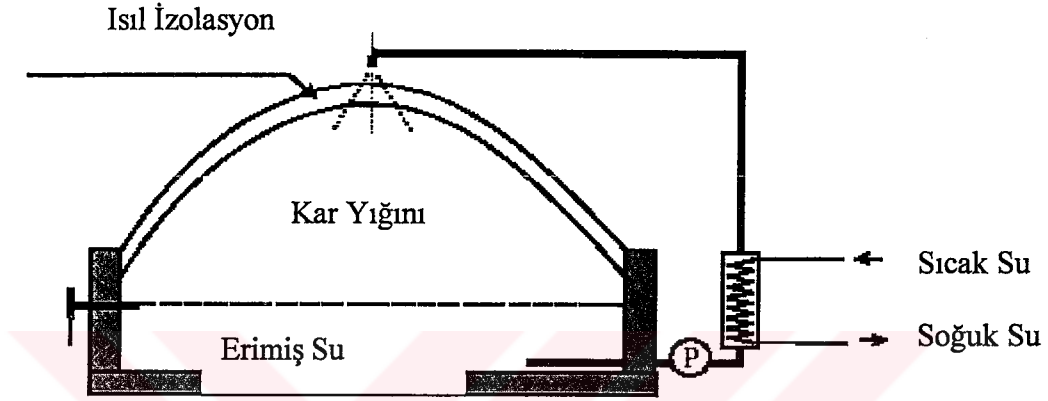
İklimlendirme sağlayabilecek düşük sıcaklıktaki akışkanın eldesi için ısı eşanjörüne sıfır derece sabit sıcaklıktaki su çekilir. Eşanjörde ısınan su buzun içinden geçirilir. Bu sırada buzda erimeler olacaktır. Fakat buz yani kar yığını kuyuda olduğu sürece suyun sıcaklığı hep 0°C olacaktır. Kar yığınlarından mevsimsel soğutma sağlayan benzer bir sistem İsveç'teki yerel bir hastaneye kurulmuştur. Hastanenin yazlık ısı kazancı 1000MWh ve maksimum yük 2500kW tır. 140m x 60 m boş bir arazide hazırlanan çadırımsı alana şehir temizlenirken toplanan karlar konacaktır. Çadır hacmi 30000 m³ tür ve yaklaşık 20000 ton kar yığınının depolanmasına olanak tanır. Teorik olarak 1800 MWh lik gizli ısı depolamaktadır ayrıca 100MWh likte duyulur ısı kapasitesi vardır. Kar erime miktarını $M=k \cdot T \cdot A$ veya izolasyonu da hesaba katarsak;

$$M = \frac{\lambda \cdot A \cdot T}{F \cdot \rho_w \cdot d} \quad (5.1)$$

ile ifade edilebilir. Ayrıca $A=f(V)$ ve

$$\frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \frac{\partial V}{\partial t} = M \quad (5.2)$$

yazılabilir. Burda; M Eriyen su ($m^3/\text{gün}$), k derece-gün sabiti ($m^\circ\text{C-gün}$), T hava sıcaklığı > donma $^\circ\text{C}$, A kar yığını alanı (m^2), V kar yığını hacmi (m^3), ρ_w suyun yoğunluğu (kg/m^3), ρ_s kar yoğunluğu (kg/m^3), λ izolasyon malzemesinin ısı iletkenliği ($\text{W}/m^\circ\text{C}$), D izolasyon kalınlığı (m), F gizli ısı (334 kJ/kg). Hesaplamaların hastane için yapılmasının ardından şu



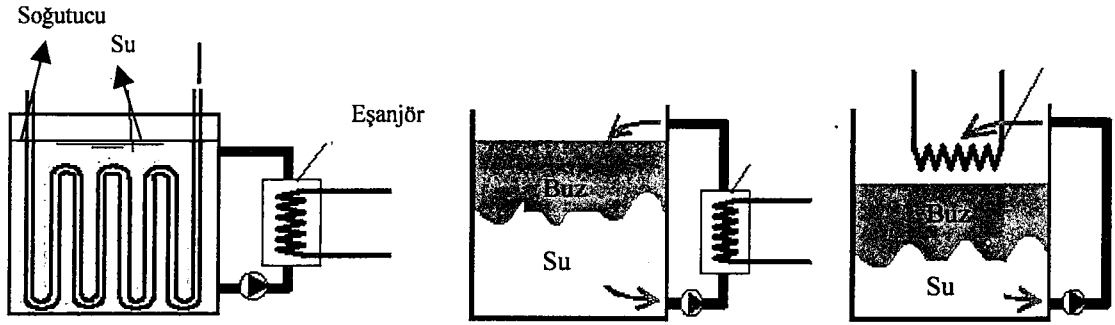
Şekil 5.21 Sundsvall kar deposu

sonuçlar ortaya çıkmıştır. Yerin sıcaklık farkından dolayı eriyen kar miktarı %2 civarındadır ve kayda değer değildir. Yağan yağmurlar ise %1,3 gibi bir oranda kar yığınınında erimeye sebebiyet vermektedir. İzolasyonun yapılması gereklidir (tahta talaşı). Yaz ikliminden kaynaklı doğal kar erimesine karşın kalan miktar yaz boyu istenen iklimlendirmeyi sağlamaktadır (Nordell ve Skogsberg, 1999).

YSD için soğuk enerji kaynakları su (sığ ve derin sular), kış havası, kar olarak tanımlanır. YSD için soğuk depolama potansiyelini hesaplamak için “gün-derce” metodu GDM ve bu metodun bir gelişmiş hali olan “soğuk enjekteli derece saat” SEDS metodu kullanılır. GDM çeşitli bölgelerin iklim indeksidir. GD ortalama günlük hava sıcaklığı (T_m) ile yer sıcaklığı (T_b) arasındaki farkın toplamıdır. $GD = \sum^N (T_m - T_b)$ olarak ifade edilir. N gün veya saat olarak hesaplama süresidir. Günlük ortalama hava sıcaklığı yerine saatlik hava sıcaklığı ortalamasını kullanmak YSD sistemleri için daha uygun olacaktır. $SEDS = \sum^N (T_m - T_b)$. N hesaplama periyodu için saat sayısıdır (Dikici vd., 2001)

Buz depolama sistemleri hacmen su depolama sistemlerine göre daha az yer kaplarlar. Bunun sebebi buz-su gizli ısısının yüksek olmasıdır. Hacim avantajı nedeniyle su depolamanın

mümkün olmadığı küçük binalar için uygundur. Ayrıca gıda endüstrisinde çok yaygın olarak kullanılırlar (Yamaha, 1999)

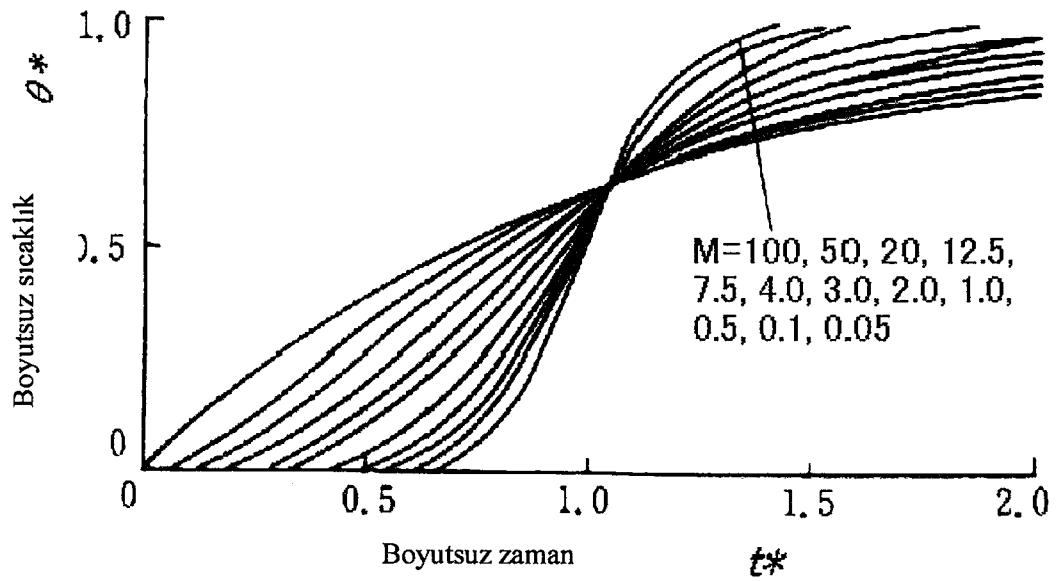


Şekil 5.22 Buz depolama sistemleri tipleri

Nakajima (1972) depolamadaki ısı transferini tek boyutlu olarak aşağıdaki gibi belirtmiştir.

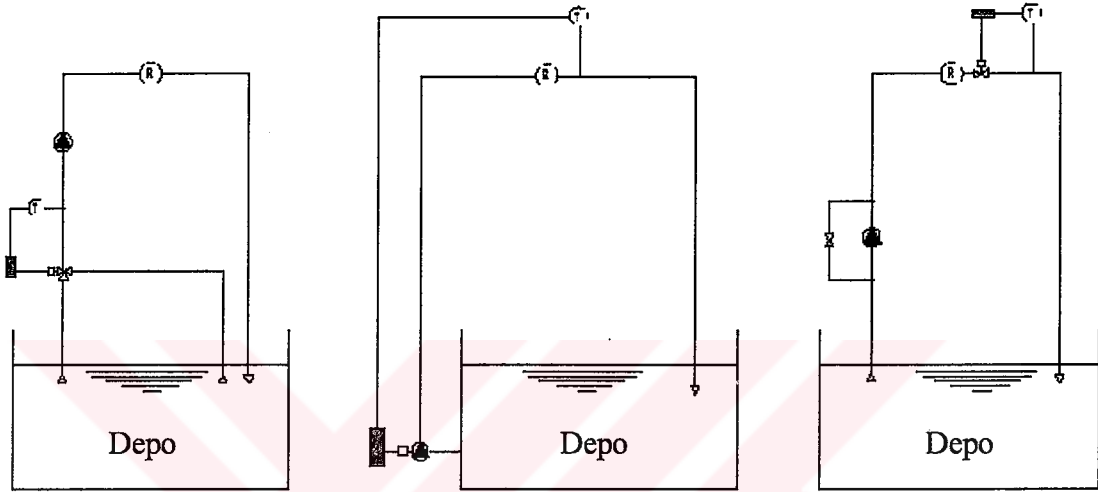
$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u \frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{1}{2M} \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \quad (5.3)$$

Burda M deponun karışma karakteristiği için bir katsayıdır. θ boyutsuz sıcaklık, t boyutsuz zamandır. Aralarındaki ilişkiyi gösteren grafik aşağıdadır. M sıfırken depo tam karışmış durumdadır.



Şekil 5.23 M değerine göre deponun sıcaklık karşılığı

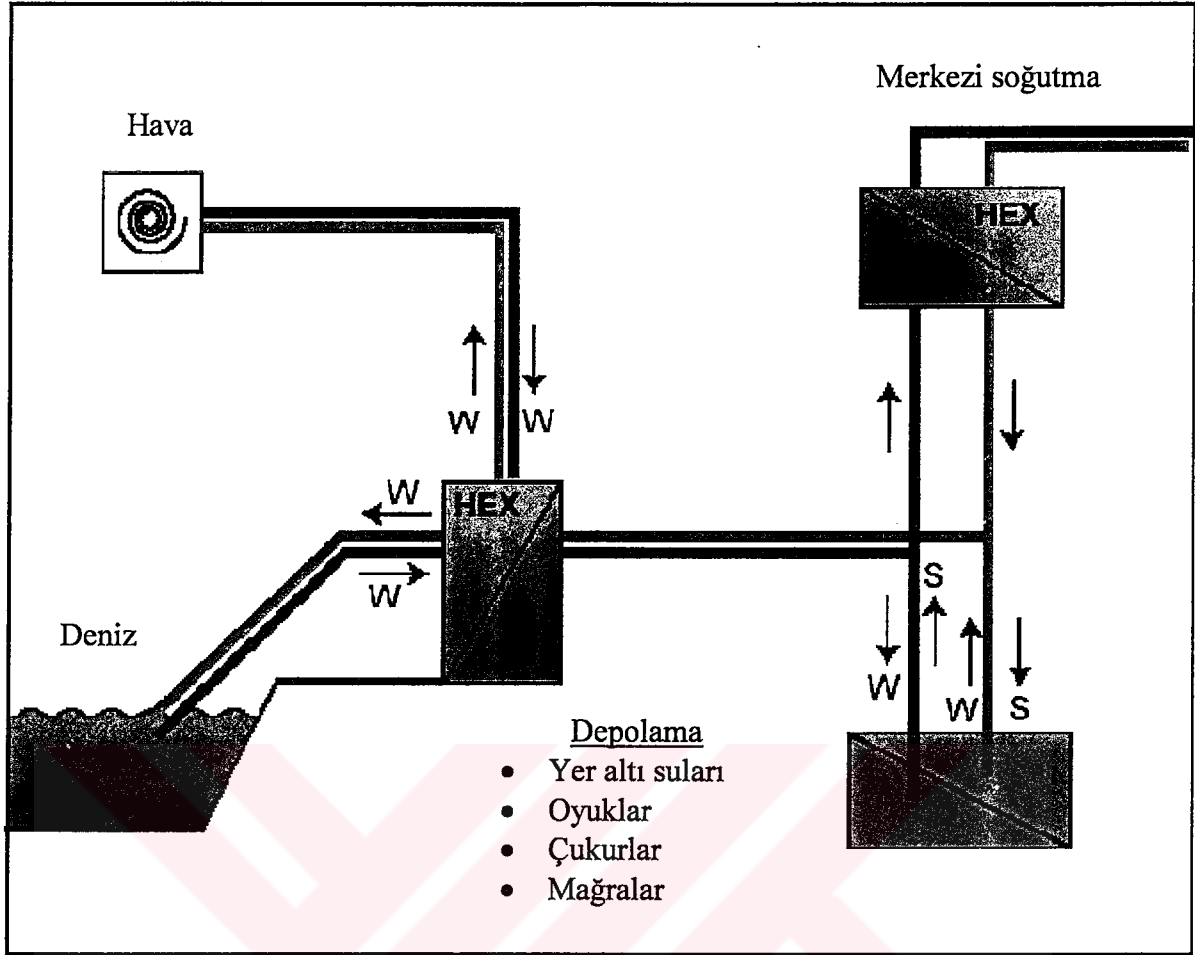
Şekil 5.24 ise depolama sistemlerinin kontrol stratejilerini göstermektedir (Yamaha, 1999). Çillerden gelen suyun sıcaklığı, depodaki suyun sıcaklık dağılımının düzgün olması için, sabit kalmalıdır. Bu tip sabit hacim kontrolünde çillerin giriş suyu sıcaklığı esas alınır. Değişken hacim kontrolünde çıkış suyu sıcaklığına göre çillerin kontrolü sağlanır. Pompa çift yönlü çalışırsa enerji tüketimi azalacaktır. Fan-coiller için strateji çevre sıcaklığı ile olan sıcaklık farkının çoğaltılmasının sağlanmasıdır. Kontrol çift yönlü valflerle sağlanabilir.



Şekil 5.24 Çiller kontrolü için şematik diyagram

Andersson (1999) çeşitli iklimlerde yeraltında soğuk depolamayı (YSD) incelemiştir. Merkezden elde edilen soğu enerjisini bağlı bulunduğu tesisat üzerinden çeşitli kullanıcılara sunan bölgesel soğutma sistemlerine (BS), IED sistemlerinin eklenmesinin faydalarından bahsedilmiştir. İsvçteki bir BSS uygulamasında sistem içindeki sıcaklık farkı 10 °C iken daha sıcak iklimlerde bu sıcaklık farkı daha büyük olabilir. Şekil 5.25 BS için YSD sistemlerini şematize etmektedir.

Soğuk enerji kaynağı (hava, deniz suyu, vb.) kış boyu depolanmak üzere ısı eşanjörleri vasıtasıyla depolama sistemini şarj eder. Yaz Mevsiminde ise sistem BS sistemine soğu enerjisi sağlayarak deşarj olur. Yer altı suları her zaman depolama için gerekli özellikleri göstermezler. Bu durumda oyuklarda borulama yaparak depolama daha uygun olabilir. Fakat bu çok maliyetlidir. Gece gündüz arası hava sıcaklığını çok olduğu yerlerde kısa süreli depolama ile de soğutma sağlanabilir. Çeşitli şehirlerin iklimleri için Çizelge 5.2 hazırlanmıştır.



Şekil 5.25 Mevsimlik depolama ile yıl boyu ücretsiz soğutma.

Çizelge 5.2 Sıcak iklimlerdeki bazı şehirlerin dengeli mevsimsel depolama için verileri (Soğuk kaynağı dış hava)

Şehir	Şarj (kış mevsimi, deniz, hava,..vb)		Deşarj (Yaz Mevsiminde kullanılıyor)	
	Maksimum T (°C)	Süre (saat)	Minimum T (°C)	Süre (saat)
Cidde	25	2000	31	1800
Kahire	20	2000	28	2200
Alger	20	3000	23	3000
Riyat	20	2500	29	2800
Bağdat	20	3000	27	3300
Tahran	15	3000	22	3800

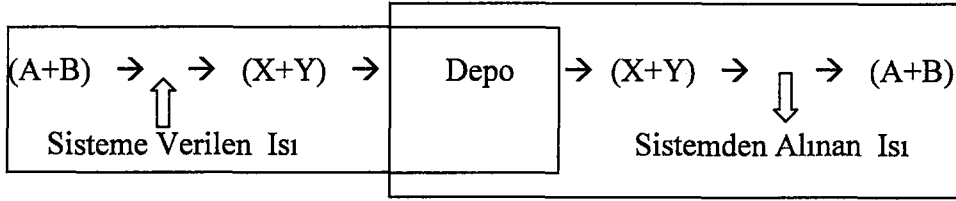
Çizelgeden anlaşılacağı gibi tahran YSD için Cidde'den daha uygundur (Andersson, 1999)

Öztekin vd (1999) kirazların hedef marketlere gönderilmeden önce klasik sistemlerle soğutulmasına alternatif olarak yeraltında soğu enerji depolama sistemlerinin kullanılmasını

önermiştir. Türkiye kiraz üretiminde dünyada 5. sıradadır. Ürünün büyük bölümü ihraç edilmektedir. Rekabetin üst düzeyde olduğu ihracat pazarında sadece iyi ürün kalitesi müşteri memnuniyetini sağlamamakta aynı zamanda bu kalitenin müşterinin eline geçene kadar aynı kalmasını sağlayacak soğutma işlemlerinde yapılmış olması gerekmektedir. Soğutma sistemlerinin yapı ve işletim maliyetleri sistemden sisteme değişmektedir. Yüksek soğutma maliyetleri ürün fiyatını rekabet edebilir fiyattan uzaklaştıracaktır. Maliyet iyi izolasyon, tam güçte çalışma ve destek ısı enerjisi depolama sisteminin sisteme eklenmesiyle sağlanabilir. Ürün soğutulmadan önce ürünün nemi ve sıcaklığı iyi bilinmelidir ayrıca paketleme boyutlarında önem taşır. Klasik soğutma sistemleri; oda soğutma, havalı soğutma, hidrosoğutmadır. Soğuk hava enerji kaynağı olarak kullanılmıştır. Yaz aylarında kirazları soğutma ihtiyacı olduğunda, kışın soğutulan su soğuk odaya gönderilerek kullanılır. YSD ve yeraltında kanalda depolama sistemlerinin doğru seçimi ve kurulumu iklime, jeolojik ve hidrojeolojik verilere dayanır. IED sisteminin kiraz üretimindeki faydaları şöyle sıralanabilir: İşletme maliyetlerinde azalma, üretim maliyetinde azalma, elektrik sistemine daha az bağımlı olma, elektrik kesintilerinden dolayı ürün bozulmasını engelleme, ozona zarar veren gaz kullanımında azalma, Türkiye'nin kiraz üretim planlamasında daha iyi yapılabilmesi. Orta anadolu ve doğu anadolu bölgelerinde YSD sistemleriyle soğuk depolamak için en uygun kaynak kış soğuk havasıdır. Ayrıca akdeniz ve ege bölgelerinde de YSD ile soğuk depolama için potansiyel vardır. Nemli tropikal iklimlerde soğuk depolama olanağı yoktur. Kuru iklimlerde SD için uygulama imkanı vardır (Dikici vd., 2001).

6. TERMO-KİMYASAL ISI DEPOLAMA

Termo-kimyasal depolamada (TKD) herhangi bir ısı kaynağından gelen ısı endotermik reaksiyonun oluşmasını sağlar. Reaksiyon sonucu oluşan ürünler depoda saklanır. Depolanan ısıyı kullanmak istediğimizde reaksiyonun ters yönde oluşmasını yani ekzotermik reaksiyonun oluşmasını sağlarız. Sorbsyon da ısı depolama için kullanılabilir. $CD + ISI \rightarrow C+D$. Yani CD ayrı ayrı depolanabilen iki C ve D bileşenine ayrılmıştır. C ve D birbirlerine karıştırıldığında CD oluşacak ve ısı açığa çıkacaktır (Lund, 2000).



(a) endotermik reaksiyon

(b) ekzotermik reaksiyon

Daniels (1962 ve 1964) TKD sistemleri için uygun ilk tersinir kimyasal reaksiyonları belirlemiştir. Bunlar sülfirik asit/su, fosforik asit/su, kalsiyum oksit/su, kalsiyum klorit/su, nikel klorit/amonyum, azot diyoksit/silika jel dir.

Doğal zeolitler, kristal yapılarını bozmadan su adsorblamaları, desorblamaları ve su adsorblama ısılarının yüksek olması nedeni ile, daha sonra kullanılmak üzere ısının efektif ve yüksek verimli bir biçimde depolanmasında da kullanılabilir. Zeolitler dışında bu amaçla kullanılma potansiyeli olan maddelerin verimlerinin düşük olması ve pahalı olmaları, zeolitlerin bu alandaki önemini daha da arttırmaktadır [6].

Schmidt (1985) termokimyasal ısı depolama (TKD) sistemleri ile DID ve GID sistemlerini karşılaştırmıştır. TKD sistemlerine uygun reaksiyonları gözden geçirmiştir. TKD sistemlerini diğer IED sistemlerinden ayıran temel özellik, diğer IED sistemlerinde depolama ortam sıcaklığının çevre sıcaklığından oldukça yüksek olmasıdır. Buda DID ve GID sistemlerinin zaman içinde iletim, taşınım, ışınım yollarıyla ısı kayıplarına uğrayacağını göstermektedir. Isı kayıplarını azaltmak için izolasyon yapılmalıdır. TKD sistemleri ise rahatlıkla çevre sıcaklığında depolamaya olanak tanır. TKD sistemlerinin potansiyel uygulamaları arasında güç santrali fazla ısısı, sanayi ve nükleer atık ısıların depolanması, jeotermik güç çevrimleri, güneş enerjili uygulamalar ve diğer sezonluk enerji depolama uygulamaları vardır. TKD sistemlerinin temeli tersinir kimyasal reaksiyonlardır. Bu reaksiyonlar bir yönde ısı alırlar ters yönde ise ısı verirler. TKD reaksiyonları diğer kimyasal enerji depolama sistemlerinden farklıdır. Diğer kimyasal depolama sistemleri arasında lead-asit pillerinde kullanılan

elektrokimyasal depolama, enerji kaynağı ışık olduğunda kullanılan fotokimyasal depolama, radyostop parçalanmalarındaki geri tepmeleri kaynak olarak kullanan fisyokimyasal depolama sistemleri vardır. TKD sistemleri çalışma sıcaklık yönetimine göre, reaktanların fiziksel hallerine (katı, sıvı, gaz) göre ve reaksiyonla ilgili hacim değişimlerine göre sınıflandırılabilirler.

Çizelge 6.1 TKD sistemi deşarj sıcaklığına göre sınıflandırma

	Çıkış Sıcaklığı (K)
Düşük sıcaklık TKD	<530
Orta sıcaklık TKD	640-810
Yüksek Sıcaklık TKD	870-1100
Çok-Yüksek sıcaklık TKD	>1140

TKD bileşenlerin reaksiyon veya depolama sürecindeki fiziksel hallerine göre de sınıflandırılabilirler. Reaksiyon sıcaklığında reaktanların gaz olması reaksiyonun kontrolünü ve çevre sıcaklığında ürünlerin sıvı olması da depolamayı kolaylaştırdığı için tercih edilirler. Bu şartları yerine getirebilen en uygun $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ tepkimesi vardır. Fakat H_2SO_4 ayrışma ürünlerinin davranışları mükemmel değildir. Bu konudaki çalışmalar devam etmektedir. Bileşenlerinin çoğu gaz olan alternatif $\text{CO} + 3\text{H}_2 \leftrightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$ veya $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \leftrightarrow 2\text{NH}_3$ reaksiyonlar da bulunmaktadır. Sıkıştırılmış gazlar, düşük depolama yoğunluğu ve yapılması gereken sıkıştırma işlemleri nedeni ile TKD için pek uygun olmamakla birlikte, kimyasalların deşarjın yapılacağı yere uzaklığının fazla olduğu, transportasyonun kanallarla sağlandığı hallerde yararlı olabilir. Çünkü kanalların kendisi sıkıştırılmış gazlar için depo görevi görür ve enerji nakli de sağlanmış olur. TKD sistemleri genelde kapalı çevrim olarak çalışırlar. Fakat bazı reaksiyonlarda (oksijen, azot veya su içeren) ortaya çıkan yararsız gazların atılması ve çevre havası ile suyun kullanımı gerekebilir. Bunlarda maliyeti artırır. Katı içeriği bulunan reaksiyonların dezavantajı ise depo ile reaktör arasında devamlı transportasyon ihtiyacı olmasıdır. Veya katılar reaktörün içinde hep olmalıdır. TKD sistemlerinde tersinirlik dışında önemli seçim kriterlerinden biride birim hacim veya kütle başına enerji depolama kapasitesidir. Bu kriterlerden sonra önemli bir soruda reaksiyonun oluşum hızı nedir olmalıdır. Bu sorunu cevabı reaksiyon kinetiklerinin incelenmesiyle bulunabilir. Diğer seçim kriterleri ise bilindiklerdir. Kimyasallar korozyona sebebiyet vermemeli, zehirli olmamalı, yanıcı olmamalı, patlayıcı olmamalı, rahat depolanabilmeli, tükenmez olmalı, kimyasalın kendisi ve ekipmanları ucuz olmalıdır. Birçok uygulamada reaksiyonun tersinme kabiliyeti ve depolanan enerjinin büyüklüğü kadar oluşacak

ağırlıkta önem arzeder. Çizelge 6.2 ve 6.3 katı bileşen içeren ve içermeyen reaksiyonlar olarak gösterilmiştir.

Çizelge 6.2 Katı bileşenleri içermeyen TKD reaksiyonları

Reaksiyon * Ekzotermik \rightleftharpoons Endotermik	Reaksiyon Entalpisi 25°C	Sıcaklık (°C)	
	(kJ / kg)	% 90 Oluşma	%90 Ayrışma
CO (G) + 3H ₂ (G) \leftrightarrow CH ₄ (G) + H ₂ O (S)	7345	-	-
CO (G) + 3H ₂ (G) \leftrightarrow CH ₄ (G) + H ₂ O (G)	6053	481	1193
C ₂ H ₄ (G) + H ₂ (G) \leftrightarrow C ₂ H ₆ (G)	4561	568	932
2CO (G) + 2H ₂ (G) \leftrightarrow CH ₄ (G) + CO ₂ (G)	4118	505	879
CO (G) + 2H ₂ (G) \leftrightarrow CH ₃ OH (S)	3996	72	161
N ₂ (G) + 3H ₂ (G) \leftrightarrow 2NH ₃ (S)	3861	-	-
N ₂ (G) + 3H ₂ (G) \leftrightarrow 2NH ₃ (G)	2695	73	255
2NO (G) + O ₂ (G) \leftrightarrow N ₂ O ₄ (S)	1750	276	657
SO ₂ (G) + Hava \leftrightarrow SO ₃ (G)	1544	533	997
SO ₂ (S) + ½ O ₂ (G) \leftrightarrow SO ₃ (S)	1517	519	962
SO ₂ (G) + ½ O ₂ (G) \leftrightarrow SO ₃ (G)	1235	519	962
NO (G) + ½ O ₂ (G) \leftrightarrow NO ₂ (G)	1243	276	657
CO (G) + Cl ₂ (S) \leftrightarrow COCl ₂ (S)	1172	355	608
NO ₂ (G) + NO ₂ (G) \leftrightarrow N ₂ O ₄ (S)	932	15	108
SO ₃ (S) + H ₂ O (S) \leftrightarrow H ₂ SO ₄ (S)	885	262	450
SO ₂ (G) + Hava \leftrightarrow SO ₃ (G)	727	533	997
NO (G) + ½ Cl ₂ (S) \leftrightarrow NOCl (S)	695	152	546
H ₂ O (S) + H ₂ SO ₄ (S) \leftrightarrow H ₂ SO ₄ ·H ₂ O (S)	230	-	-

TKD sisteminin çalışma sıcaklığı rejimini belirlerken yüzde yüz dönüşüm sadece çok-yüksek sıcaklıklarda olabileceğinden her iki yönde yüzde 90 dönüşüm oluşacağı kabul edilmelidir. Sistemin çalışma sıcaklığı reaksiyonun molar ısısının molar entropi değişimine bölünmesiyle kolayca bulunabilir. Yukarıdaki sıvı-gaz tablosunda birim kütle başına en yüksek enerji bırakan reaksiyon metanlaşma reaksiyondur. Fakat bu ve ardındaki dört reaksiyonun da dezavantajı kimyasalların şarjlı durumda atmosferik basınçta sıvı halde kalmamalarıdır. Gazların düşük yoğunluktaki depolama kabiliyeti arzu edilmeyen bir durumdur. Depolanabilme kabiliyeti bakımından en iyi sistem sülfür trioksit sistemidir. Katı bileşenleri de içeren Çizelge 6.3'te birim kütle başına en fazla enerji depolama kabiliyeti lityum hidrat ta vardır. Fakat sistem çok yüksek sıcaklıklarda çalışır ve yüksek basınçta gaz hidrojene ihtiyaç duyar. TKD sisteminin seçiminde sistem kinetikleri de önemli bir rol oynar. Çoğu

* S : Sıvı, K : Katı, G : Gaz

reaksiyonda katalizör kullanımı gerekir. Katalizörler sadece reaksiyonu hızlandırmazlar aynı zamanda oluşabilecek yan reaksiyonları engeller, istenilen yönde istenilen reaksiyonların

Çizelge 6.3 Katı bileşenleri içeren TKD reaksiyonları

Reaksiyon*	Reaksiyon Ekzotermik	Reaksiyon Entalpisi 25°C	P _{ayırışma}		
			0,1 bar	1 bar	P _{yoğuşma}
Endotermik		(kJ / kg)	Sıcaklık (°C)		
Li	(K) + ½ H ₂ (G) ↔ LiH (K)	11403	908	950	-
NaF	(K) + (HF) _n (S) ↔ NaHF ₂ (K)	4442			
Li ₂ O	(K) + CO ₂ (G) ↔ Li ₂ CO ₃ (K)	3029			
Na ₂ O	(K) + CO ₂ (G) ↔ Na ₂ CO ₃ (K)	3014		2172	
Mg	(K) + H ₂ (G) ↔ MgH ₂ (K)	2893	227	287	
CaO	(K) + SO ₃ (S) ↔ CaSO ₄ (K)	2539			
CaO	(K) + CO ₂ (G) ↔ CaCO ₃ (K)	1776	755	898	
MgO	(K) + CO ₂ (G) ↔ MgCO ₃ (K)	1387		397	
BaO	(K) + CO ₂ (G) ↔ BaCO ₃ (K)	1353		1200	
NiCl ₂	(K) + 6NH ₃ (S) ↔ (Ni(NH ₃) ₆)Cl ₂ (K)	1301			
NH ₃	(S) + H ₂ SO ₄ (S) ↔ NH ₄ HSO ₄ (K)	1256	-	-	-
KF	(K) + (HF) _n (S) ↔ KHF ₂ (K)	1031			
CaO	(K) + H ₂ O (S) ↔ Ca(OH) ₂ (K)	880	449	547	403
MgO	(K) + H ₂ O (S) ↔ Mg(OH) ₂ (K)	644	341	376	325
BaO	(K) + H ₂ O (S) ↔ Ba(OH) ₂ (K)	598	779	998	688
FeCl ₂	(K) + 6NH ₃ (S) ↔ (Fe(NH ₃) ₆)Cl ₂ (K)	302			
CaCl ₂	(K) + 6NH ₃ (S) ↔ (Ca(NH ₃) ₆)Cl ₂ (K)	210			

oluşumunu sağlarlar. Yeterli ve gerekli katalizör kullanımı aşağıda gösterilen ve istenmeyen yan reaksiyonların oluşumunu engellemelidir (Schimidt, 1985).

İstenilen reaksiyon: $\text{CO} + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$

Yan reaksiyonlar: $\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$

$\text{CO} + n\text{H}_2 \rightarrow$ parafinsel hidrokarbonlar

$\text{CO} + \text{H}_2 \rightarrow \text{C}_s + \text{H}_2\text{O}$

$2\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$

$\text{CO} + \text{H}_2 \rightarrow \text{HCHO}$

$2\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{C}$

Schmidt (1985) çeşitli TKD sistemlerini incelemiş bunların özelliklerinden bahsetmiştir. Bu sistemlerden ikisi aşağıdadır. Tamamen sıvı sistemler, içinde gaz veya katı hal barındıran sistemlere tercih edilirler çünkü sıvılar katılardan farklı olarak pompalamaya olanak tanır ve gazlara nazaran da daha büyük ısı depolama kabiliyetine sahiptir.

Sülfirik asit/ su sistemi: Bu sistemde ısı enerji, su-sülfirik asit karışımını ayrıştırmak için kullanılır. Su ve sülfirik asit ayrı depolarda saklanır. Isı ihtiyacı olduğunda tekrar birleştirilirler. Sistemin avantajları ise tüm bileşenlerin kullanılırken ve depolanırken sıvı halde olması ve düşük sıcaklık ısı kaynağını daha yüksek sıcaklıklarda kullanmak üzere depolanabilmesidir.

Metanlaşma Reaksiyonu: Kimyasal ısı pompalarında kullanma olanağı vardır. Ayrıca nükleer ısı enerjinin reaktörden kullanım noktasına naklinde kullanımı uygundur.

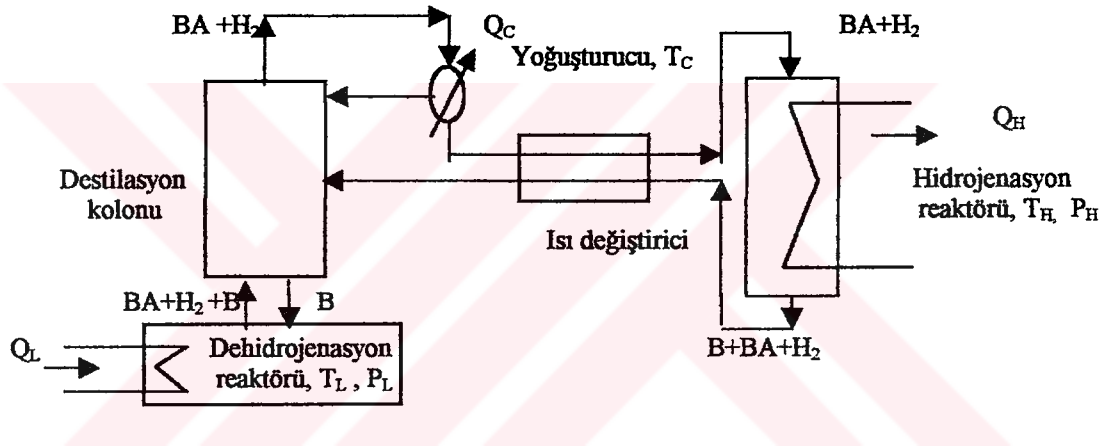
Dinçer, (1999) güneş enerji uygulamalarında TKD sistemlerini özetlemiştir. Bu çeşit bir depolama için, söz konusu kimyasal reaksiyonların tamamen tersinir/çift yönlü olmaları gerektiğine değinmiştir. Solar alıcı tarafından üretilen ısı, bir endotermik kimyasal reaksiyon yaratmak için kullanılır. Eğer bu reaksiyon tamamen tersinir olursa, ısı ters bir reaksiyonla geri alınabilir. Isıyı kurtarmak için genellikle katalizörler gereklidir. Bu daha avantajlıdır, çünkü reaksiyon da katalizörler tarafından kontrol edilebilir. IED'in bir tersinir termokimyasal reaksiyondaki bilinen avantajları, yüksek depolama enerji yoğunlukları, var olan sıcaklıkta uzun depolama süresi ve ısı-pompalama kapasitesidir. Dezavantajları arasında karmaşıklık, operasyon koşullarının çeşitliliğine bağlı olarak kimyasal bileşenlerin ve reaksiyon kinetiğinin termodinamik özelliklerinde belirsizlikler, yüksek maliyet, zehirlilik ve yanabilirlik vardır. Endotermik reaksiyonlarda proses ısı enerji absorbe ederek oluşmaktadır. Kimyasal reaksiyon ters olarak yapıldığında bu sefer aldığı ısıyı geri verecektir. $H_2SO_4-H_2O$ ve $NaOH-H_2O$ sistemlerini örnek olarak gösterebiliriz. Her iki sistemde de, su ısı etkisiyle serbest hale geçirilir. Daha sonra maddeler birbirleri ile karıştırıldığında ısı açığa çıkar. Termokimyasal enerji depolama sistemlerinde iki madde birbirinden ayrı tutulduğu için diğer depolama sistemlerinden daha karmaşık ve pahalıdır. Güneş uygulamalarında kimyasal depolama yöntemi kullanımı uygun görülmeyle beraber hala geliştirilme aşamasındadır.

Birçok prosesin enerji verimini arttırmak amacıyla, düşük sıcaklıklarda oluşan ve çevreye verilen atık ısıyı geri kazanmak ve bu ısının kalitesini yükseltmek için mekanik ısı pompaları

* S : Sıvı, K : Katı, G : Gaz

kullanılır. Ancak, ısıl performans katsayıları düşük ve işletme masrafları yüksek olduğundan küçük ölçekli işletmeler için kullanımları sınırlıdır (Chung vd., 1997). Diğer taraftan, absorpsiyon ve adsorpsiyon ısılarını kullanarak nispeten yüksek sıcaklıklarda ısıl enerji sağlayan ve büyük ölçekli endüstriyel uygulamalar için tasarlanan sorpsiyon ısı pompalarında sistem bileşenleri arasında büyük basınç düşüşleri olduğundan, işletme ve bakım maliyetleri yüksektir. Çevreyle olan sıcaklık farklarından kaynaklanan enerji kayıpları olmaksızın, kimyasal maddelerdeki ısıyı depolayabilen, hem mekanik hem de sorpsiyon ısı pompalarına alternatif olarak tasarlanan kimyasal ısı pompaları, birçok işlemin (ısıl enerji depolama, ısı pompalama, ısı kalitesini artırma ve soğutma vb.) aynı anda uygulanmasına izin veren ısıl enerji değerlendirme sistemleridir ve endüstriyel prosesler için önemli ölçüde kullanımları beklenmektedir (Mbaye vd., 1998 Meng vd., 1997; Mooksuwan ve Kumar, 2000; Wongsuwan vd., 2001). Kimyasal ısı pompaları mekanik enerji girişi gerektirmezler. Atık ısılarından ya da güneş ve jeotermal gibi çeşitli kaynaklardan elde edilen düşük sıcaklıktaki ısılar, endüstriyel proseslerde yüksek seviyedeki enerji gereksinimleri karşılayabilecek şekilde kimyasal ısı pompalarından yararlanılarak yükseltilebilir (Mbaye vd., 1998; Mooksuwan ve Kumar, 2000). Genel olarak bir kimyasal ısı pompası, proseste sürekliliği sağlayan ve her biri farklı sıcaklıkta çalışan, tersinir reaksiyonların yer aldığı endotermik ve ekzotermik reaktörler olarak iki temel birimden oluşur. Proses için en belirgin özellik toplam reaksiyonun olmamasıdır (Lauerhass ve Rudd, 1981; Raldow ve Wentworth, 1979). Endotermik reaksiyonunun yer aldığı reaktöre düşük sıcaklıkta ısı verilirken, ekzotermik reaksiyonla yüksek sıcaklıkta açığa çıkan ısı sistemden alınır ve bir proses akımına verilir. Sistem, kullanılan reaktanların yapısı ve özellikleri temelinde, katı-gaz ya da sıvı-gaz ısı pompası sistemi olarak adlandırılır (Mooksuwan ve Kumar, 2000; Wongsuwan vd., 2001). Çeşitli kimyasal ısı pompası sistemleri, kullanılan maddelerin özelliklerine ve kullanım amaçlarına göre farklı tipte kimyasal ısı pompaları gerektiren ikiyüz elliden fazla kimyasal proses temel alınarak incelenmiştir (Chung vd., 1997). Bu proseslerdeki reaksiyon sistemlerinin çoğu gaz-katı reaksiyonlarından oluşur. 2-propanol / aseton / hidrojen ve sikloheksan/benzen/hidrojen önerilen sistemlerden ikisidir (Saito, 1995). 2-propanol / aseton / hidrojen sistemi, asetonun hidrojenasyonu ve 2-propanolün dehidrojenasyonu temelinde, tersinir endotermik ve ekzotermik reaksiyonlarla gerçekleşen ve uygunluğu deneysel olarak kanıtlanmış bir kimyasal ısı pompası sistemidir. Bu sistemde, ısıl enerji gerektiren dehidrojenasyon reaksiyonu, düşük sıcaklıkta (70-100°C) katalizörlü ortamda sıvı fazın kaynama noktasında gerçekleşir ve sıcaklık seviyesi reaksiyon basıncında denge koşullarıyla sabitlendirilir. Hidrojenasyon reaksiyonu, ekzotermik reaksiyon olarak yüksek sıcaklıkta

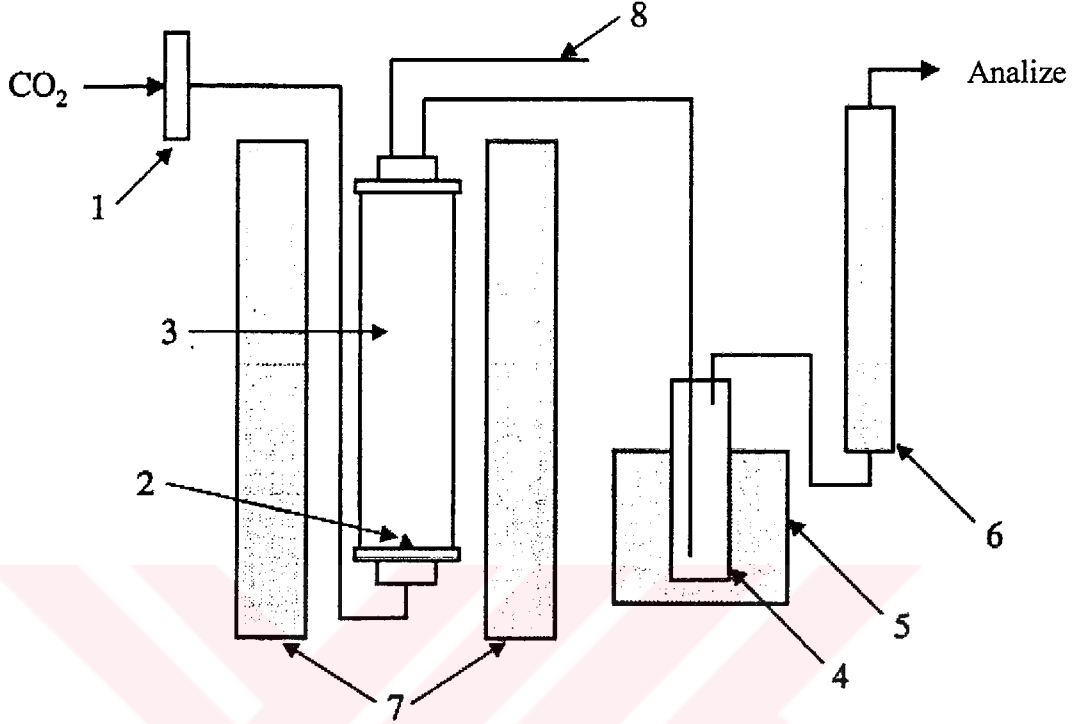
(150-200°C) gaz fazında gerçekleşir. Aseton ve hidrojenin hidrojenasyon reaksiyonu ile üretilen 2-propanol dehidrojenasyon reaksiyonu için geri döndürülür. Hidrojenasyon reaktöründen çıkan akım, ısı değiştiriciden geçerken ekzotermik reaktöre beslenen akımın ön ısıtılmasında kullanılır ve sonra sürekli çevrimle destilasyon kolonunda ayrılır (Chung vd., 1997). Farklı sıcaklık seviyelerinde çalışan iki yönlü reaksiyon içerdiğinden, sistem döngüsünde en az iki reaktör ve bir ısı değiştirici kullanılır (Gastauer ve Kameyama, 1995). Destilasyon kolonu (kaynatıcısı endotermik reaktör olarak kullanılır) reaktörlerden çıkan akımları ürünlere ve artık reaktanlara ayırmak için kullanılır. Absorbe edilen atık ısının bir kısmı endotermik reaksiyonda ısı kaynağı olarak, geri kalanı ise destilasyon işleminde reaksiyon karışımını ayırmak için itici güç olarak kullanılır ve yoğunlaştırucudan çevreye atılır. Sistemde herhangi bir mekanik enerji gerekmez (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 n-Bütanol / bütiraldehit / hidrojen kimyasal ısı pompası sistemi

Matsunami (2000) güneş enerjisini depolamada kullanılabilecek TKD sistemlerinden erimiş tuz ve CO₂'li kömür gazlaştırma sisteminin özelliklerinden bahsetmiştir. Boudouard reaksiyonu ($C+CO_2=2CO$ $\Delta H=169,16$ kJ /mol (1150 K)) bir endotermik tepkime olduğundan dolayı, güneş enerjisi, kimyasal enerji şeklinde depolanabilir ve tepkime ürünü olan CO gazı daha sonra bir ekzotermik reaksiyonda kullanılmak üzere saklanabilir. Bu reaksiyon için gerekli olan büyük ısı enerjisi ve güneş enerjisinin yoğunlaştırılmasındaki zorluklar yüksek ısı iletkenliğe sahip alkali metal tuz eriyiklerinin katalizör olarak kullanılmasıyla bertaraf edilebilir. Na₂CO₃, K₂CO₃ çevreye zararlı gazlar üretmezler. Temel olarak, bu tuzlar düşük ergime sıcaklıklarından dolayı ötektik karışım (Kütle oranı =1) olarak kullanılırlar. CO/metanol ekzotermik tepkimesi ($CO+H_2O\rightarrow H_2+CO_2$ ardından $CO+2H_2\rightarrow CH_3OH$) enerjinin değişik bölgelere taşınmasında yardımcı olacaktır. Sistem temiz ve yenilenebilir olduğundan

gelecek yıllarda kullanılma şansı yüksektir. Matsunami (2000) aşağıdaki deney düzeneğini kurmuş ve Çizelge 6.4 de verilen sonuçlara ulaşmıştır.



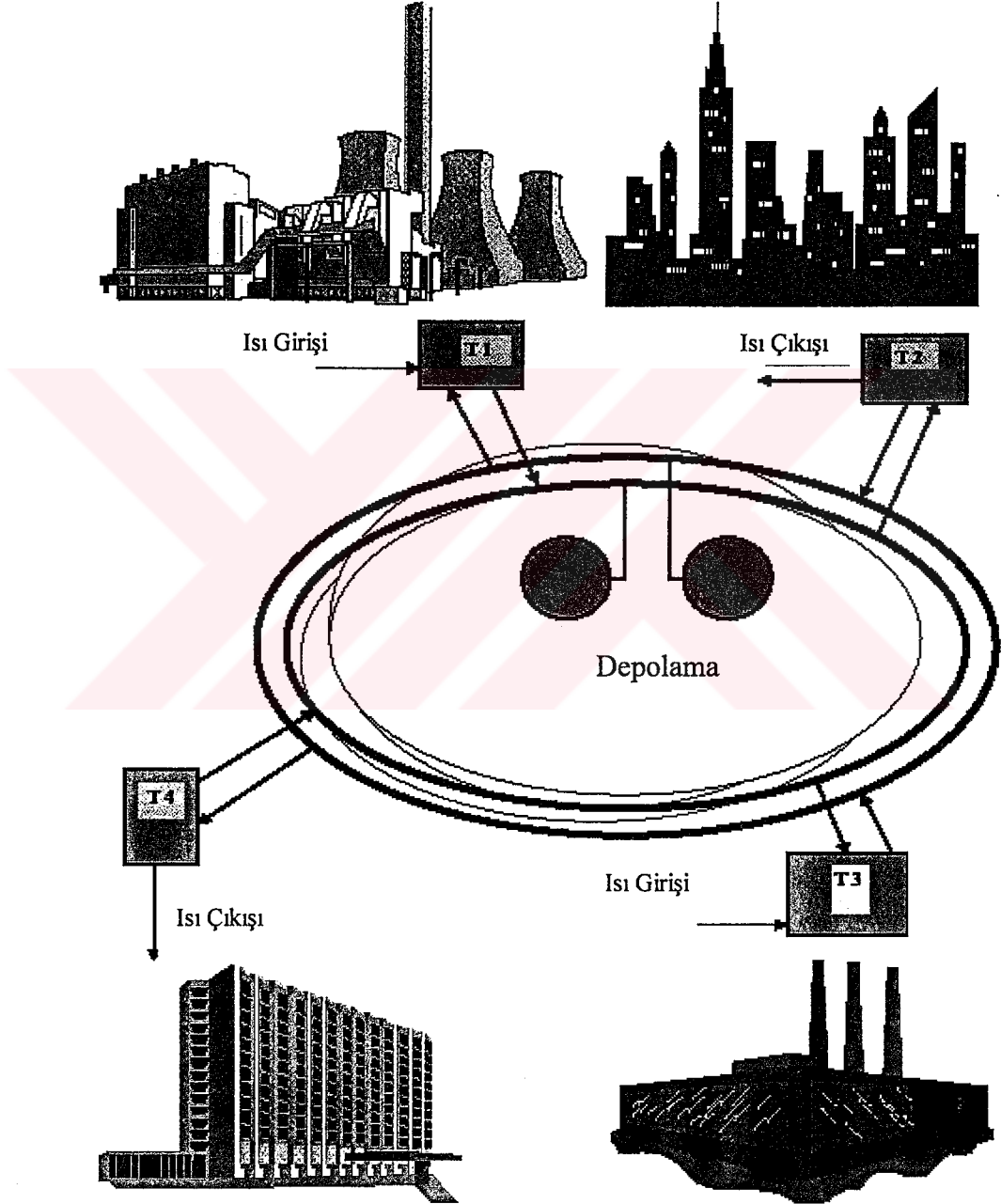
Şekil 6.2 Tuz çözeltisi kullanarak CO₂'le kömür gazifikasyonu için deney aparatı.

(1) akış kontrol mekanizması (2) iğne deliği (Ø 1 mm) reaksiyon kabına küçük CO₂ gaz kabarcıkları girmesi için (3) paslanmaz reaksiyon kabı (4) uçucu maddeleri yoğunlaştırmak için soğuk hazne (5) buz banyosu (6) kömür katranını uzaklaştırmak için cam yünü haznesi (7) kızılötesi fırın (8) termokupl. 10 gr. kömür ve 20-40 gr. arası tuz eriğiği reaksiyon kabına konur ve ısıtılır. Çıkan gazlar analiz edilir.

Çizelge 6.4 Boudouard reaksiyonunda saniyede absorbe edilen enerji (10gr kömür 1173⁰K)

Kullanılan eriyik tuz		CO ₂ (akış oranı)	Enerji (J)
Na ₂ CO ₃ (g)	K ₂ CO ₃ (g)		
15	15	65	10
15	15	155	22
15	15	310	30
10	10	155	25
20	2	155	21
30	0	310	37
0	30	310	34

Güneş enerjisinde daha geniş kapsamda yararlanılabilmesine yönelik çalışmalar arasında, güneş enerjisinin, termokimyasal dönüşüm ile kimyasal bir enerji taşıyıcısına (hidrojen, sentez gazı, metal vb.) aktarılarak depolanması ve taşınması çalışmaları da önemli bir yer tutmaktadır. Bu şekilde büyük miktarda enerji üretecek santrallarda kullanılacak yoğunlaştırıcıların performansını artırma çalışmaları devam etmektedir (Çimen, 1999).



Şekil 6.3 Termokimyasal ısı depolama kavramı

Sanayideki atıl ısının toplanıp depolanmasının altyapısını TKD oluşturabilir. Isı istenilen yere ihtiyaç duyulan enerjiyi istenilen sıcaklıkta termokimyasal ısı pompaları vasıtasıyla gönderebilecektir. Termokimyasal kavramın şematik görünümü Şekil 6.3'te verilmiştir (Bach ve Haije, 1998).



7. TÜRKİYE'DE BİR UYGULAMA: SOĞUK DEPOLAMA

Türkiye’de güneş enerji kolektörlü kısa süreli ısı enerji depolama sistemleri ve deneysel çalışmalar dışında, ciddi manada herhangi bir uygulama yoktur. Türkiye’de bu konularla ilgilenen mühendislik bürolarından biri de “Arde Klima Tesisat San. Ve Tic. Ltd. Şti”. dir. Bu firma “cristopia energy systems”a ait soğuk depolama teknolojisini pazarlamakta ve projelendirmektedir. Burada görüştüğüm ve bilgi aldığım yetkili makine mühendisi Erkan Hacısoğlu dur. Bugüne kadar Arde mühendislik Türkiye’de sadece teklif olarak ön projeler hazırlamış fakat herhangi bir uygulamaya geçilememiştir. Aşağıda bu sistemlerden bahsedeceğim ve Türkiye’deki Kuyumcukente ait ön projesi yapılan sistemin bilgisayar çıktılarını sunacağım.

Jay (2002) Cristopia Enerji Sistemleri ve Malezya’daki bir uygulaması hakkında bilgi vermiştir; Cristopia’nın 1997’de Malezya dağıtıcısı KJ mühendislik tarafından geliştirilen, mahal soğutma aracı olan “Bangsar Enerji Aracı” bu makalede tanıtılmaktadır. Bahsedilen enerji aracı dünyadaki en geniş ısı enerji depolama sistemlerinden biridir (STL-AC.0-1900, depolama 110 MWh). Amaç, akşam saatlerindeki düşük elektrik tarifesiyle yararlanmak ve pik yüklerde gerekli elektrik gücünü azaltmaktır. Cristopia nodülleriyle dolu depo (STL) ısı enerjisinin gün boyunca kullanılabilmesi amacıyla akşam saatlerinde şarj olur. STL, alıcıya; soğutma yükü kapasitesinde azalma, araç verimini artırma ve çalışma maliyetlerinde %24’e varan kazanç olanağı sağlar. Sistem özellikleri Çizelge 7.1 de verilmiştir.

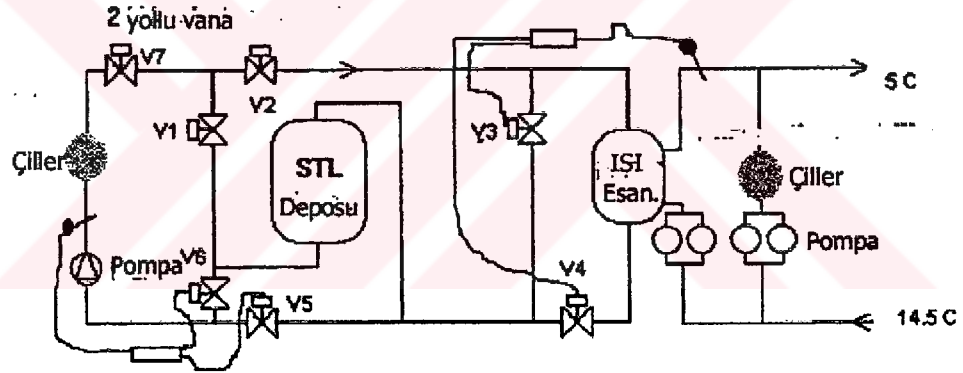
Çizelge 7.1 Araç parametreleri

Karakteristikler	Değer
Maksimum ihtiyaç	39,5 MW
Maksimum günlük enerji kullanımı	450 MWh
Maksimum STL enerji depolama	110 MWh
Çiller/STL’ den pik eldesi	32 MW
Çiller’den pik eldesi	7,4 MW
Depolama hacmi	1900 m ³
Şarj etme süresi	7 saat
Dağıtım sıcaklığı	Araç çıkışında 5°C Araç girişinde minimum 14,5°C

Araç 5 özdeş tuzlu çiller serisini kapsamaktadır. Her seri bir ısı enerji depolama ve deşarj modunda tuzlu suyu 3,3°C’de tutan bir ısı eşanjörü ile birlikte çalışır. Her seri birbirinden bağımsız çalışır. Isı eşanjörlerinin 5 tanesi, su soğutucularının (çillerlerinin) iki serisi ile birlikte paralel olarak bağlanmıştır. Bu soğutucular akşam saatleri boyunca ihtiyaç duyulan

yükleri karşılar. Araç o anki ihtiyaç ve profil yüklerine göre çalışır. Çillerler ve STL ihtiyacı karşılayabilmek için birlikte çalışabilir, veya ayrı ayrı çalışabilirler. Gün boyunca çalışma prensibi; soğutucu kullanımı ve depolanan enerji tüketimini azaltma esasına dayanır. Bu optimizasyon sağlanırken, kademeler depolamanın deşarj periyodu bitmeden önce tüketilmemesinden emin olunarak kullanılır ve deşarj periyodunun sonunda tamamıyla tüketilmesi sağlanır.

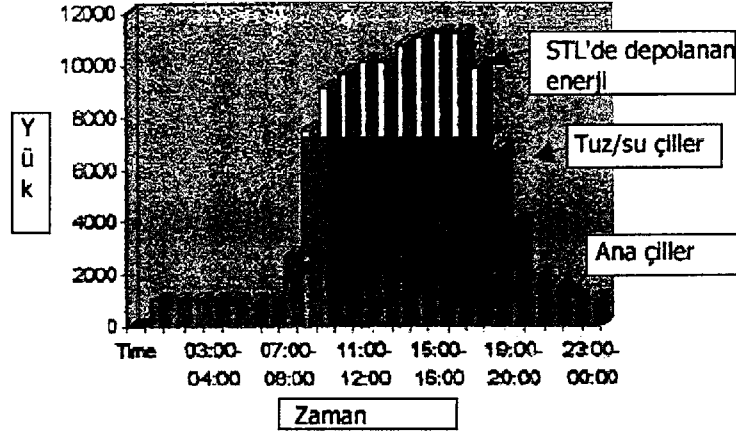
Bangsar enerji sistemi maksimum soğutma ihtiyacını karşılamak için dizayn edilmiştir. Sistemin çalışmasını ve bakımını rahatlatmak için 5 özdeş çevrim yerleştirilmiştir. Şekil 7.1 bir çevrim için kullanılan dizaynı gösteriyor. Her çevrim tuzlu su çiller, bir STL deposu ve bir ısı eşanjöründen oluşur. STL; AC.00 nodülü ile dolu (füzyon sıcaklığı 0°C 'de) 5 yatay depodan (her biri 380 m^3) oluşur. Sıcaklık gereksinimine göre (ısı eşanjörünün birinci yüzeyindeki çıkış sıcaklığı $3,3^{\circ}\text{C}$ ve dönüş sıcaklığı $14,4^{\circ}\text{C}$) bir dizi değişik akış seçilebilmektedir. Sonuçta bu çözüm bütün sistemin yatırım maliyetini azaltır.



Şekil 7.1 Bir dizi değişik akışa olanak tanıyan dizayn

STL soğutma ihtiyacının %35'ini sağlar. Geri kalanı 24 saat boyunca çalışan tuzlu su soğutucuları ve temel soğutucular tarafından karşılanır.

STL'yi oluşturan herhangi bir AC nodülünü veya FDM'yi modellemek için bir nümerik simülasyon donanımı geliştirilmiştir. Simülasyon sonuçları, deneysel sonuçları yaklaşık bir kesinlikle karşılar ($\pm 5\%$). Bangsar enerji aracının çalışmasını canlandırmak (simüle etmek) için dizayn evresinde bu donanım kullanılmıştır. STL, tuzlu çiller grubu ve ihtiyaç duyulan şartları gösteren eğriler yukarıda bahsedilen donanım ile elde edilmiş ve makalede gösterilmiştir (zamana karşı sıcaklıkların, kapasitelerin, akışın, enerjilerin değerlendirilmesi). Sonuçlar şunu gösteriyor ki yükler tuzlu su çiller ve STL tarafından karşılanabilmektedir.



Şekil 7.2 Toplam soğutma profili dizaynı

STL-AC.00-1900'ün yerleştirilmesi alıcıya şunları sağlamıştır.

- Yüklenmiş soğutma kapasitesini %35 azaltmak
- Bakım maliyetleri, ihtiyaç birikimi ve yüksek tüketimi azaltarak geleneksel sistemlere kıyasla çalışma maliyetlerini %24 azaltmak
- Aracın verimini ve güvenilirliğini arttırmak.

Teknik kılavuz (2000) belli başlı ısı enerjisi depolama uygulamalarını içeren Çizelge 7.2'yi vermiştir.

Çizelge 7.2 IED uygulamaları

Hava Şartlandırma	Soğutma Prosesleri	Destek Sistemleri
Ofis	Süt Endüstrisi	Bilgisayar Odaları
Hastane	Mezbahalar	Temizlik Odaları
Banka	Soğuk Depolar	Tiyatrolar
Konferans Merkezleri	Merkezi Mutfaklar	Telefon Santralleri
Müzeler	Ecza Sanayii	Soğuk Depolama
Kayıt Stüdyoları	Şişe Fabrikaları	TV Stüdyoları
Tiyatrolar	Bira Yapımında	Patlayıcı madde depolamada
Büyük Mağazalar	Paten Sahalarında	
Süpermarketler	Et Endüstrisinde	
Havaalanları		
Sinemalar		
Spor Merkezleri		

IED sistemi STL nodülleriyle dolu depodan oluşmaktadır. Depo sahip olduğu üst kapak sayesinde nodüllerin dolmasına izin vermektedir. Alt kapak ise boşaltmayı sağlar. Deponun

içinde ısı transfer akışkanını depoya yayan 2 difüzör (giriş ve çıkış) vardır. Depoda düşen basınç 2,5mWG'dır. Yükleme işleminde giriş, doğal katmanları sağlaması amacıyla alt difüzör yolu ile olmalıdır. Depolar siyah çelikten (test basıncı 4,5 ile 10 bar arasında) üretilmekte ve geçişi sağlaması amacıyla gerekli boşluk ve şekil verilmektedir. Nodüllerin 77mm, 78mm veya 98 mm çaplı küresel şekilleri vardır (Çap, nodül tipine bağlı olarak değişir). Nodüllerin içersinde faz değiştiren malzemeler (FDM) vardır. Nodül iskeletinin (polyolefenden imal edilmiş) mekanik ve kimyasal karakteri, hava şartlandırma ve soğutma sistemlerinde karşılaşılan koşullara iyi adapte olmayı sağlar. FDM ile doldurulunca ultrasonik olarak nodüle eklenen tapa çok iyi bir su sızdırmazlığı sağlar. Deponun şekli 3 bardan yüksek basınçlara dayanması için silindirik olarak yapılmıştır. Test basınçları 4,5 ile 10 bar arasında değişmektedir. Küresel şekil kolay dolumu sağlar. Nodül çapı ekonomiklik ve teknik gereksinimlere göre hesaplanır. Boyutları çevrimin sonuna kadar büyük değişimlere izin verir. Modern teknolojiler miktar kontrolüne olanak sağlar. Cristopia enerji sistemlerinde kullanılan faz değişim malzemeleri ve nodülleri Fransa'da ve dışında laboratuvar ortamlarında test edilmiştir. Bu ürünün gelişimi STL'de yüksek güvenilirliği sağlar. STL hidrolik uygulamalar için tasarlanmıştır. Nodüllerde depolanan enerji miktarı, depo hacmiyle orantılıdır. Bir STL, faz değişim sıcaklığı ve hacim ile belirlenir (örneğin depo kapasitesi ve ısı transfer oranı).

Örneğin: **STL-AC.00-15**

AC: 98mm.çaplı nodül

00: Faz değişim sıcaklığı(°C)

15: Depo hacmi (m³)

STL-IN.15-50

IN: Negatif sıcaklıklar için 78mm çaplı nodüller

15: Faz değişim sıcaklığı (erime) için -15°C

50: Depo hacmi (m³)

STL-IC.27-100

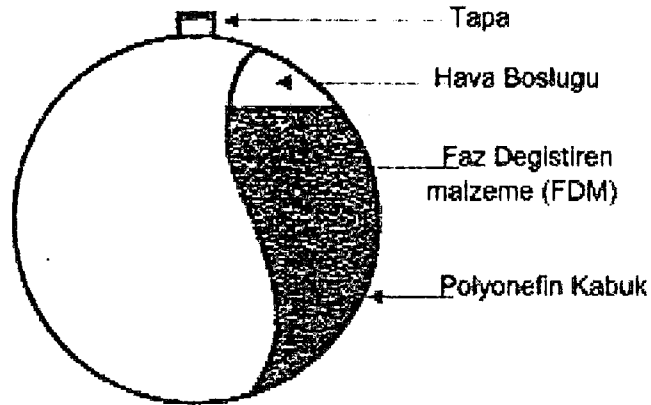
IC: 77 mm çaplı nodül

27: Faz değişim sıcaklığı (erime) için +27°C

100: Depo hacmi (m³)

Nodül kürelerinin özellikleri şunlardır:

- malzeme: polyolefin karışımı,
- ötektikler ve ısı transfer akışkanlarına karşı kimyasal nötrlülük,
- 1,0 mm kalınlık: ısı transfer akışkanından sızıntı olmaz,
- küresellik kalıpta dövme ile sağlanmıştır (sızdırmazlık sağlanmıştır),
- ultrasonik kaynakla tapa (kapak) kapatılmıştır.
- Dış çap:
 - 98 mm: hava şartlandırma için
 - 78 veya 77 mm: endüstriyel soğutma ve destek sistemleri için
- Değişken yüzey
 - 78 veya 77mm çapı.....1,0m²/kWh'de depolanır,
 - 98mm çapı.....0,6m²/kWh'de depolanır.
- Genleşme için hava boşluğu: Nodül cidarında baskıyı önler.
- m³ başına nodül sayısı
 - 77 mm çap:.....1 m³ için 2548 nodül,
 - 78 mm çap:.....1 m³ için 2444 nodül,
 - 98 mm çap:.....1 m³ için 1222 nodül.



Şekil 7.3 Nodül

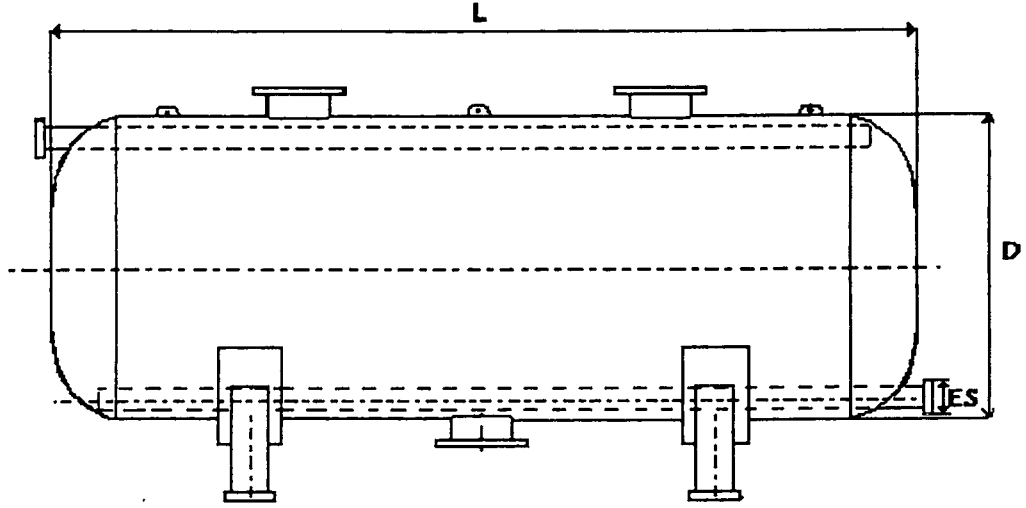
Çizelge 7.3 Bir m³ depo için değerler

Nodül Tipi	Faz Değişim Sıcaklığı °C	Gizli Isı Ql KWh/°C	Katılar için duyulur ısı:Qss KWh/°C	Sıvılar için duyulur ısı:Qsl KWh/°C	Isı transferi FDM Kristalleşmesi Kvcr KW/°C	Isı transferi füzyonu Kvfı KW/°C	Nodül ağırlığı kg	LD50 değerinde Zehir miktarı mg/kg *	Çalışma sıcaklık limitleri °C
SN.33	-33	44,6	0,7	1,08	1,6	2,2	724	2.600	- 40°C ile + 60°C
SN.29	-28,9	39,3	0,8	1,15	1,6	2,2	681	1.200	
SN.26	-26,2	47,6	0,85	1,2	1,6	2,2	704	1.200	
SN.21	-21,3	39,4	0,7	1,09	1,6	2,2	653	1.300	
SN.18	-18,3	47,5	0,9	1,24	1,6	2,2	706	2.700	
IN15	-15,4	46,4	0,7	1,12	1,6	2,2	602	8.400	- 25°C ile + 60°C
IN.12	-11,7	47,7	0,75	1,09	1,6	2,2	620	5.000	
IN.10	-10,4	49,9	0,7	1,07	1,6	2,2	617	11.000	
IN.06	-5,5	44,6	0,75	1,1	1,6	2,2	625	18.000	
IN.03	-2,6	48,3	0,8	1,2	1,6	2,2	592	58.000	
IC.00	0	48,4	0,7	1,1	1,6	2,2	558	85.000	
AC.00	0	48,4	0,7	1,1	1,15	1,85	560	85.000	
IC.27	+27	44,5	0,86	1,04	1,6	2,2	867	2.500	

Depo Karakteristikleri:

- siyah çelik,
- yatay veya dikey,
- yapım yerine göre dıştan, içten, gömülü,
- pasa dayanıklı iç boya,
- belli bölgelerden yalıtım,
- etkili difüzör sistemi,
- yüksek çalışma basıncı,
- basınç düşümü: 2,5 mWG,
- ilgili bölgelerden ihtiyaca göre ölçüm yapabilme.

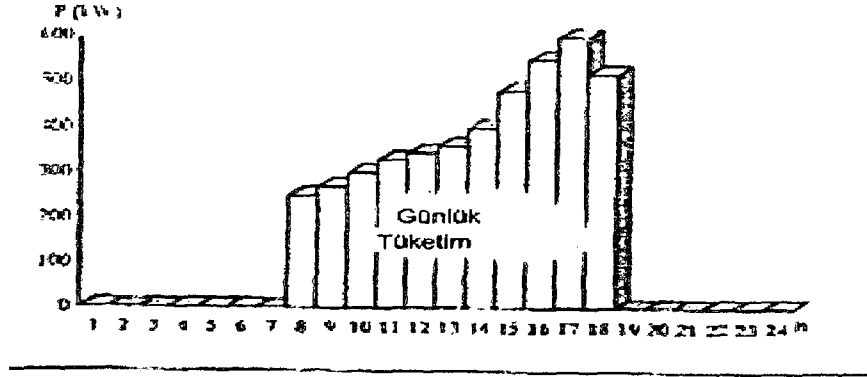
* LD50: (orta öldürücü dozda), maddenin istatistiksel olarak türetilmiş basit dozları hayvanlara ağız yoluyla verilmiş, % 50 ölüme sebep olduğu tespit edilmiştir. LD50 değeri test hayvanlarının birim ağırlık başına verilen test maddelerinin ağırlığına göre ifadenir



Şekil 7.4 STL deposu

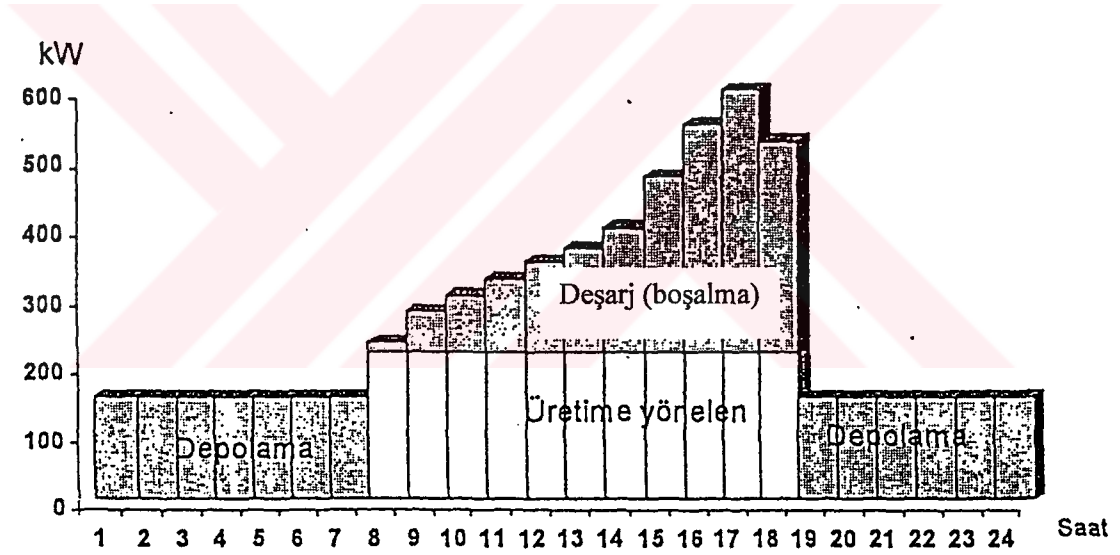
Çizelge 7.4 STL deposu boyut örnekleri

Hacim m ³	Dış çap D / mm.	Flanşsız toplam boy L/ mm	İzolasyonu yapılacak yüzey alanı m ²	Giriş ve çıkış flanşları ES / mm	Ayak sayısı	Boş ağırlık kg Pe 4.5 bar	Isı transfer akışkanının hacmi m ³
2	950	2.980	10	40	2	850	0.77
5	1.250	4.280	18	50	2	1.250	1.94
10	1.600	5.240	29	80	2	1.990	3.88
15	1.900	5.610	37	100	2	2.900	5.82
20	1.900	7.400	47	125	3	3.700	7.77
30	2.200	8.285	61	150	3	4.700	11.64
50	2.500	10.640	89	175	4	6.900	19.40
70	3.000	10.425	106	200	4	7.300	27.16
100	3.000	14.770	147	250	6	12.700	38.80



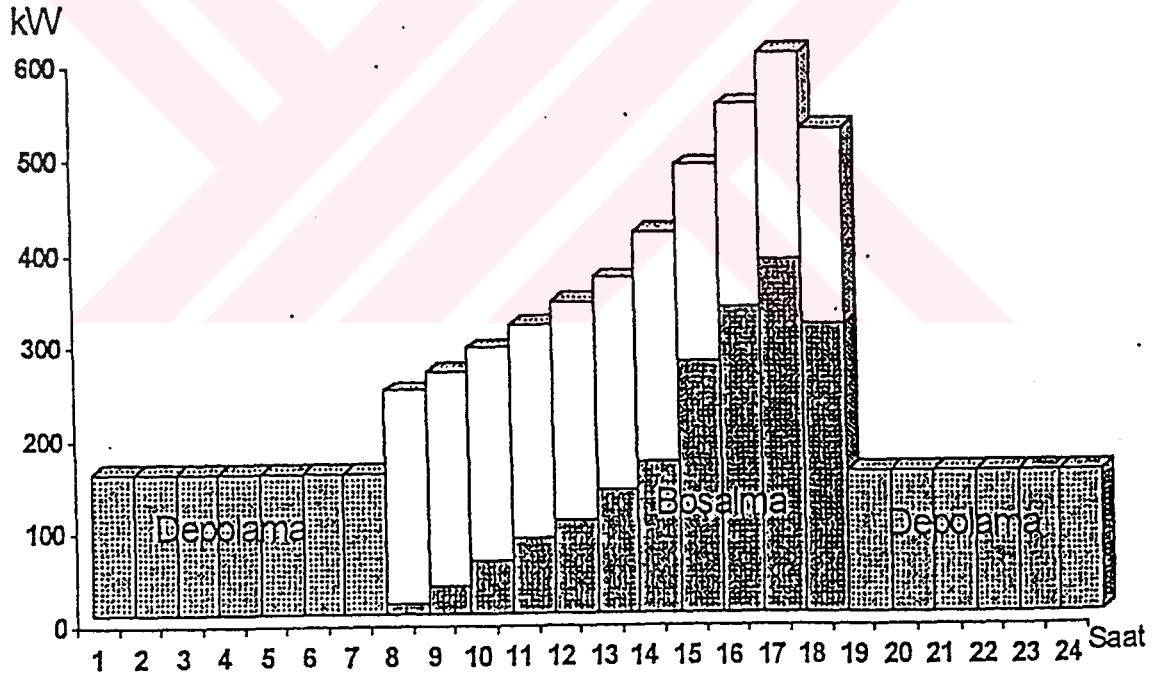
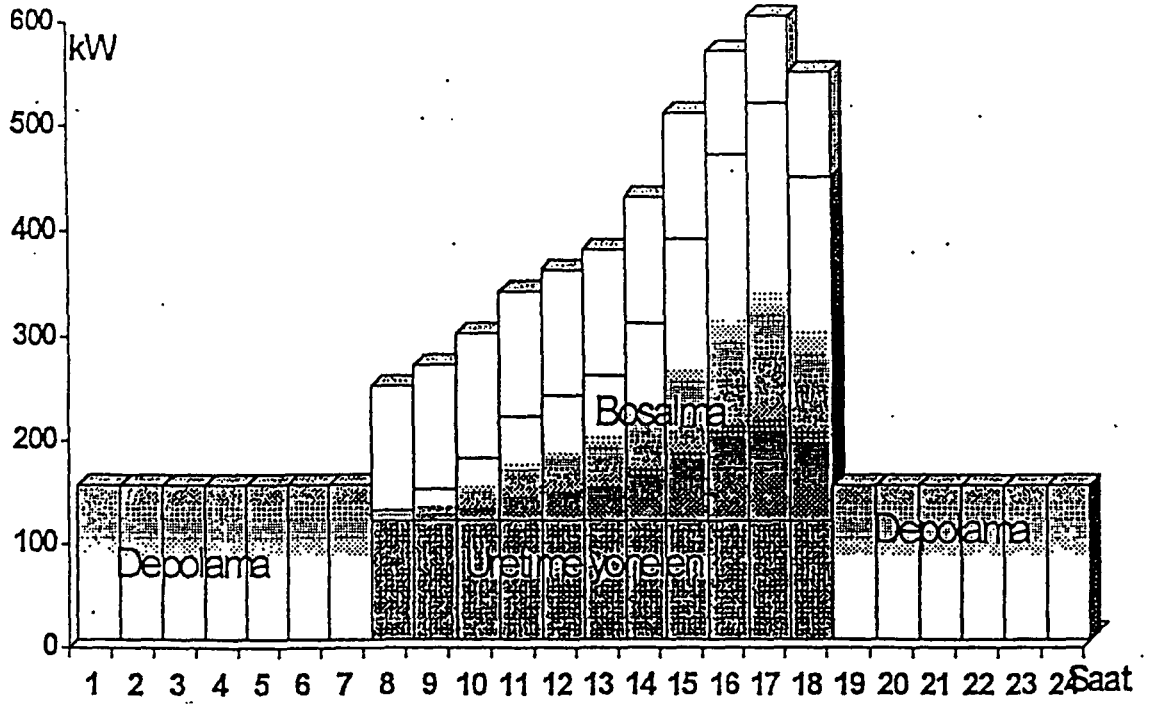
STL, enerji soğutmada tasarımcının isteklerine göre Şekillenir. Benimsenmiş değişik stratejiler bulunmaktadır.

Kısmi depolama (azaltılmış çiller kapasitesi).

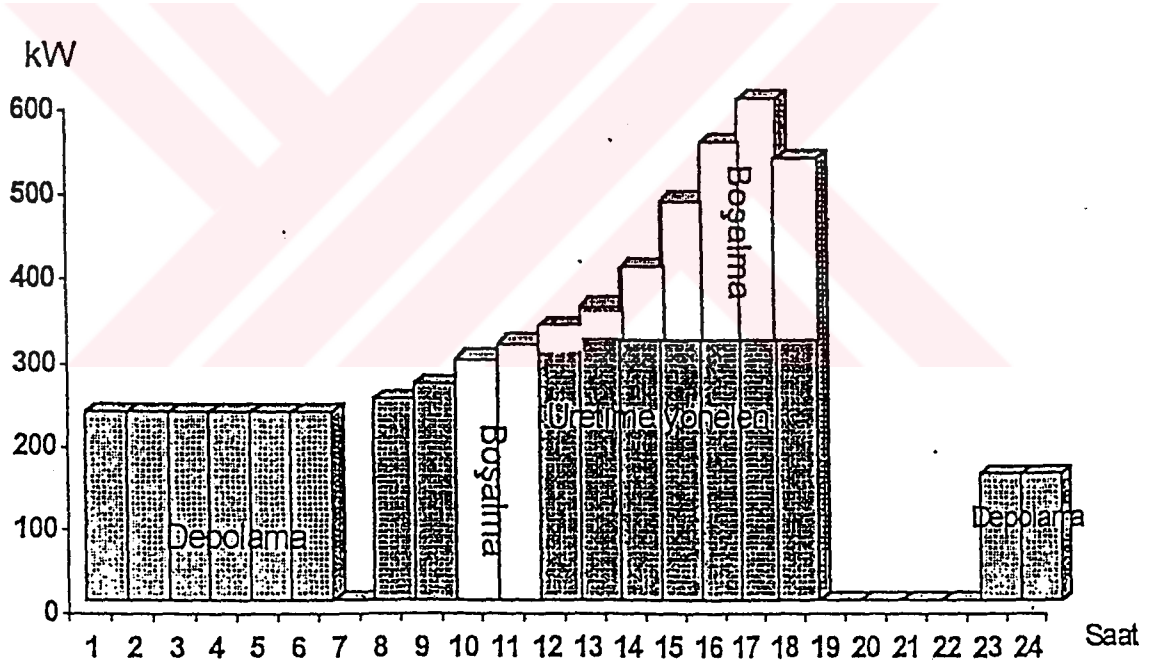
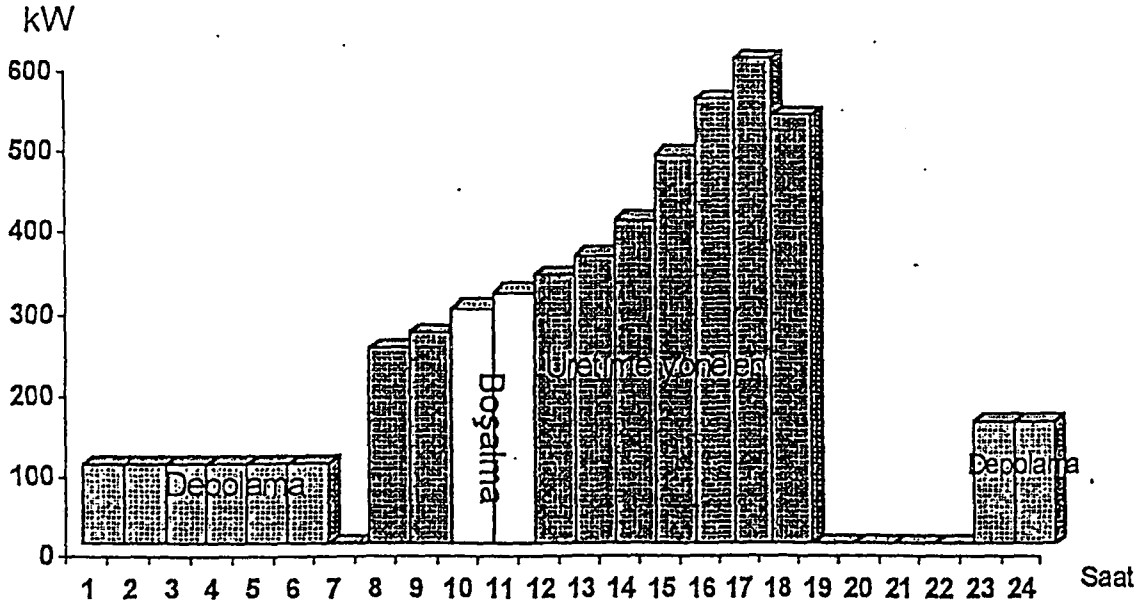


Çiller kapasitesi maksimum değerden % 30 - % 60 oranında azaltılmıştır. Gece boyunca enerji depolanır. Gün boyunca öncelik çillere verilir ve bu enerji soğutmayı temin eder. İhtiyaç çiller kapasitesinden fazla ise STL bu miktarı karşılar.

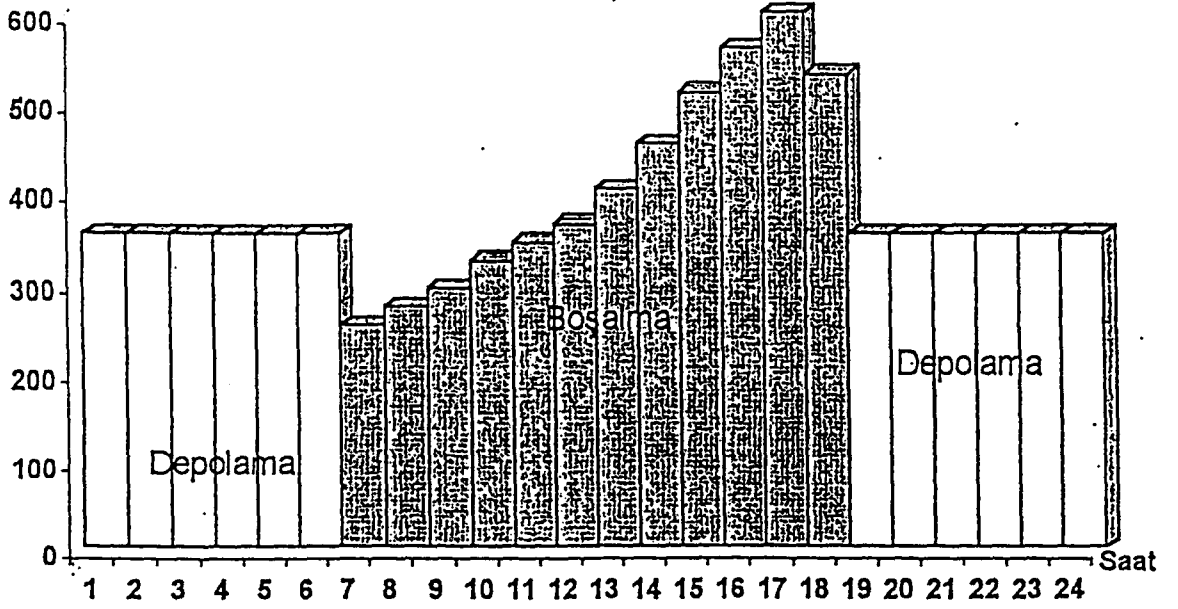
Mevsim normallerinin altında depolama(şarj)-Boşalma(deşarj): Mevsim normallerinde kısmi depolama biçiminde çalışan sistem mevsim normallerinin altındaki yüklerde tam depolamaya veya günün belirli saatlerine göredeşarja kolayca çevrilebilir. Böylece işletim maliyetlerinde azalmalar sağlanır.



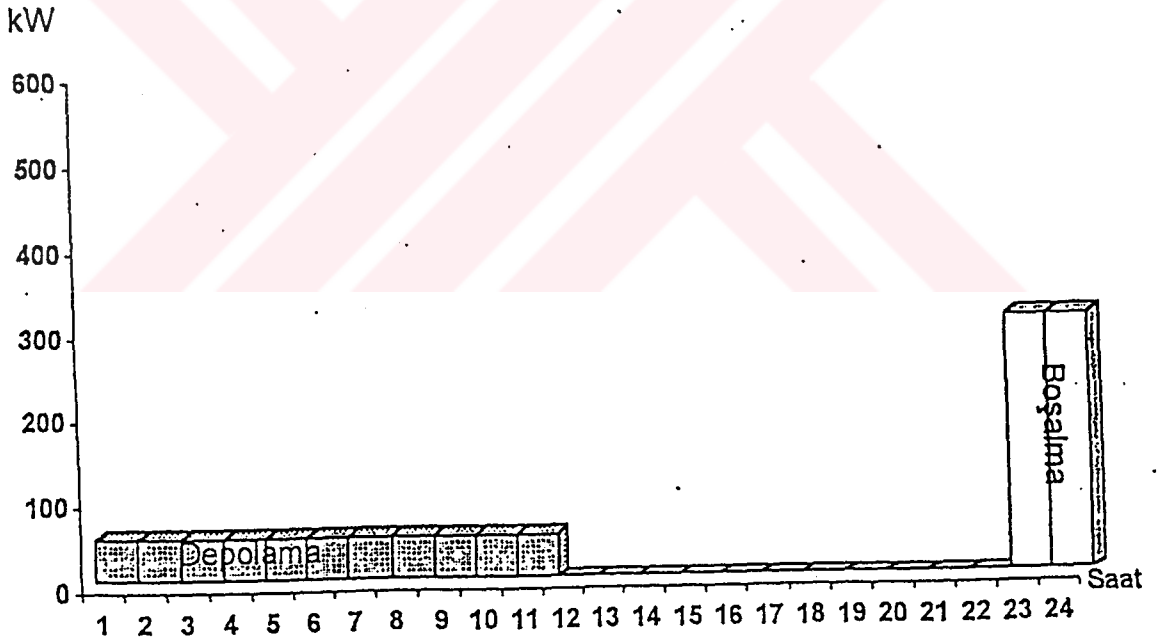
Günün belirli saatlerinde depolama-boşalma: Günün belli saatlerinde elektrik tarifi daha yüksektir. Ucuz tarife periyotlarında enerji ucuz bir şekilde depolanıp daha yüksek tarife periyotlarında deşarj edilir.



Tam depolama: Hava şartlandırma periyodlarında çillerler durabilir ve soğutma enerjisi STL tarafından karşılanabilir.



Destek sistemi:

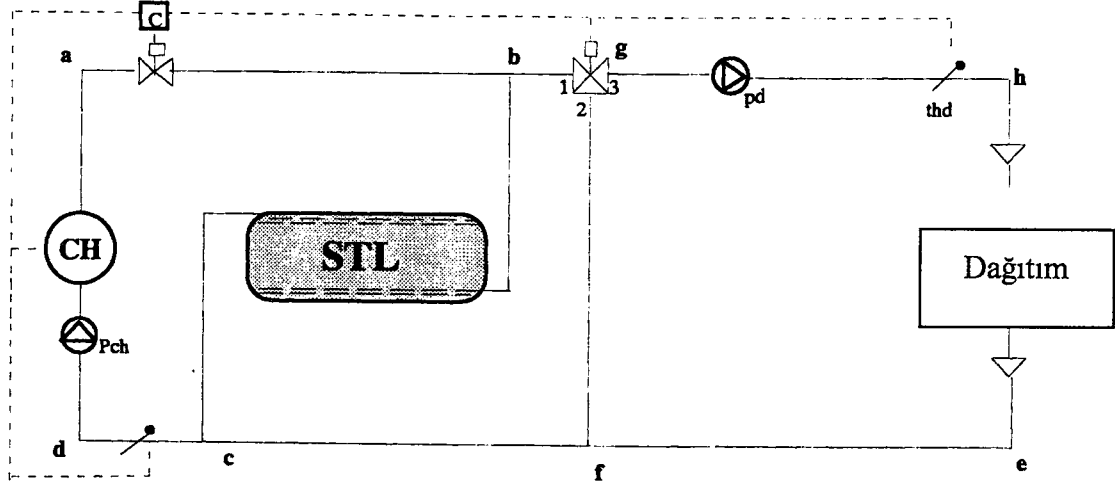


STL sadece istendiği zaman destek olarak kullanılabilir. Ana soğutma sistemindeki arızalanmalarda veya elektrik kesintileri gibi istenmeyen durumlarda asıl soğutma sistemi ile yer değiştirebilir. STL kayıpları telafi etmek için düzenli olarak tekrar yüklenir.

Akış şeması:

Yükleme(şarj) ve deşarj sırasında STL'den geçen ısı transfer akışkanının sıcaklığı deşarj sonundaki sıcaklıkla ilgili olarak az çok değişir. Akış sıcaklığı normal olarak sabittir.

Aşağıdaki şemada bunu görebiliriz. Bu şemada paralel çevrim vardır: 1.çevrim (abcd) ve 2.çevrim (efgh) bg ve cf ile birbirine bağlıdır.



Şekil 7.5 Çalışma prensibi

Birincil çevrim (abcd):

Sabit akış ve değişken sıcaklık vardır. Akışkan şarj pompası (Pch) ile sirküle edilmektedir. Isı transfer akışkanının evaporatör giriş sıcaklığı düşürürse çiller çıkışı azalır. Dinamik denge, depo da absorbe edilen enerji ile çiller çıkışı arasında yaratılır.

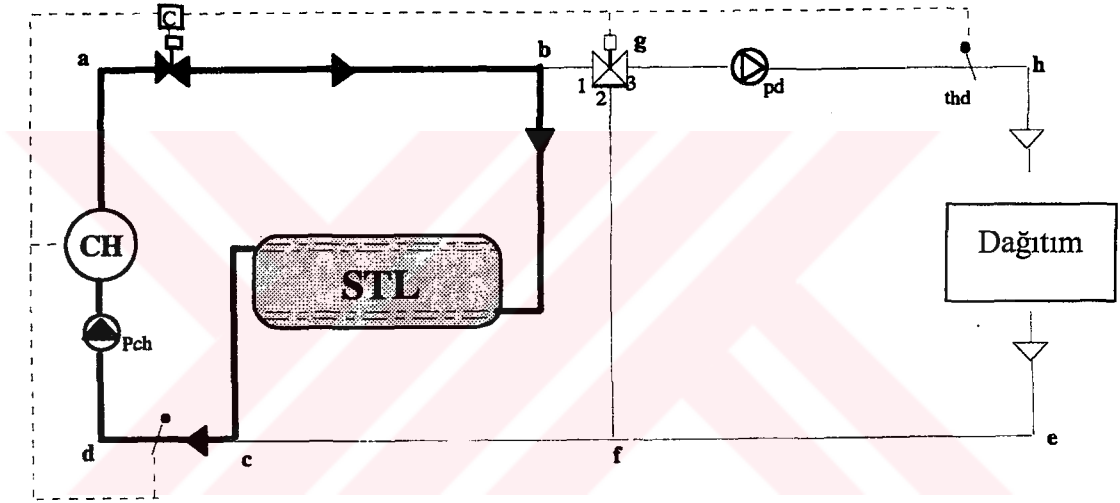
İkincil çevrim (efgh):

Sabit veya değişken akış ve sabit bir sıcaklık vardır. Akışkan dağıtıcı pompa (Pd) tarafından sirküle edilir. 3 yollu valf sayesinde dönen ısı transfer akışkanıyla çiller santralinden gelen akışkanın karıştırılması sağlanır böylece sıcaklık sabit tutulur. Çiller kompresörü evaporatörün girişinde veya çıkışında bir termostat vasıtasıyla kontrol edilir. Bu termostat şarjın sonunda birincil çevrim için ayarlanan sıcaklık sağlanamamışsa kompresörü durdurur. Belli periyotlarda çilleri kapatmak için kapatma valfi evaporatörün girişine yerleştirilebilir. Termostat (Thd) çıkan akışkanın çalışma sıcaklığını kontrol etmek için pompadan sonra yerleştirilir ve 3 yollu valfle akışkanı sabit sıcaklıkta tutmayı sağlar. 4 farklı çalışma şekli vardır:

- Yükleme (şarj)
- Yükleme ve çillerli çalışma şekli
- Deşarj ve çillerli çalışma şekli

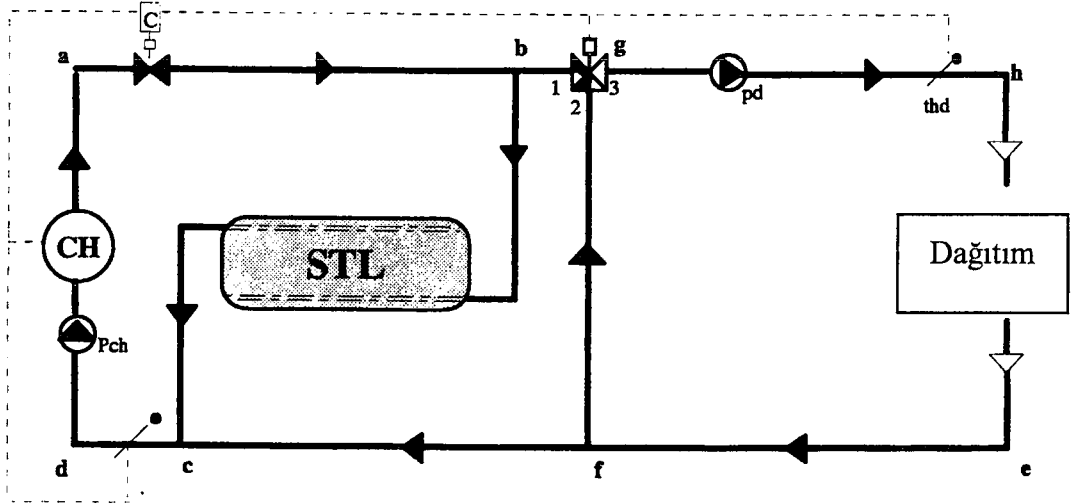
- Sadece deşarj

Yükleme: Bu durumda soğutmaya gerek yoktur (örneğin A/C gece saatlerinde işyerleri için). Pompa durur ve 3 yollu valf dağıtım gidecek yolu kapar. Çiller 1. çevrimi (abcd) nodülün kristalleşme sıcaklığının altına soğutur, çillerden enerji absorbe edilerek faz değişimi başlar. Nodülün içindeki kristalleşme duvarın çevresinde başlar. Kristalin kalınlığı enerji transferinde etkilidir. Çillerdeki ısı transfer akışkanının sıcaklığı yükleme (şarj) periyodunun sonuna tekabül eden minimum sıcaklığa kadar düşecektir. FDM'yi katılaşmasından sonra soğutmaya devam etmek STL'nin duyulur ısı depolamasına sebebiyet verecek ısı transfer akışkanının sıcaklığının daha hızlı düşmesine sebep olacaktır. Bu sıcaklık düşmesi şarj çevriminin bittiğini gösterir ve kontrol termostatı çilleri kapatır.



Şekil 7.6 Şarj modu

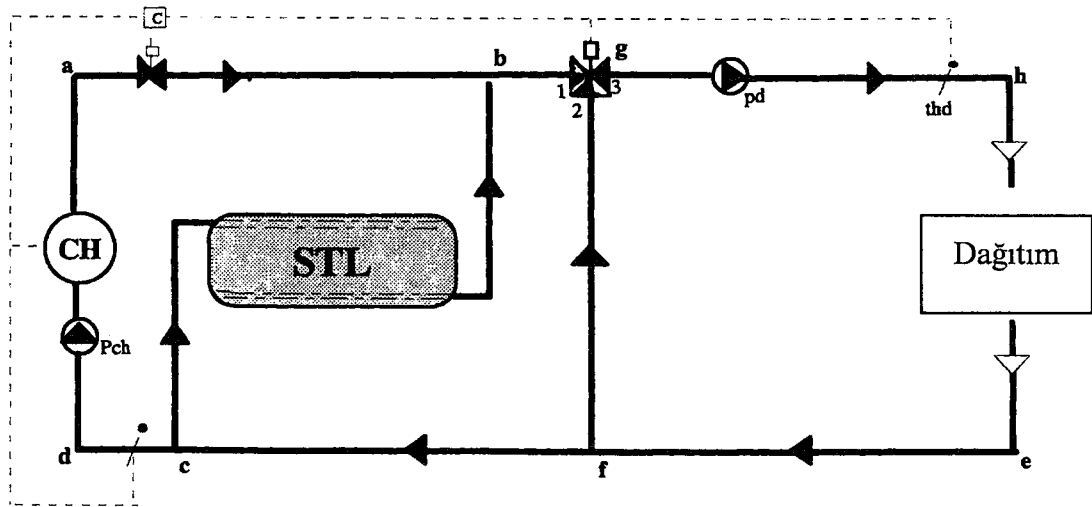
Dağıtım yüküyle şarj etme: Bu durum soğutma gereksiniminin çillerin sağladığından az olduğu durumlarda ortaya çıkar (ör. A/C gündüz işyerleri). Sıcaklık ölçme takımının (T_{hd}) sinyallerine göre pompa ve 3 yollu valf ayarlamalar yaparak dağıtım sıcaklığını ayarlar. Depo şarj olur.



Şekil 7.7 Dağıtım yüküyle şarj etme

Dağıtım yüküyle deşarj: Bu durum soğutma gereksiniminin çillerin sağladığından daha yüksek olduğu zamanlarda ortaya çıkar (ör.işyerleri için gereken maksimum A/C gereksinimlerinde). Pompa (Pd) ve (Pch) çalışır ve 3 yollu valf daha önce açıklandığı gibi Thd tarafından gelen sinyallere göre kontrol edilir. İki akış söz konusudur.

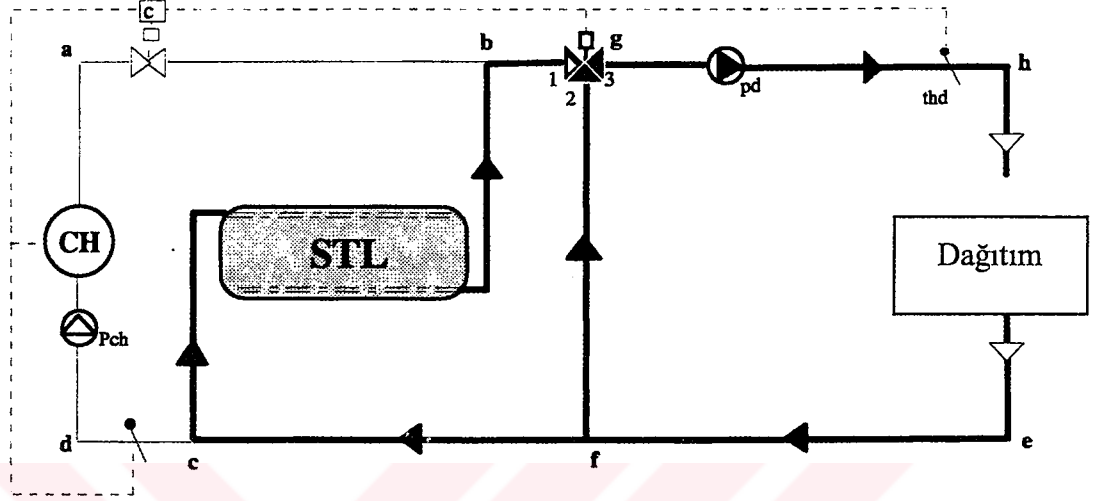
- pompalama (Pch) boyunca çiller tarafından soğutulan sabit akış
- STL (fcbg)'den değişken akış



Şekil 7.8 Dağıtım yüküyle deşarj

Yalnızca Deşarj: Kullanıcı çilleri kapatmak, yalnızca yoğun yük talebi esnasında STL'yi

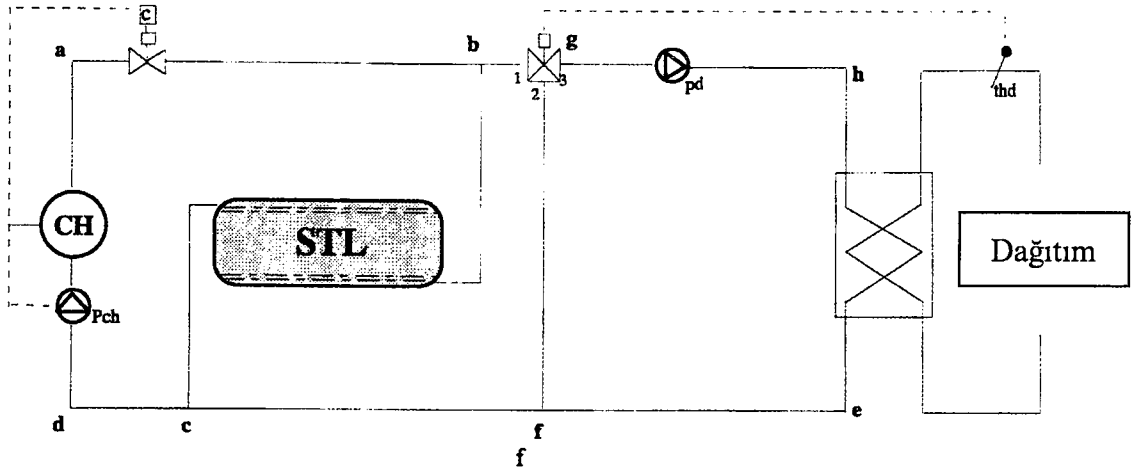
kullanmak istediği durumlar içindir. Bu işlemde çiller yükleme pompasına bağlı olan bir durdurma sistemi ile kontrol edilir ve çiller yoğun saatlerde kapalıdır. Evaporatörden sonra yerleştirilmiş olan kapatma valfi, pompa otomatik olarak kapandığında ısı iletken sıvısıyla yalnız STL deposunun içinden geçer.



Destek sistemi: Destek sistemini dizayn ederken dikkate alınması gereken birkaç parametre vardır.

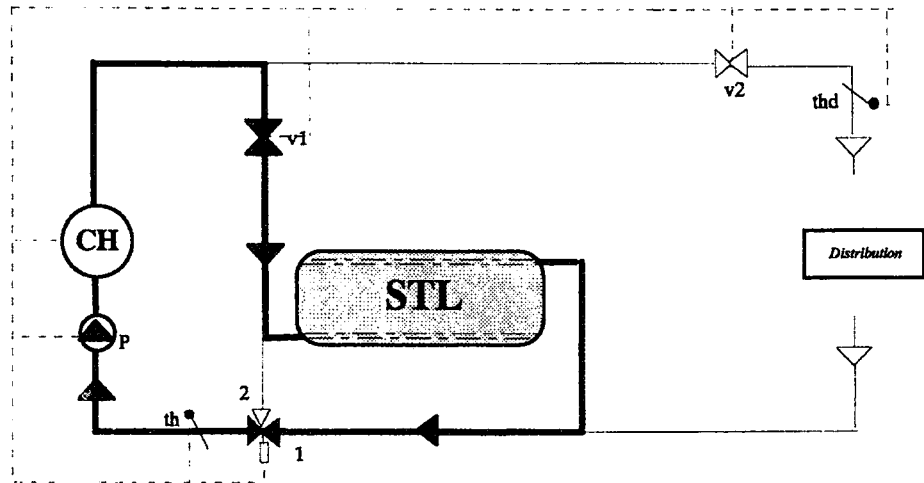
- Kullanılan malzemenin kalitesi
- Soğutma enerjisi için destek sistemi
- Destek soğutmayı üretmek için gerekli elektrik teçhizatı

STL şarj/deşarj sistemi, sistem içindeki diğer bileşenlerden tamamen farklı bir teknoloji yapıda ve statik oluşu gibi iki avantaja sahiptir. STL boyutu talep edilen bekleme süresine ve büyüklüğüne bağlı olacaktır. Eğer çiller grubu sabit bir yük için ölçülendirildiğinde ve bağımsız sistem için çiller ve depo aşağıdaki plana göre dizayn edilebilir. İlk devre bir ısı değiştiriciden geçerek dağıtım sistemine bağlanır.



Depolama sistemi çillerle paralel veya seri olarak bağlanabilir. Paralel veya seri olması için verilecek karar, öncelikle dağıtım boyunca oluşan sıcaklık farkına dayanır. 5°C veya 6°C sıcaklık farkları için (Örneğin $5^{\circ}\text{C}/10^{\circ}\text{C}$ veya $6^{\circ}\text{C}/12^{\circ}\text{C}$) STL kullanımı paralel olabilir. Evaporatör ve STL operatörü de aynı sıcaklıkta olmalıdır. Sıcaklık farkı olarak 8°C 'den 12°C 'ye veya daha üzerine izin verilirse STL ve evaporatör seri olmalıdır. Bu yönüyle STL ve evaporatör, sıcaklık farkının oranına göre üretilir. Bu özellik evaporatörün akla uygun sıcaklık farklarında çalışabilmesini sağlar. Örneğin $4^{\circ}\text{C}/12^{\circ}\text{C}$ çevrim sıcaklık farkı ile STL veya evaporatörün ikisi de 4°C 'lik soğutma üretirler ve maksimum yük isteklerinin %50'sini karşılarlar. seri uygulamalar için 2 olasılık vardır: STL alt gidiş veya STL üst gidiş. Aşağıdaki plan STL'nin çillerli seri sistemini gösterir. STL azami devre iken çiller ise esas yükü karşılama için STL'ye göre önceliği vardır.

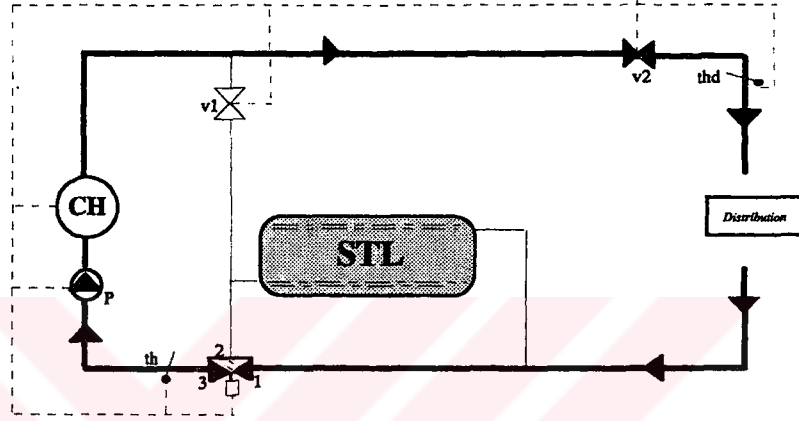
Şarj modu:



Şekil 7.9 Şarj

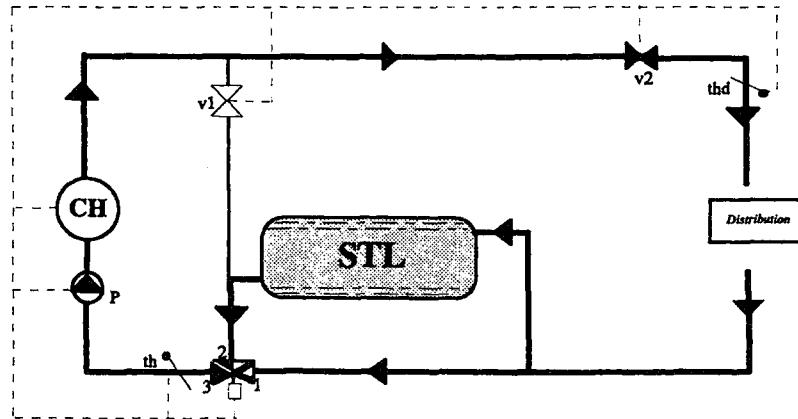
Yükleme periyodunun başlangıcında valf (V1) açılır, (V2) kapanır. 3 yollu valf tüm yan devreyi ayarlar. Şarj devam ettikçe çillerin çıkış sıcaklığı şarj modunun ayar noktasına (-6°C) yaklaşır. Ayrıca bir süre sonra çillere dönüş sıcaklığı da, bu sıcaklığa yaklaşılmaya başlar. Çillerin durması deponun şarj olduğunu gösterir.

Deşarj modu:



Şekil 7.10 Serbest bırakma (deşarj)

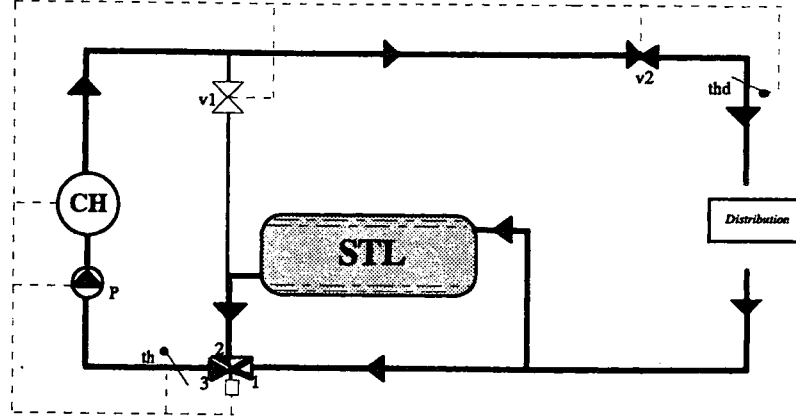
Yükleme periyodunun başlangıcında (V2) açılır, (V1) kapanır ve 3 yollu valf ayarlanmaya başlar. Çillerin yük taleplerini karşılamada önceliği vardır ve sıcaklık grubu (Thd) ile kontrol edilir. Yük talepleri çiller kapasitesinden düşük ise STL by-pass olur.



Şekil 7.11 By-pass

Yük talepleri çiller kapasitesinden fazla ise termostat (Th) sıcaklığı mesela 8°C den fazla

ölçer ve 3 yollu valfi ayarlamaya başlar, depolamaya doğru akışa sebep olur, kendisinin ayar noktasını oluşturur.



STL boyutlandırılması

STL boyutlandırılırken şu bilgiler gerekir:

Dağıtıcı sistem sıcaklık aralığı

Su/glikol - ısı eşanjörü tercihi

Günlük soğutma profili dizaynı

Çiller kompresörünün tipi

Histogram

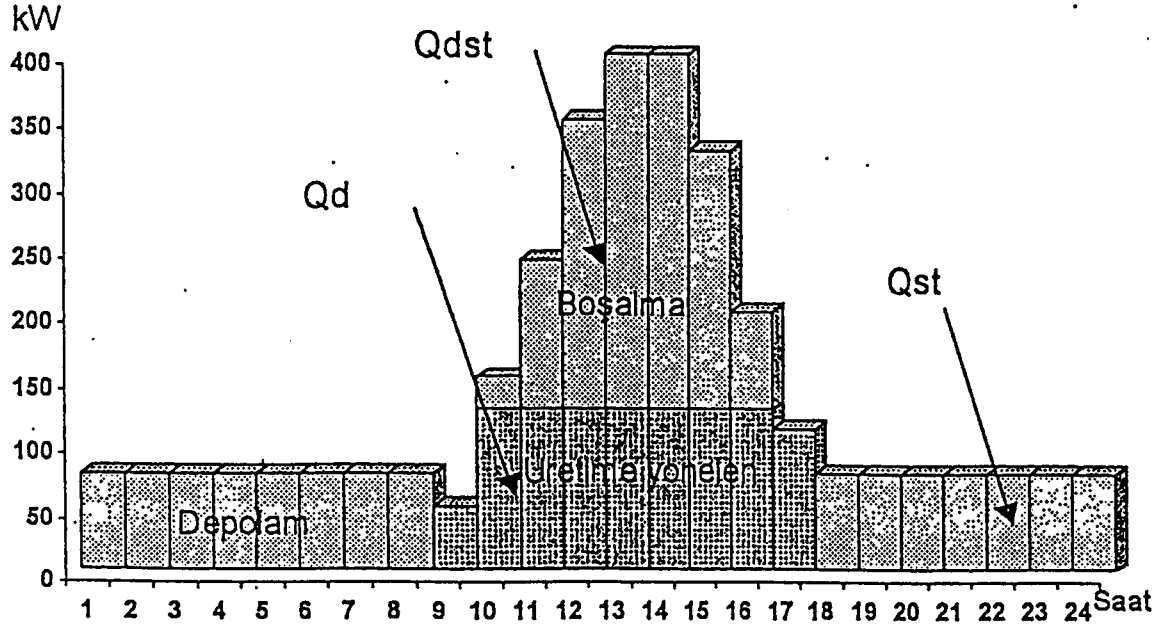
Yük eğrisi için 2 parametre vardır:

Ani maksimum soğutma yükü için P_m (kW)

Tasarım için günlük soğutma yükü Q_j (kWh)

Maksimum yük P_m , tesisatın boyutunu belirler ve Q_j ; maksimum tasarım şartları için ve maksimum günlük soğutma yükleri için kullanılır. Aşağıdaki örnek bir air-condition sistemi için depolama tesisatı boyutlandırma metodudur.

- Sıcaklık oranı $7^{\circ}\text{C}/12^{\circ}\text{C}$
- Isı eşanjörü
- Isı eşanjöründen önce $5^{\circ}\text{C}/10^{\circ}\text{C}$ 'lik birinci çevrim
- Histogram
- Çiller



Q_d (kWh): Soğutma kapasitesi (üretim yöneler)

Q_{st} (kWh): Depolanmış enerji

Q_{dst} (kWh): Boşaltılmış enerji

$Q_j = Q_d + Q_{dst}$

Nodül seçimi:

Nodül seçimi faz değişim sıcaklığına (T_{st}) ve çalışma koşullarına bağlıdır.

$$T_{st} < T_d - 4^\circ\text{C}$$

Nodül tipi seçilmiş olsa bile ısı eşanjörü oranını artırmak için düşük faz değişim sıcaklığı seçilebilir. Bazı durumlarda ısı transfer akışkanının faz değişim sıcaklığı ile ısı ayrılma sıcaklığı arasındaki 4°C 'lik fark tesisatın özel koşullarına bağlı değildir.

Çiller kapasitesi: Maksimum günlük tüketimi verir (kWh)

$$Q_j = \sum_{i=1}^{24} P(i) = 2200 \text{ kWh}$$

Çiller boyutlandırılırken çiller kapasitesinin, evaporatör sıcaklığına bağlı olduğu hatırlanmalı ve yükleme işlemi esnasında çiller kapasitesi, üretim periyodu esnasında daha düşük olmalıdır. Günlük ihtiyaçlar 24 saate yayılmıştır ve minimum çiller kapasitesi ihtiyacı:

$$Q_j/24 = P_{\min} \text{ (kW)}$$

$$\text{Örnek: } 2200/24 = 92 \text{ kW}$$

Biz şimdi 92 kW bir çillerin çalışma saatlerini belirliyelim. Çiller saat 8 ile 17 (8 saat) arasında %100 çalışır. 8 ile 9 arasında iki olasılık vardır:

- Depolama ve doğrudan üretim veya
- Doğrudan üretim

Bu örnekte 2.çözüm üretilmiştir. 8 ile 9 arasında çiller 50 kW'lık bir ortalama kapasitede çalışır (işlemin süresi = $50/92 = 0,54h$). Doğrudan üretimde çillerin toplam çalışma süresi 8,5 saat (tpd) olacaktır. Çiller saat 17 ile 8 ($t_{st} = 15$ saat) arasında yüklemde çalışır.

$$Pr1 = \frac{Q_j}{t_{st} \times f + t_{pd}}$$

Bu örnekte doğrudan üretimde evaporatörü terk eden su/glikol sıvısının sıcaklığı 5°C'dir ve yükleme modunda buharlaşma sıcaklığının 11°C'ye düşüşüne uygun olarak -6°C'dir.

$$\text{Sonra } f = (1 - 0,03) \times 11 = 0,67$$

$$Pr2 = 2200 / (15 \times 0,67 + 8,2) = 121 \text{ kW}$$

Doğrudan üretim ise

$$t_{pd} = 7 + 50/121 + 100/121 = 8,2$$

Doğrudan üretimde çillerin aynı işlem süresini hesaplamak için aşağıda çiller kapasitesini buluruz. Depolama fazında çiller kapasitesinde azalma katsayısı:

$$P_c = f \times Pr = 0,67 \times 121 = 81 \text{ kW}$$

Enerji depolama ve serbest bırakmanın eşit olduğunu saptarız:

$$Q_{st} = 81 \times 15 = 1125 \text{ kWh}$$

$$Q_{dst} = (150 - 121) + (250 + 121) + (350 - 121) + 2 \times (400 - 121) + (200 - 121) = 1203 \text{ kWh}$$

Depo hacmi:

Depo hacmi DSTL'yi hesaplarız (m^3 başına depolanmış enerji)

$$DSTL = Q_1 + [Q_{s1} \times (T_3 - T_{st})] + [Q_{dd} \times (T_m - T_{st})]$$

Deşarj esnasında sıcaklık aralığı 5-10°C böylece $T_3=5^\circ\text{C}$ 'dir. Bu aralık evaporatörün 5°Clik Δt giriş/çıkış farkına uymaktadır. Şarj ve deşarj kapasitelerindeki azalma 0,67'dir. Evaporatördeki akış iki durum içinde aynıdır. Kapasitedeki azalma sıcaklık farklarındada azalmaya sebebiyet verecektir. Şarjda bu fark: $0,67 \times 5=3,4^\circ\text{C}$ tır. Sıcaklık oranı = $-6^\circ\text{C}/-2,6^\circ\text{C}$ 'dir.

$$T_m = \frac{-6 - (-2,6)}{2} = 4,3$$

$$\text{DSTL} = 48,4 + (1,1 \times 5) + (0,7 \times 4,3) = 56,9 \text{ kWh/m}^3$$

Depolanmış enerji 1215 kWh, minimum hacim ise şöyle olacaktır:

$$V = \frac{Q_{st}}{\text{DSTL}} = \frac{1215}{56,9} = 21,4 \text{ m}^3$$

Isı eşanjörü kapasitesi:

Depolama yükleme oranı

$$P_{st} = V \times k_{vc} \times \text{lmt}d1$$

$$\text{lmt}d1 = \frac{(T_2 - T_{st}) - (T_1 - T_{st})}{\ln \frac{(T_2 - T_{st})}{(T_1 - T_{st})}}$$

$$P_{st} = 21,4 \times 1,15 \times \frac{(-6 - 0) - (-2,6 - 0)}{\ln \frac{(-6 - 0)}{(-2,6 - 0)}} = 100 \text{ kW}$$

$P_{st} > P_c$ tüm şarj boyunca olmalıdır. $P_c = 81 \text{ kW}$ yani sistem doğru boyutlandırılmıştır.

Depo boşaltma oranı:

$$P_{dst} = V \times k_{vf} \times \text{lmt}d2$$

$$\text{lmt}d2 = \frac{(T_4 - T_{st}) - (T_3 - T_{st})}{\ln \frac{(T_4 - T_{st})}{(T_3 - T_{st})}}$$

$$P_{dst} = 21,4 \times 1,85 \times \frac{(10 - 0) - (5 - 0)}{\ln \frac{(10 - 0)}{(5 - 0)}} = 286 \text{ kW}$$

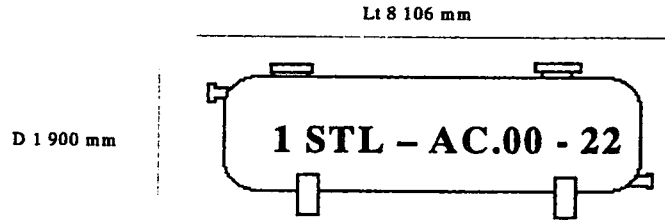
Tüm deşarj esnasında STL ile çillerin toplam kapasitesi maksimum yükten daha büyük olmalıdır.

$$P= 400\text{kW} \quad Pr=121\text{kW} \quad P_{dst}=286\text{kW}$$

$$P_{dst} + Pr = 407 \text{ kW}$$

$$P_{dst} + PR > P$$

Tesisat uygundur. Sonuçta seçilen STL ve depo aşağıda gösterilmiştir.



Kuyumcukent alışveriş merkezi ön proje sonuçları

İlk önce alışveriş merkezine ait günlük ısı kazançları ve gerekli olan soğutma yükleri tespit edilir, bu veriler bilgisayar programı stockaid'e işlenir ve tablo histogram elde edilir (ek 1) Bu verilere dayanarak program gerekli çiller boyut ve özelliklerini, kullanılacak STL tipini belirler (ek 1). Sistem dizaynını kabaca belirleyen program bunu aşağıdaki gibi çıktı olarak verir (ek 1). En sonunda STL lerin hangi saatlerde şarj ve hangi saatlerde ne kadar deşarj olacağını belirleyen diyagramı çizer. Bu projede kısmi yükleme ile soğutma yükünün bir kısmı STL tarafından karşılanmaktadır (ek 1).

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Isıl enerji depolama sistemleri üzerine yazılmış birçok makale, yapılmış birçok çalışma, kullanımda olan birçok uygulama vardır ve ben tezimde bu yazıların, çalışmaların, uygulamaların bazılarına yer verdim. Diğer ülkelerdeki uygulamaların dikkatlice incelenmesi yurdumuzda da benzer uygulamaların düşük maliyetlerle yapılmasını sağlayacaktır.

Ekonomik gelişmemiz güvenilir ve sürdürülebilir enerji teminine bağlıdır. Çevre konusunda, ülkemiz düzeyinde özellikle büyük kentlerde yaşadığımız hava kirliliğinden kurtulunmasından, dünya ölçeğinde küresel ısınma riskinin azaltılmasına kadar tüm beklentilerimiz, bugün kullandıklarımızdan daha az kirleten ve daha az sera gazı yayan enerji kaynakları/teknolojileri kullanılmasını gerektirmektedir.

Sanayileşmiş ülkelerde olduğu gibi Türkiye’de de artık zaman dilimlerinde farklı enerji tarifesi uygulanmaya başlanmıştır. Bu durum çeşitli kurum ve kuruluşların enerjiden tasarruf sağlamak maksadıyla çeşitli yöntemlere başvurmalarına sebebiyet verecektir. Bu noktada ısıl enerji depolama sistemleri bu kurum ve kuruluşlara isteklerini karşılayabilecek iyi bir alternatif olacaktır.

Unutulmamalıdır ki enerjiyi üretmek kadar bilinçli kullanmakta önemlidir. Bu tip yeni teknolojilerin kullanımı belki bir miktar daha fazla yatırım maliyetine ve biraz daha iyi mühendislik bürolarına ihtiyaç duymaktadır. Uzun vadede ise hem çevreye saygılı hemde ekonomiye katkısı olan bu teknolojiden ülkemizde yararlanması şarttır.

IED teknolojisi gibi yeni teknolojilerin pazara girmesindeki engeller aşağıdaki gibidir

Maliyet: Yeni enerji teknolojileri için en önemli pazar engeli, bunların maliyetlerinin kullanılmakta olan konvansiyonel teknolojilere göre daha yüksek olmasıdır. Altyapı yatırımları: Enerjinin yeni teknolojiler kullanılarak üretimi ve tüketimi için yeni altyapıya gerek duyulması ya da mevcut altyapıda değişiklik ihtiyaçları da önemli bir pazar engeli oluşturmaktadır. Sermaye çevriminin yavaşlığı: Ulaşım sistemlerinin, enerji şebekelerinin, yapılarda ve sanayide kullanılan cihazların kullanım ömürleri oldukça uzundur. Bu da mevcut stoğun daha verimli ve daha temiz olanlarla değiştirilmesi için çok uzun bir süre gerektirmektedir. Sermaye çevrimindeki bu yavaşlık, yeni teknolojilerin pazara girmesini geciktiren bir pazar engelidir. Pazar örgütlenmeleri: Örneğin yapı sektöründe tasarım ve yatırım kararlarını veren ve uygulayanlar ile, yapıyı kullanan ve dolayısıyla enerjinin etkin kullanımı sonucu yarar sağlayacak olanlar farklıdır. Bu da yeni teknolojilere yatırım

yapılması kararlarını olumsuz yönde etkiler. Fosil yakıt fiyatlarının düşüklüğü: Elektrik üretimindeki kapasite fazlası ve fosil yakıt fiyatlarının düşüklüğü, yeni ve özellikle yenilenebilir kaynaklara dayalı elektrik enerjisi üretim teknolojilerine yapılacak yatırımı engellemekte ve onların pazar dışında kalmasına yol açmaktadır. Çevresel engeller: Toplam çevresel etki göz önüne alındığında, rüzgar santrallerinin neden olduğu bölgesel görüntü ve gürültü kirliliği, hidroelektrik santrallerin bölgenin yağış rejimini etkilemesi, taşkınlara neden olması gibi bazı çevresel engeller de ortaya çıkmaktadır. Regülasyonlar: Enerji dışındaki alanlar (çevre ve güvenlik gibi) için geçerli düzenlemelere uyum sağlanması ve bunun belgelenmesi ihtiyacı da zaman almakta ve teknolojinin yayılmasını geciktirebilmektedir. Diğer pazar engelleri: Pazardaki fiyatların çarpıklığı, alıcı ve satıcıların risk almak istememeleri, finans pazarlarındaki düzensizlikler, yönetsel hatalar sayılabilir. Yeni teknolojilerin tanıtılması, bu teknolojiler ile ilgili enformasyon sağlanması ve çalışanların bu teknikler ve teknolojiler konusunda eğitilmesi maliyetleri de dolaylı pazar engelleri arasında yer alır. Uzun dönemli Ar-Ge ihtiyacı: Uzun dönemde gelecek vadeden teknolojilerin geliştirilmesi için uzun dönemli Ar-Ge faaliyetlerine ihtiyaç vardır. Ancak özel sektörün (son yıllarda devletlerin de) uzun dönemli Ar-Ge'ye ilgisi giderek azalmaktadır. Bu durum geleceğin yeni teknolojilerinin geliştirilmesinde önemli bir engel oluşturmaktadır.

Yeraltında ısı enerjisi depolama tekniğinin Türkiye'de uygulanması için, konu enerji politikası kapsamına alınmalı, başta Uluslararası Enerji Ajansı, Avrupa Birliği Enerji Programları ve Dünya Bankası Enerji Programları olmak üzere uluslararası programlara katılım sağlanmalı, devlet tarafından mali olarak desteklenmelidir. Üniversitelerin eğitim programlarında yer verilmeli, kamuoyuna anlatılmalı, ar-ge çalışmaları geliştirilmeli, yerli teknolojinin yeterli olmadığı alanlarda bilinçli teknoloji transferleri yapılmalıdır. Uygulamalar için yasal mevzuat düzenlenmelidir. Ayrıca, uygulamaya yönelik ar-ge çalışmalarının desteklenerek geliştirilmesi gerekmektedir. Yeni ve yenilenebilir enerjilerle ilgili çıkarılması gereken yasal mevzuat kapsamında, ısı enerjisi depolaması konusuna da yer verilmesi gereklidir.

KAYNAKLAR

Andersson, O., (1999), "Some aspects on the potential for UTES District Cooling Systems in Different Climates", International Energy Agency implementing Agreement On Energy Conversation Through Energy Storage Workshop On Cooling In All Climates With Thermal Energy Storage, 4-5.Haziran.1999, Antalya.

Bejan, A., (1978), " Two Thermodynamic Optima in the Design of Sensible Heat Units for Energy Storage," Journal of Heat Transfer, vol.100, pp. 708-712.

Bıyıkoğlu,A., Yüncü,H., (2001), "Optimization Of A Sensible Heat-Thermal Energy Storage System By Lumped Capacity Method", Isı Bilimi Ve Tekniği Dergisi, 21.1.2001, Ankara

Blanchard, J., (2000), "Application of Soil TES for Seasonal Cooling/Heating of Aquaculture Production Systems", Annex 14 Cooling In All Climates With Thermal Energy Storage, 6 Nisan 2000, Halifax.

Buchlin,J.M., (1998),"Experimental and Numerical Modelling of Solar Energy Storage in Rockbeds and Encapsulated Phase Change Material Packings", Energy Storage Systems, NATO ASI series E, Vol.167,249-302, 1998

Buddhi, D., Sharma, S.D., (1999), "Measurements of transmittance of solar radiation through stearic acid: a latent heat storage material" Energy Convers. Mgmt., 40, 1979-1984, 1999.

Chelghoum, D.E. ve Bejan, A., (1985), "Second-Law Analysis of Solar Collectors with Energy Storage Capability," Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 107, pp. 244-251.

Choi, B.Y., Lee, S.R., Lee, K.H., (2000), "Cooling and Water heating System by Heat Pump in Korea", IEA Annex 14 Cooling in All Climates with Thermal Energy Storage Second Experts Meeting, 6-7 Nisan 2000, Dartmouth.

Chung, Y., Kim, B.J., Yeo, Y.K., Song, H.K., (1997) "Optimal Design of a Chemical Heat Pump Using the 2- Propanol / Acetone / Hydrogen System", Energy 22 (5): 525-536, 1997.

Çimen, F., (1999), "21. Yüzyılın Enerji Teknolojileri - Uzun Dönem İçin Teknolojiler", Bilim ve Teknoloji Strateji ve politika Çalışmaları Tübitak Btp 99/01, Mayıs 1999.

Daniels, F., (1962), "Energy Storage Problems", Solar Energy 6, 1964, New Haven and London.

Daniels, F., (1964), "Direct Use Of The Sun's Energy", Yale University Press, 1964, New Haven and London.

Dessouky, E.H. ve Juwayhel, A.F., (1997), "Effectiveness of a thermal energy storage system using phase change materials", Energy Convers. Mgmt., 38, 601-617, 1997.

Dikici, D. Ve Paksoy, H., (2000), "Kanalda Termal Enerji Depolama İle Temiz Soğutma", III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 15-17 Kas. 2000, İstanbul.

Dikici, D., Paksoy, H., Ozonur, Y., (2001) "Natural Sources For Cold Storage - Potential Study", Annex 14 Cooling in All Climates with Thermal Energy Storage Workshop, 19 Nisan 2001, İstanbul.

Dincer, I. Ve Rosen, M.A., (2001), "Energetic, Environmental And Economic Aspects Of Thermal Energy Storage Systems For Cooling Capacity", Applied Thermal Engineering, 21:1105-1117.

Dincer, I., (1998), "On Sensible Energy Systems And Applications", International Symp. Ran'98, 1-3 Dec. 1998.

Dincer, I., (1999), "Evaluation And Selection Of Energy Storage Systems For Solar Thermal Applications", International Journal Of Energy Research, 23:1017-1028.

Dinçer, İ., (2002), "On Thermal Energy Storage Systems And Applications In Buildings", Energy And Buildings, 34:377-388, Dhahran.

Fath, H.E.S., (1998), "Technical Assessment Of Solar Thermal Energy Storage Technologies.", Renewable Energy, 14:35-40,

Gastauer, P., Kameyama, H., (1995), "The Thermal Efficiency of The isopropanol / Acetone / Hydrogen Chemical Heat Pump: Analysis and Improvement", Proceedings, international Hydrogen and Clean Energy Symposium, IHCE'95, 6-8 Ocak, 317-320, 1995, Tokyo.

Hariri, S.A., (2000), "Performance Of A Thermal Energy Store Filled With Spherical Elements Containing Water", Wel 2000, S. Arabia.

Hasnain,S.M., (1997b), "Review On Sustainable Thermal Energy Storage Technologies, Part I: Heat Storage Materials And Techniques", Energy Convers. Mgmt., 39(11):1127-1138.

He, B., "Phase Change Materials (PCMs) for Cooling Storage an Investigation of Possible Candidates of Lower Temperature PCMs in Thermal Energy Storage Applications in Household Refrigeration", Annex 14 Cooling in All Climates with Thermal Energy Storage Workshop,19.Nisan.2001, Istanbul.

Horbaniuc,B., Dumitrascu,G., Popeacu,A., (1998), "Mathematical Models For The Study Of Solidification Within A Longitudinally Finned Heat Pipe Latent Heat Thermal Storage System", Ecos 98 Vol.2, Nancy.

Jay, F., (2002), "Cristopia Energy Storage And Air Conditioning With Cristopia Tes Systems", V. International HVAC + R Technology Symposium, 29 nisan - 1 Mayıs, 2002, İstanbul.

Kaygusuz, K., Çomaklı, Ö., Ayhan, T., (1990), "Güneş Destekli Enerji Depolu Isı Pompası Sistemi İle konutların Isıtılmasının Deneysel Ve Teorik Olarak İncelenmesi", Çalışma Toplantısı Bildiriler Kitabı, Termodinamiğin İkinci Kanunu, 27-30 Ağustos 1990, Kayseri.

Koçar, G., (1997), "Güneş Enerjisinin Sera Isıtılmasında Kullanımı İle İlgili Gelişmeler", 1.Çevre Ve Enerji Kongresi 14 - 15 Nisan 1997, Antalya

Kotas, T., A., Raichura, R., C., Mayhew, Y., R., (1987), "Nomenclaturefor exergy analysis", Second law analysis of thermal systems, ASME, 171-176, New York.

Krane, R.J., (1985), " A Second Law Analysis of a Thermal Energy Storage System With Joulean Heating of the Storage Element," ASME Paper 85 WA/HT-19, 1985 Winter Annual Meeting of the American Society of Mechanical Engineers, Miami.

Krane, R.J., (1987), " A Second Law Analysis of the Optimum Design and Operation of Thermal Energy Storage Systems," International Journal of Heat and Mass Transfer, vol.30, No.1, pp.43-57.

Kunduz,M., (1999), "Depolanmış Enerjinin Optimum Kullanımı", Güneş günü sempozyumu, 25-27 haziran 1999, Kayseri.

- Lauerhass, L.N., Rudd, D.F., (1981), "On The Thermodynamics of The Chemical Heat Pump", *Chemical Engineering Science* 36, 803-807, 1981.
- Lee, A.H.W. Ve Jones, J.W., (1999), "Experimental Results Of A Sensible Heat Storage System For Residential And Light Commercial Application", *International Journal Of Energy Research*, 23:319-325.
- Lund, P.D., (2000), "Thermal Energy Storage", Helsinki University of Technology, Advanced energy systems, FIN02150, (2000), Finland, Espoo.
- Manz, H., Egolf, P.W., Sutter, P., (1997), "TIM-PCM external-wall system for solar space heating and daylighting", *Solar energy* 61, 369-379, 1997.
- Matsunami, J., Yoshida, S., Oku, Y., Yokota, O., Tamaura, Y., Kitamura, M., (2000), "Coal gasification with CO₂ in molten salt for solar thermal/chemical energy conversion", *Elsevier Energy* 25, (2000), 71-79.
- Mazman, M., Paksoy, H., Evliya, H., (1999), "Güneş Enerjisinin Organik Kimyasallarda Depolanması", *Güneş Günü Sempozyumu'99*, 25-27 Haziran 1999, Kayseri
- Mbaye, M., Aidoun, Z., Valkov, V., Legault, A., (1998), "Analysis of Chemical Heat Pumps (CHPS): Basic Concepts and Numerical Model Description", *Applied Thermal Engineering* 18, 131-146, 1998.
- Meng, N., Shinoda, S., Saito, Y., (1997), "Improvements on Thermal Efficiency of Chemical Heat Pump Involving the Reaction Couple of 2-Propanol Dehydrogenation and Acetone Hydrogenation", *int. J. Hydrogen Energy* 22(4), 361-367, 1997.
- Mooksuwan, W., Kumar, S., (2000), "Study on 2-Propanol/aseton/hydrogen Chemical Heat Pump: Endothermic Delihydrogenation of 2-Propanol", *int. J. Energy Res.* 24, 1109-1122, 2000.
- Moran, M.J. ve Keyhani, V., (1982), "Second Law Analysis of Thermal Energy Storage Systems," 7th International Heat Transfer Conference, vol.6, Munich.
- Nakajima, Y., 1972 "Study on the thermal response of the heat storage tank. Part 1 Basic theory and Analysis (Japanese)", *AIJ Transactions*, No. 199, 1972, sayfa 37 – 47)

Nordell, B., Skogsberg, K. (1999), "Snow Storage for Cooling of Hospital", International Energy Agency implementing Agreement On Energy Conservation Through Energy Storage Workshop On Cooling In All Climates With Thermal Energy Storage, 4-5.Haziran.1999, Antalya

Öztekin,S., Soysal, S., Paksoy, H., (1999), "Potential For Using Thermal Energy Storage In Pre-Cooling Of Cherries In Turkey", International Energy Agency implementing Agreement On Energy Conservation Through Energy Storage Workshop On Cooling In All Climates With Thermal Energy Storage, 4-5.Haziran.1999, Antalya.

Paksoy, H., (1999), "International Energy Agency Energy Conservation Through Energy Storage Implementing Agreement", International Energy Agency implementing Agreement On Energy Conservation Through Energy Storage Workshop On Cooling In All Climates With Thermal Energy Storage, 4-5.Haziran.1999, Antalya.

Paykoç, E., Kakaç, S., (1988) "Solar Thermal Energy Storage," ASI on Energy Storage Systems: Fundamentals and Applications, 27 June-8 July, pp. 451-489, İzmir.

Raldow, W.M., Wentworth, W.E., (1979), "Chemical Heat Pumps - A Basic Thermodynamic Analysis", Solar Energy, 23, 75-79, 1979.

Rosen,M.A., (1999), "Second-Law Analysis Of Aquifer Thermal Energy Storage Systems", Energy, 24:167-182.

Rosen,M.A., (2001), "The Exergy Of Stratified Thermal Energy Storages", Solar Energy, 71(3):173-185.

Saito, Y., (1995), "Chemical Heat Pump and Hydrogen Transportation", Proceedings, international Hydrogen and Clean Energy Symposium, IHCE'95, 6-8 ocak, 123-130,1995, Tokyo.

Sarı,A. Ve Kaygusuz,K., (2001), "Thermal Energy Storage System Using Stearic Acid As A Phase Change Material", Solar Energy, 71(6):365-376.

Schimidt,E.,W., (1985), "Thermochemical Energy Storage Systems", 11 th. IECEC, 1985

Setterwall, F., (2000), "Advanced Thermal Energy Storage Through Application Of Phase Change Materials And Chemical Reactions Feasibility Studies And Demonstration Projects", International Energy Agency (IEA) Energy Conservation Through Energy Storage (ECES) Annex 17, 2000, Stockholm

Skogsberg, K., (2001), "Seasonal Snow Storage", PhD Thesis, Lulea T.U., 2001, Sweeden.

Sukhatme,S.P., (1998), "Solar Energy", Tata McGraw Hill,1998.

Teknik Kılavuz, (2000), "Thermal Energy Storage Technical Manual", Cristopia Energy Systems, 2000, Vence.

Teknik Rapor, (1996), " Source Energy And Enviromental Of Thermal Energy Storage", California Energy Comm., Technical Report No. P500-95-005, California.

Tübitak, (1998a), "Yeraltında Isıl Enerji Depolanması", Çevre Dostu Ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları İle İlgili Teknolojiler, Alt Grup Raporu, Tübitak, 1998, İstanbul.

Ültanır, M.Ö., (1998), "21. Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi", TÜSİAD Yayın No. T / 98 - 12/239, 1998.

Velraj, R., (1997) "Experimental Analysis And Numerical Modelling Of Inward Solidification On A Finned Vertical Tube For A Latent Heat Storage Unit", Solar Energy, 60, 281-290, 1997.

Wildin, M.W., (1990), "Diffuser for naturally stratified thermal storage", ASHRAE Transaction 96(1), 1094-1102, 1990.

Wongsuwan, W., Kumar, S., Neveu, P., Meunier, F., (2001), "A Review of Chemical Heat Pump Technology and Applications", Applied Thermal Engineering 21 1489-1519,2001.

Wyman, C., Castle, J., Kreith, F., (1979), "A Review of Collector and Energy Storage Technology for Intermediate Temperature Applications," Solar Energy, Vol.24, pp. 517-540, 1979.

Yamaha, M., (1999), “Applications And Technologies Of Cool Storage In Japan”, International Energy Agency implementing Agreement On Energy Conervation Through Energy Storage Workshop On Cooling In All Climates With Thermal Energy Storage, 4-5.Haziran.1999, Antalya.

Yılmaz, T., (1997), “Su Veya Buz Depolama Yöntemleriyle İklimlendirme”, III.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 20- 23 Kasım 1997, İzmir.

Zaralı, A., (2002), “Eski Bir Fikrin Havalandırma Enerjisi Masraflarını Yarı Yarıya Azaltacak Yeni Bir Uygulaması”, CALMAC tanıtım broşürü, 2002, İstanbul.

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] <http://egetek.unimedya.net.tr/pages/links/energy/solarIzmir.html>

[2] www.gsolaris.com/biz_kimiz/term

[3] www.fskab.com/Annex17/Materialdata/PCMProdukte.xls.

[4] www.tubitak.gov.tr/btpd/btspd/platform/enerji/index1.html

[5] www.eren.doe.gov./consumerinfo/refbriefs/b103.html., 2001.

[6] www.mam.gov.tr

EKLER

- Ek 1 Kuyumcukent alışveriş merkezi ön proje sonuçları bilgisayar çıktıları
Ek 2 Tüm FDM'lerin termofiziksel ve diğer özellikleri



Ek 1 Kuyumcukent alışveriş merkezi ön proje sonuçları bilgisayar çıktıları

kuyumcukent 04.09.2002 toplam yük - Variant1

C:\My Documents\kuyumcukent 04.09.2002 toplam yük.sto

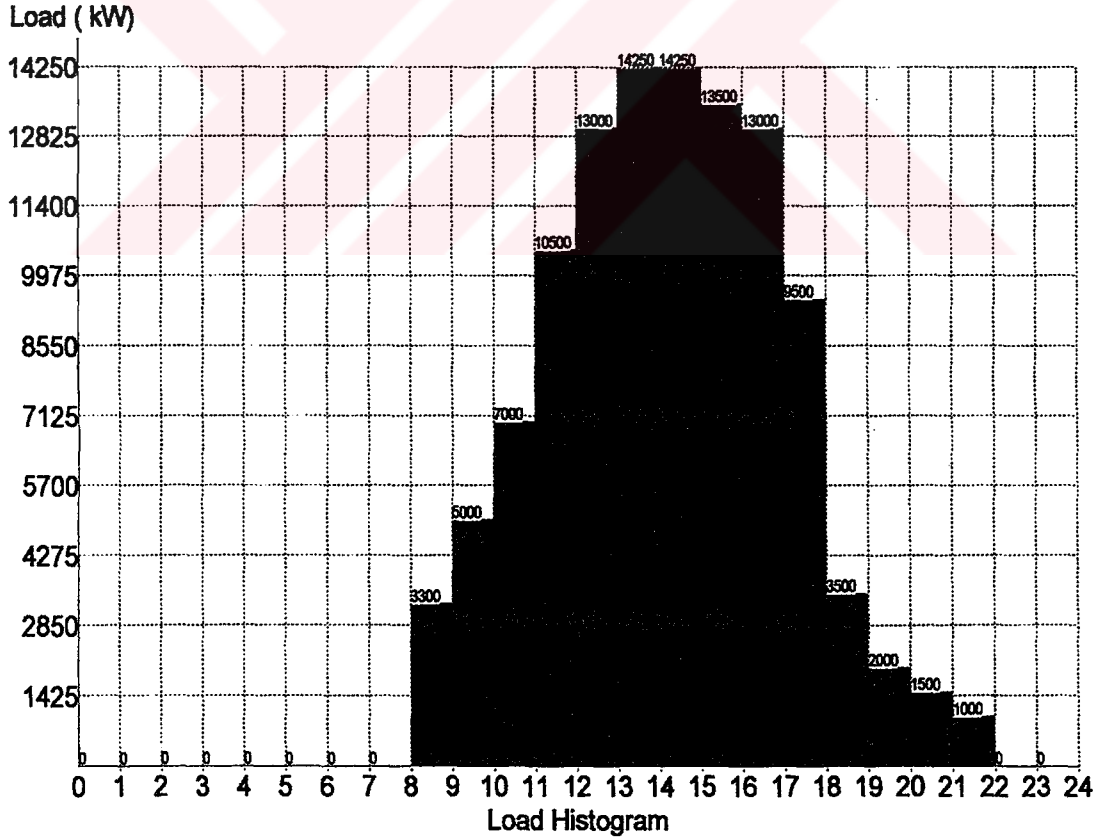
CRISTOPIA Thermal Energy Storage Systems (STL) Selection by Stockaid 2002

General

Date :	Reference :
Project :	Type :
Customer :	Contact :
Phone Number :	Fax Number :
e-Mail :	

Technical Input

Maximum Load :	14250 kW	Daily Consumption :	111300 kWh
Leaving Temperature :	7.0 °C	Return Temperature :	12.0 °C
Brine :	MEG	Thermal losses per day :	1 %
Hydraulic Layout :	parallel (2 set points)	Heat Exchanger :	YES



Selection**Base chiller**

Base capacity :	0 kW	Base outlet temperature :	7.0 °C
Base flow rate :	0 m3/h		

Brine chillers

Number of chillers :	1	Total direct capacity :	6221 kW
-----------------------------	---	--------------------------------	---------

Chiller 1

Chiller Type :	Screw	Flow rate :	1161 m3/h
Direct Capacity :	6221 kW	Outlet Temperature :	5.0 °C
Charge Capacity :	4245 kW	Charge Temperature :	-5.6 °C
Charge set-point :	-7.6 °C	Direct set-point :	4.0 °C

STL**STL - AC.00 - 885**

Stored Energy :	45232 kWh	Maximum STL capacity :	52477 kWh
------------------------	-----------	-------------------------------	-----------

<u>Nodules :</u>	AC.00		
Fusion temperature :	0.0 °C	Volume :	885 m3

Tank 1

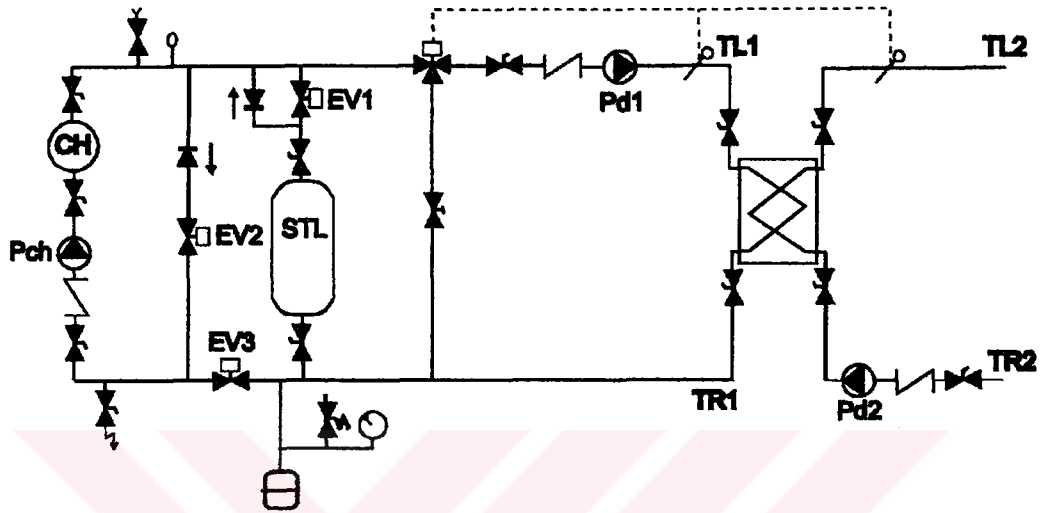
Type :	Vertical	Volume :	885 m3
Diameter :	0.00 m	Service Pressure :	0.0 bar
Length :	0.00 m	Weight :	0 kg

Additional specifications

<i>Percentage of glycol :</i>	28%
<i>Pressurized Tanks - Total useful expansion volume (5%):</i>	44.24 m3
<i>Atmospheric Tanks - Total useful expansion volume (1%):</i>	8.85 m3

Hydraulic Layout

parallel (2 set points), exchanger

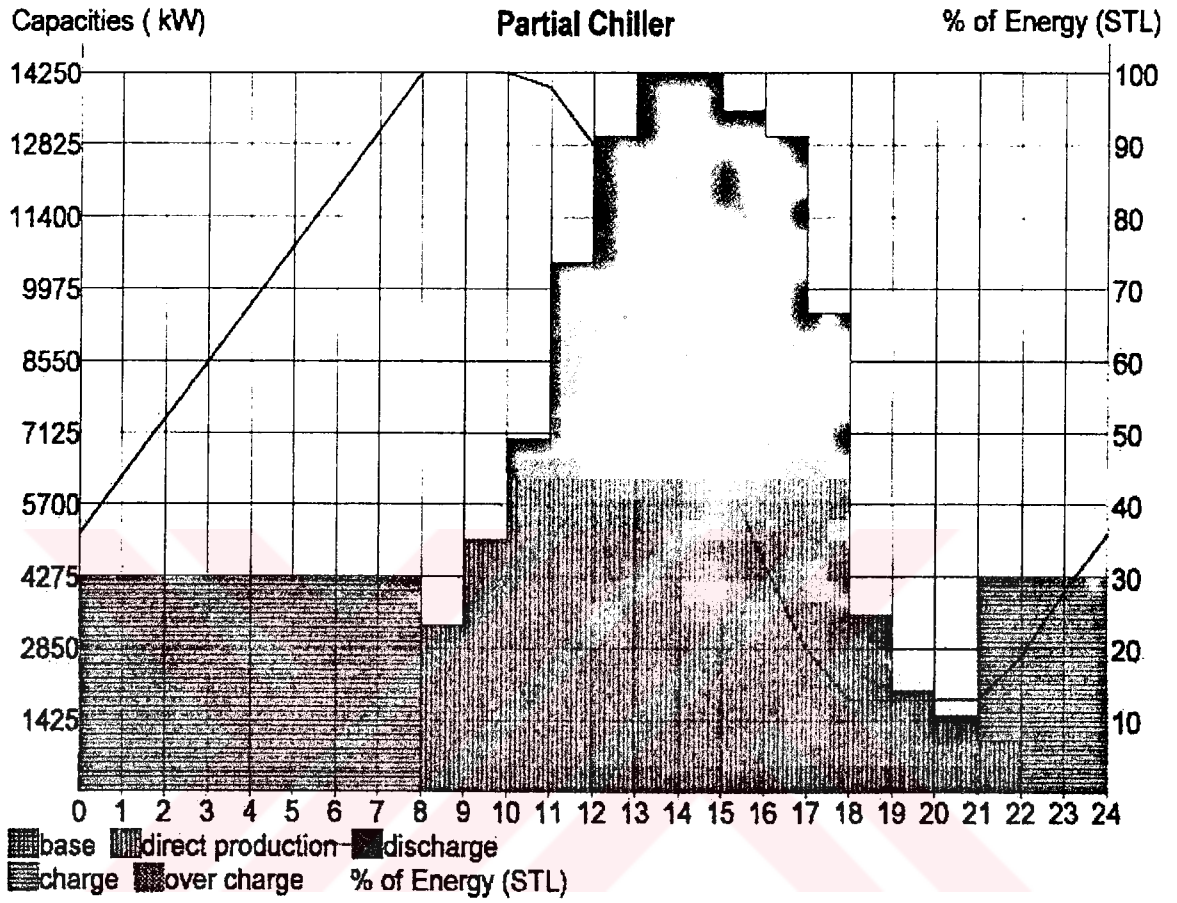


The expansion volume due to the STL is 5% of the STL tank volume.

- | | | | |
|--|------------------|--|--------------------|
| | Motorized valve | | Filling Valve |
| | Regulating valve | | Temperature probe |
| | Service valve | | Filter |
| | Relief valve | | Air bleeding valve |
| | Expansion tank | | Manometer |
| | Draining valve | | One way valve |

PD1 :	2659 m3/h	PD2 :	2455 m3/h
TL1 :	5.0 °C	TR1 :	10.0 °C
TL2 :	7.0 °C	TR2 :	12.0 °C
Heat Exchanger capacity :	14250 kW		

STL Strategy



Tetradecane			5,8		227		759	2,21					
Pentadecane			9,9		207		765	2,22					
Hexadecane			11		236,6								Aldrich
1-dekanol			11		205								
Witco K-51			12,3		197,3								Witco
	CaCl ₂ ·6H ₂ O / Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O		13										
Trimethylololane tetrahydrate + Urea	C ₅ H ₁₂ O ₃ ·4H ₂ O, H ₂ NCONH ₂		13,4		160		1,17 (0C) 1,14 (30C)	3,09	4,22		0,66(5C) 0,37(38C)		Mitsubishi Chemical
1-2 Octadecane	CH ₃ (C _H) ₁₅ CH=C _H		13,4		129						1,2	1990	Chevron Olefin
	K ₂ HPO ₄ ·6H ₂ O		14		108								
1-2 Octadecane	CH ₃ (C _H) ₁₅ CH=C _H		14,1		129						1,2	1990	Shell C-18 Olefin
Witco 45A/85010-1 (50/50)			15,6		153								Witco
Octadecane/Hexadecane (75/25)			15,8		221,5								Blend
n-hexadecane	C ₁₆ H ₃₄		16,7		237								
1-Bromo Octadecane	CH ₃ (C _H) ₁₆ CH ₂ Br		17,2		175,6						4,1	1990	Humphrey Chemical
Dodecanol	CH ₃ (C _H) ₁₀ CH ₂ OH		17,5		188,5						1,9	1990	ETHYL EPAL-12
n-heksadekani	C ₁₆ H ₃₈		18		234								
	NaCl-Na ₂ SO ₄ ·H ₂ O		18										
Hexadecane	C ₁₆ H ₃₃	CH ₃ -(CH ₂) ₁₄ -	18,1		236			2,22	1,75		10	1998	

		CH3										
Hexadecane			18,1		236		770	2,22				
Sodium sulphate	C16H43	CH3-(CH2)14-CH3	18,1		236			2,22	1,75		10	1998
Sodium sulphate	C16H43	CH3-(CH2)14-CH3	18,1		236			2,22	1,75		10	1998
Potassium fluoride tetrahydrate		KF * 4H2O	18,5		231							
Butyl Stearate		CH3(C H2)16 COOC 4H9	18,5		126,6							Japanese Tech Grade "Thermotop"
Suolahydraattaja, Kongruentistisulavia		KF * 4H2O	19		231	306						
Propyl palmitate		CH3(C H2)12 COOC 3H7	19		186							
Butyl stearate		CH3(C H2)16 COO(CH2)3 CH3	19		140							
capric (61,5 %w)-lauric acid(38,5%w) mixture			19		132							
Capric- Lauric 61,5-38,5 %			19,1		132							
Tech Grade Octadecane			19,2		207							Huprey Chemical co.
Butyl Stearate		CH3(C H2)16 COOC 4H9	19,5		150,5					1,5	1990	CHEMOL Technical Grade
Witco K-61			19,8		199,8							Witco
Acetophenone	C6H5	COCH3	20									
Octadecane			20,1		252							Aldrich
n-heptad		C17H36	20,7		179							

Witco 45-A 100%			26,3		167,2								Witco
n- octade cane		C18H 38	26,6		246								
Capric- Stearic 86,6- 13,4 %			26,8		160								
Aceta mide / urea			27		163								
capric(86,6%w) - stearic(13,4 %w) acid mixture			27		160								
Suolahydraatt eja, epäkongruentt eja	FeBr3 *	6H2O	27		105								
	FeBr3 *	6H2O	27										
n- oktade kaani	C18H 40		28		243								
Calcium chloride hexahydrate			28		188	318	1500	2,09	1,42	1,085	0,35	1994	
Octad ecane			28,1		244		779	2,22	1,9				
TH29			29		175- 225		1500						PCM- Therm al Solutio ns Inc. 1163 E. Ogden Ave;
	CaCl2 *	6H2O	29		193								
	CaCl *	6H2O	29										
	57,8% LiNO3 & 42,2% H2O		29										
kapriinihappo, tekninen			29,1	28,3	160								
Calcium chloride hexahydrate	CaCl2 *	6H2O	29,7		171								
Trimet hylolet hane tetrahy drate	C5H12 O3 4H2O	CH3- C- (CH2 OH)3	29,8		185		1,12 (10C) 1,09 (50C)	3,58	2,75	0,65(22C) 0,21(56C)			
	LiNO3 *	3H2O	30		296	460							

Hexadecane	Na ₂ S ₁₄ O ₄	Na ₂ S ₁₀ O ₄ •10H ₂ O	32,4	254	377	1485	1,93	0,544			
Hexadecane	Na ₂ S ₁₄ O ₄	Na ₂ S ₁₀ O ₄ •10H ₂ O	32,4	254	377	1485	1,93	0,544			
Sodium sulphate	Na ₂ S ₁₄ O ₄	Na ₂ S ₁₀ O ₄ •10H ₂ O	32,4	254	377	1485	1,93	0,544			
		Na ₂ S ₁₀ O ₄ •10H ₂ O	32,4	254	377						
Sodium sulphate decahydrate		Na ₂ S ₁₀ O ₄ •10H ₂ O	32,4	254							
Lauric-Myristic 62,6-37,4 %			32,6	156							
Lauric-Palmitic 64,0-36,0 %			32,8	165							
lauric(64 %w) - palmitic(36 %w) acid mixture			33	165							
lauric(62,6 %w) - myristic(37,4 %w) acid mixture			33	156							
	CaBr ₂ •6H ₂ O		34								
Witco LLN 100%			34,7	214							
Witco LLN			34,7	207,7							Witco
Witco LLN 100%			34,7	205,6							Witco
		Na ₂ HPO ₄ •12H ₂ O	35	281	400						
Sodium orthophosphate dodecahydrate		Na ₂ HPO ₄ •12H ₂ O	35	281							
	Na ₂ HPO ₄ •12H ₂ O		35								
n-eicosane		C ₂₀ H ₄₂	35,2	253							
TH36			36	175-225		1500					PCM-Thermal

	NH ₄ NO ₃ & 25,9% H ₂ O												
Myristic 100%			52,1		190								
Tetacosane			52,6		255		796	2,4	1,93				
36,5% Urea & 63,5% Acetamide	CO(NH ₂) ₂ & CH ₃ CONH ₂		53										
	67,2% Mg(NO ₃) ₂ & 32,8 H ₂ O		53										
Pentacosane			53,5		238		798	2,3	1,9				
Shell Wax X-200			53,6		181,4								Shell
myristiinihap- po, puhdas			53,7	50,4	190								
myristiinihap- po	C ₁₄ H ₂₈ O ₂		54		187								
palmitic acid			54		183								
Palmitic 100%			54,1		183								
palmitiinihap- po			55,4	52,7	182								
Hexacosane			56,3		250		800	2,4	1,9				
	Ni(NO ₃) ₂ * 6H ₂ O		57										
	Ni(NO ₃) ₂ * 6H ₂ O		57										
TH58			58		175- 225		1500						PCM- Thermal Solutions Inc. 1163 E. Ogden Ave; Suite 705- 345; Naperville, IL 60556 3

midile & 39,9% Benzoic Acid	C6H5COOH												
Urea / Nh4Br			76										
	33,4% NH4Br & 66,6% CO(NH2)2, urea		76										
Hexatriacontane			76,2		269		814	2,38	1,85				
Heptatriacontane			77,7		259		815	2,45	1,84				
Barium hydroxide octahydrate (BHO)			78		301	583	2180	1,26	1,17	1,26			
	Mg(NO3)2.6H2O / MgCl2.6H2O(10wt%)		78,2	9,2	152								
Industrial grade	Mg(NO3)2.6H2O / MgCl2.6H2O(10wt%)		77,9	0,7	152								
	Ba(OH)2 * 8H2O		78		265	581							
	Ba(OH)2*8H2O		78										
Octatriacontane			79		271		815	2,44	1,84				
51,8% Benzamide & 48,2% Benzoic Acid	C6H5CONH2 & C6H5COOH		79										
Propionamide	C2H5CONH2		79										
naftaleni	C10H8		80		140								
Naphtaline	C10H8		80			171							
Naphtalene	C10H8		80										
Nonatriacontane			80,3		271		816	2,45	1,83				
Tetracontane			81,5		272		817	2,51	1,82				
Pentaglycerine (PG)			82		174	212	1220		2,8	0,361			

Heptacontane			105,5		281		836	2,17	1,55				
Polywax 2000			111,9		219								
Polywax 3000			115		226,9								
Hectane			115,25		285		846	1,85	1,33				
		MgCl ₂ * 6H ₂ O	116		165	239							
		MgCl ₂ * 6H ₂ O	117		172								
		MgCl ₂ * 6H ₂ O	117										
meso-Erythritol	C ₄ H ₁₀ O ₄	HOC H ₂ [C H(OH)]2CH 2OH	118,0		339,8		1,48 (20C) 1,30 (140C)	1,38	2,77	0,73(20C) 0,33(140C)			Mitsubishi Chemical
STL120 (Erythritol)			120		320	416	1300						Mitsubishi Chemical
Neopentyl glycol (NPG) (solid-liquid)			129		36								
urea	CO(NH ₂) ₂		133		230								
		FeS	138			230							
		Mn(NH ₂) ₂ * 6H ₂ O	148		250								
Li			179		663								
Pentaerythritol (PE) (solid-solid)			184		286								
Suola	Al ₂ Cl ₆		192		260	640							
		KHF ₂	196			314							
		LiOH-NaOH	217		341								
		LiNO ₃	254		380	900							
Pentaerythritol (PE) (solid-liquid)			260		40								
		LiCl-LiOH	262		440								
		NaCl(5,0%)/NaNO ₃	282		212								
		NaNO ₂	282		212								
		NaOH/Na ₂ CO ₃ (7,2%)	283		340								
		NaCl/	284		171								

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 12.10.1976

Doğum yeri İstanbul

Lise 1987-1994 Özel Akasya Lisesi

Lisans 1994-1998 Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak.
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1999-2002 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı

Çalıştığı kurumlar

1998-1999

Atakar Tesisat Mühendislik Ltd Şti.

1999-Devam ed.

YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi

