

**T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ ENERJİSİ DEPOLAMA OLANAKLARI
VE BİR YÖNTEMİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Mehmet Hakan UZUN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makina Mühendisliği A.B.D.**

Danışman: Prof. Dr.-İng. Ahmet CAN

2010-EDİRNE

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ ENERJİSİ DEPOLANMA OLANAKLARI
VE BİR YÖNTEMİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Mehmet Hakan UZUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu tez 28 Eylül 2010 tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Kabul Edilmiştir.

Prof.Dr.-Ing.
Ahmet CAN
Jüri Başkanı (Danışman)



Prof.Dr.
İsmail EKMEKÇİ
Üye



Yrd.Doç.Dr.
Doğan YENERER
Üye



ÖZET

İnsanların yaşam standartlarının artması ve ülkelerin endüstrileşmesinin özellikle 1970 li yıllardan itibaren artması ile birlikte enerji kaynaklarına talep artmıştır. Bu enerji ihtiyacı, yeni enerji kaynaklarının belirlenip geliştirilmesini, enerjide kıt kaynakların daha etkin ve tasarruflu şekilde kullanılmasını gerekli kılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ilgi bu nedenle artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından sürekli enerji elde edilememesi, belirli zamanlarda kesintiye uğraması sebebiyle enerji depolanması ihtiyacı doğmuştur. Örneğin yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen güneş enerjisi yazın bol miktarda bulunmakta olup kışın ise yeterince çok değildir. Bu sorunu aşmak için güneş enerjisinden elde edilen ısı enerjisinin depolanması sayesinde kışın da enerji kullanımı mümkün olmaktadır. Bu çalışmada ısı enerjisi depolamanın önemi ve depolama çeşitleri, ısı enerjisinin depolanması durumunda ısı enerjisi kayıpları, toprak içinde depolamanın toprak üstünde depolamaya göre sağladığı enerji tasarrufu, depolamada yalıtımın önemi irdelenmiştir. Deneysel çalışmalar ve uygulamalara da yer verilerek konu derinlemesine incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isı depolama, Yeraltında Isı Depolama, Isı Kaybı, Yalıtım, Güneş Enerjisi

ABSTRACT

By the increase of the life standards of human beings and the increasing industrialization of the countries after 1970's, demand for energy resources increased, the need for energy made it necessary to determine and develop new energy resources and the use of scarce resources more effective and efficient way. The interest in the use of renewable energy resources has increased for this reason. Due to continuous energy can't be produced from renewable energy sources, and the interruption of the energy at certain times, need for energy storage has occurred. For example, solar energy, the leader of the renewable energy resources, is not as satisfied in the winter as is in the summer. Storage of the thermal energy obtained from the solar energy, make the usage possible in the winter. On this study; the importance of storage of the thermal energy, storage types, thermal energy losses in the case of the thermal energy storage, the energy saving provided by the storage under the ground according to the storage over the ground, importance of the storage isolation considered. The issue is analyzed in depth by the experimental studies and practices of the data .

Key words: Perceptible heat storage underground, heat loss, insulation, solar energy.

ÖNSÖZ

Dünya nüfusu ve yaşam kalitesinin artmasından dolayı ülkelerin endüstrileşmesi ile birlikte enerji tüketimi son çeyrekte büyük oranda artmıştır. Ortaya çıkan enerji ihtiyacı, yeni enerji kaynaklarının belirlenip geliştirilmesini ve enerjide kıt kaynakların daha etkin ve tasarruflu şekilde kullanılmasını gerekli kılmıştır. Enerji kaynaklarının kullanımının artması ile özellikle fosil yakıt (kömür, petrol, doğalgaz vb.) tüketimi artmış, karbondioksit ve egzost gazları salınımı da önemli ölçüde artmıştır. Ayrıca sınırlı kapasitedeki fosil yakıtların tükenme tehlikesi de ortaya çıkmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile sözü geçen sıkıntılar önemli ölçüde azaltılması mümkün olacaktır. Güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlisidir. Fakat güneş enerjisinden ısı enerjisi elde edilmesinde en önemli sorun enerji kaynağının süreksiz olmasıdır. Süreksizlik sorununun çözümü de güneş enerjisinin ısı enerjisi olarak depolanması sayesinde çözülebilir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
ÖNSÖZ	III
İÇİNDEKİLER	IV
SEMBOLLER ve KISALTMALAR	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	X
TABLolar LİSTESİ	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. GÜNEŞ ENERJİSİ	2
1.2. GÜNEŞ İŞİNİM ŞİDDETİ VERİLERİ	3
1.3. TÜRKİYE'DE GÜNEŞ ENERJİSİNDEN YARARLANMA ORANI VE SÜRELERİ	5
2. GÜNEŞ ENERJİSİNİN ISIL SİSTEMLERDE KULLANILMASI	8
2.1. GÜNEŞ ENERJİSİNİN ISIL UYGULAMALARDA KULLANIM OLANAKLARI	8
2.2. GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANILARAK AKTİF ISITMA YAPILMASI	8
2.3. GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANILARAK PASİF ISITMA YAPILMASI	10
2.4. GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANILARAK SOĞUTMA YAPILMASI	11
2.4.1. Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi	11
2.5. GÜNEŞ ENERJİSİNİN KULLANILDIĞI ISIL UYGULAMALAR	15
2.5.1. Güneş Enerjisi ile Kurutma	15

2.5.2. Güneş Enerjisi ile Damıtma	16
2.5.3. Güneş Enerjisi ile Havuz Suyu Isıtma	16
2.5.4. Toprak Solarizasyonu	17
2.5.5. Güneş Fırınları ve Ocakları	18
2.5.6. Güneş Havuzları	18
2.5.7. Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretilmesi	19
2.5.7.1 Güneş Enerjisi Santralleri	19
2.5.7.2 Güneş Pilleri (Fotovoltaik Piller)	21
2.6. ENERJİ DEPOLAMA TANIMI ve ÇEŞİTLERİ.....	23
2.6.1. Isı Enerjisi Depolama Çeşitleri	24
2.7. ISIL YÖNTEMLERLE ISI ENERJİSİ DEPOLAMA	25
2.7.1. Duyulur Isı Depolama	25
2.7.2. Gizli Isı Depolama	25
2.8. KİMYASAL YÖNTEMLE ISI ENERJİSİ DEPOLAMA	29
2.9. GÜNEŞ ENERJİSİNİN ISI ENERJİSİ OLARAK DEPOLANMASI	30
2.9.1. Güneş Enerjisinin Isı Enerjisi Olarak Depolanmasının Önemi	30
2.9.2. Isı Enerjisi Depolama Tekniklerinin Türkiye Dışındaki Uygulamaları	32
2.10. GÜNEŞ HAVUZUNDA GÜNEŞ ENERJİSİNİN DEPOLANMASI	36
3. ISI ENERJİSİ DEPOLAMA SİSTEMİ TASARIMI	38
3.1. DUYULUR ISI DEPOLAMANIN UYGULANABİLİRLİĞİ	39
3.2. ISI DEPOLAMADA ISI TUTUCU MATERYALLER	40
3.3. ISI ENERJİSİ DEPOLAMA TANKI TASARIMI	45
3.3.1. İç Basınç Altındaki Isı Depolama Tankının Et Kalınlığı	48
3.3.2. Isı Depolama Tankının Korozyondan Korunması	48

3.3.3. Basınçlı Kap Tasarımı	
3.4. ISI DEPOLAMA SİSTEMİNDE BULUNMASI GEREKEN ÖNEMLİ ÖZELLİKLER	50
3.5. GÜNEŞ ENERJİSİ TAKVİYELİ YER ALTINDA MEVSİMLİK ISI ENERJİSİ DEPOLANMASI	50
3.6. YURT DIŞINDA YERALTINDA ISI ENERJİSİ DEPOLANMASI İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	56
3.7. TÜRKİYE'DE YERALTINDA ISI ENERJİSİ DEPOLANMASI İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	58
4. YERALTINDA ISI ENERJİSİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN ANALİZİ	59
4.1. OPTİMUM YALITIM KALINLIĞI	59
4.2. ISI KAYIPLARININ BİR YÖNTEM ÜZERİNDE ANALİZİ	64
4.3. GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ ISI DEPOLAMA SİSTEMİNİN EKONOMİK ANALİZİ	71
4.4. YER ALTINDA METAL SAC DEPODA ISI DEPOLAMANIN BÜTÜNLEŞİK BİR SİSTEMDE İNCELENMESİ	73
5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME	78
KAYNAKLAR	80
TEŞEKKÜR	84
ÖZGEÇMİŞ	85

SEMBOLLER ve KISALTMALAR

c_p	: Özgül ısı [J/(kgK)]
k	: Isı iletim katsayısı [W/m ⁰ K]
m	: Kütle [kg]
Q	: Isı enerjisi miktarı [J]
T	: Sıcaklık [⁰ K]
V	: Hacim [m ³]
a	: Isı yayılım katsayısı [m ² /s]
μ	: Yoğunluk [kg/m ³]
P	: Tasarım basıncı (Pa)
R	: Yarıçap (mm.)
ΔF	: Dış gövde malzemesinin t sıcaklığında müsaade edilen gerilme değeri kg/ cm ²) tablodan
Z	: Boylamasına kaynak dikiş verimi(tablodan 0,75 olarak alınır)
e	: Düzeltme katsayısı ,(korezyonu karşılamak için en az 0,75 mm. alınır.)
λ	: Isı İletim Katsayısı [W/m ⁰ K]
ΔT	: Sıcaklık Farkı [⁰ K]
A	: Alan [m ²]
L	:Kalınlık (m.)
r	: Yarıçap (m.)
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü

VIII

EİE	: Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
YKIP	: Yer Kaynaklı Isı Pompası
COP	: Etkinlik Katsayısı
EER	: Enerji Tasarruf Oranı
FDM	: Faz Değiştiren Maddeler
DIED	: Duyulur Isı Enerjisi Depolama
AR-GE	: Araştırma - Geliştirme
YIED	: Yeraltında Isı Enerjisi Depolama
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
H_{tank}	: Isı Depolama Tankı Yüksekliği (m.)
T_{∞}	: Ortam Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_2	: Yüzey Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
k	: Isı İletim Katsayısı ($\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{K}$)
γ	: Kinematik Vizkozite (m^2/s)
β	: Hacim Genleşme Katsayısı
ρ	: Havanın Yoğunluğu (kg/m^3)
Nu	: Nusselt Sayısı
Pr	: Prandtl Sayısı
Gr	: Grashof Sayısı
Φ	: Vizkoz Dissipasyon Terimi
σ_{em}	: Gerilme Değeri (N/mm^2)
K	: Emniyet Katsayısı
E	: Verim Katsayısı

t	: Et Kalınlığı (mm.)
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
C_1, C_2	: İntegral Sabitleri
R	: Isıl Direnç Katsayısı (m^0K-h/W)
STK	: Soğutma Tesir Katsayısı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1	Yenilenebilir ve Tükenebilir Enerji Sistemlerinde Enerji Akış Şeması	.1
Şekil 1.2	Karbon Çevrimi ve Salınımı	.....3
Şekil 1.3	Piranometre Çalışma Prensibi Şeması	.....4
Şekil 1.4	Türkiye Güneşlenme Haritası	.....5
Şekil 1.5	Türkiye’de Bölgelere Göre Yıllık Güneşlenme Süresi	.....6
Şekil 2.1	Sıvı Akışkanlı Isıtma Sistemi Detaylı Şeması	.....9
Şekil 2.2	Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin Şematik Gösterimi	.....12
Şekil 2.3	Güneş Enerjisi Destekli LiBr-Su Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi	.....13
Şekil 2.4	Fransa’da Kurulu Bulunan Güneş Enerjisi Destekli Soğutma Tesisi	...15
Şekil 2.5	Güneş Enerjisi ile Havuz Isıtma	.....16
Şekil 2.6	Solar Havuz Örtüleri	.....17
Şekil 2.7	Güneş Ocağı	.....18
Şekil 2.8	Tuz Eriyikli Kuleli Güneş Enerjisi Santrali Prensip Şeması	.....20
Şekil 2.9	Güneş Pili Çalışma Prensibi Şeması	.....22
Şekil 2.10	Isı Depolanmasında Uygulanan Yöntemler	.....24
Şekil 2.11	Akiferde Isı Enerjisi Depolamanın Şematik Gösterimi	.....33
Şekil 2.12	Kanada Ontario Üniversitesi’nde Kurulan Sistemin Şematik Gösterimi	.....34
Şekil 2.13	Güneş Havuzu Yapısı ve Isı Akışının Şematik Gösterimi	.....37
Şekil 3.1	Harry-Thomasson Yöntemi ile Enerji Depolama	.....42
Şekil 3.2	Güneş Enerjisini Tuz Kullanarak Yeraltında Depolama	.....43

Şekil 3.3	Shotherm QTM-D2 Cihazı	44
Şekil 3.4	Akışkanın Giriş ve Çıkış Pozisyonuna Bağlı Tabakalaşma Tankı Tasarımı	46
Şekil 3.5	Yeraltında Isı Enerjisi Depolanması Örneği	51
Şekil 3.6	Yeraltında Isı Enerjisi Depolama Çeşitleri	52
Şekil 3.7	Lyckebo Projesi	57
Şekil 4.1	Yalıtım Kalınlığının Şematik Gösterimi	60
Şekil 4.2	Yalıtım Kalınlığı Isı Kaybı Değişimi	64
Şekil 4.3	Yerin 2 m. Altında 1,3 m. çapında 1,5 m. Yüksekliğinde İzoleli Silindirik Su Deposu	65
Şekil 4.4	Yerüstünde Isı Enerjisi Depolama	68
Şekil 4.5	Yerin 2m. Altında 40 cm. İzoleli Silindirik Su Deposu	69
Şekil 4.6	Isı Toplama Üniteleri	73
Şekil 4.7	Isı Enerjisi Depolamak İçin Silindirik Depo	74
Şekil 4.8	Silindirik Su Tankı ve Isı Değiştiriciler	74
Şekil 4.9	Güneş Enerjisi Takviyeli Yeraltında Isı Enerjisi Depolama Sistemi	75
Şekil 4.10	Farklı Jeolojik Yapılarda Depo Sıcaklık Değişimi	76
Şekil 4.11	Üç Farklı Çapta Depo Sıcaklık Değişimi	77

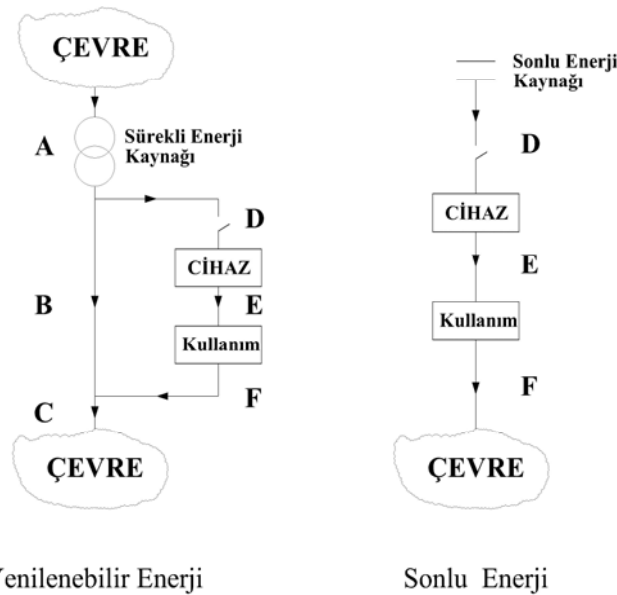
TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1	Türkiye'nin Son 10 Yıllık Güneş Enerjisi Kullanma Değerleri	7
Tablo 2.1	Farklı Cinsteki Fotovoltaik Pillerin Verimlilikleri	23
Tablo 2.2	Bilinen Bazı Maddelerin 20 °C'deki Isıl Kapasiteleri	26
Tablo 2.3	Literatürde Karşılaşılan Bazı Faz Değişim Malzemeleri	27
Tablo 3.1	Bazalt Taşının 300 °K Sıcaklıktaki Isıl Özellikleri	25
Tablo 3.2	Isı Depolama Tankı Tasarım Etkenlerine Göre İdeal Seçim	47
Tablo 3.3	Bazı Depolama Malzemelerinin 300 °K Sıcaklıktaki Özellikleri	49
Tablo 4.1	Havanın Fiziksel Özellikler	63
Tablo 4.2	Edirne İli Ortalama Toprak Sıcaklığı Değerleri	66
Tablo 4.3	Edirne İli Merkezde Ortalama Dış Sıcaklık Değerleri	66
Tablo 4.4	Bir Konut İçin Güneş Enerjisiyle Isıtma Sistemine Ait Sonuçlar	71
Tablo 4.5	Senelik Isı Gereksinimini Karşılama İçin Kullanılması Gereken Yakıt Miktarları ve Bedelleri	72
Tablo 4.6	Isı Depolamalı Sistem İçin İlk Yatırım Yaklaşık Maliyeti	72
Tablo 4.7	Isı Depolamalı Sistemde Farklı Yakıt Türlerine Göre Yakıt Tasarrufu Ve Amortisman Süresi	73

1. GİRİŞ:

Dünya nüfusu ve yaşam standartlarının artmasından dolayı ülkelerin endüstrileşmesi ile birlikte enerji tüketimi son çeyrekte büyük oranda artmıştır. Bu enerji ihtiyacı, yeni enerji kaynaklarının belirlenip geliştirilmesini ve enerjide kıt kaynakların daha etkin ve tasarruflu şekilde kullanılmasını gerekli kılmıştır. Enerji kaynaklarının kullanımının artması ile birlikte atmosfere atılan CO₂ emisyonları ve egzost gazları önemli ölçüde artmıştır. Atmosferdeki bu değişiklikte yaşamamızı sürdürdüğümüz sınırlı alana sahip gezegenimiz açısından dengelerin bozulmasına, iklimsel ve çevresel sorunlara neden olmaktadır. Bir çok ülkede atmosfere bırakılan CO₂ emisyonlarının azaltılması, kıt enerji kaynaklarının etkin kullanılması için yoğun çalışmalar sürdürülmektedir. Çevre üzerindeki olumsuz etkisi bilinen fosil yakıtların tüketiminin, çevre konusundaki uluslararası taahhütler nedeni ile de Türkiye’de azaltılması beklenmektedir. Özellikle Türkiye gibi enerji gereksinimi gittikçe artan, ancak yerli kaynakları bu ihtiyacı karşılayamayacak olan ülkelerde enerjinin ithal edilmesi gerekmektedir. Bu durum ülkemizin her geçen gün biraz daha dışa bağımlı hale gelmektedir. Bu dışa bağımlılık yakın gelecekte Türkiye’nin siyasi ve ekonomik bakımdan güç kaybetmesine sebep olacaktır. Bu hususta yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması çok önem arz etmektedir. Ayrıca kendi öz kaynaklarımızdan olan yenilenebilir enerji kaynaklarının yanında, toprak, yüzey, yer altı ile havada doğal olarak bulunan ısı enerjisi, ayrıca sanayideki atık ısı değerlendirilmelidir.

Bu amaçla enerji tasarrufunun artırılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının yaygınlaştırılması yönünde ulusal çabaların artırılması gündeme gelmiş, bazı ülkelerde yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanması hususunda teşvikler uygulanmıştır.



Şekil 1.1: Yenilenebilir ve Tükenebilir Enerji Sistemlerindeki Enerji Akış Şeması

Şekil 1.1'de yenilenebilir ve tükenbilir enerji sistemlerindeki enerji akış şeması verilmiştir. Burada ABC hattı doğal enerji akışını DEF hattı ise faydalanılan enerji akışını göstermektedir [Twidell, 1990].

1.1. Güneş Enerjisi

Güneş, hidrojen ve az miktarda helyum gazından oluşan orta büyüklükte bir yıldızdır. Güneş, yakıtı hidrojen ve ürünü helyum olan çok büyük bir fırın olarak düşünülebilir. Güneş fırınının içinde sıcaklık 20.000.000 °C, yüzeyinde ise 6000 °C'dir. Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yüksek basınç ve sıcaklıkta hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklinde meydana gelen nükleer füzyon işlemi sonucu ortaya çıkan ışıma enerjisidir. Güneşin bir saniyede ürettiği enerji miktarı, insanlığın şimdiye kadar kullandığı enerji miktarından fazladır. Güneşten ışın olarak çıkan ve uzaya yayılan enerji çeşitli dalga boyları halinde dünyaya ulaşır. Dünya, güneşten gelen enerjinin sadece milyarda birini alır.

Dünyanın en görkemli ve temiz enerji kaynağının güneş enerjisi olduğu kuşkusuzdur. Alışılmamış veya alternatif enerji kaynakları denilen yeni ve yenilenebilir yada tükenmez enerji kaynaklarının başta geleni, Güneş enerjisidir. Aynı grupta yer alan rüzgar enerjisi, deniz dalga enerjisi, okyanus sıcaklık-farkı enerjisi, biokütle enerjisi, güneş enerjisinin türevleridir. Alışılmış tükenmez kaynak olan akarsu-gücü, güneş enerjisiyle gerçekleşen su çevriminden kaynaklanır. Jeolojik çağlar öncesi oluşan fosil yakıtlar bile, temelde biokütlenin dönüşümüyle ortaya çıkmış olduklarından, jeolojik olarak depolanmış güneş enerjisi varsayırlar. Kısacası, pek çok doğal enerji kaynağının kökeni güneş enerjisidir.

Dünya için sonsuz bir enerji kaynağı kabul edilen güneşten, bir yılda dünyaya aktarılan enerji, dünyadaki mevcut kömür rezervlerinin enerjisininin 150 katından fazladır. Bu temiz ve tükenmez enerji kaynağından olabildiğince yararlanma fikri, son yıllarda ülkemizin de bulunduğu 36° ve 42° kuzey ve güney enlemleri arasında yer alan ve "Güneş Kuşağı" denilen ülkeler başta olmak üzere, bütün dünyada ilgi çekmiştir.

Önümüzdeki 50 yıllık süreçte, dünyadaki karbondioksit salımının bugüne göre 1.4 kat daha artması olasılığı vardır. 1992'de yapılan RIO Konferansında, dünyada karbondioksit salımının 1990 düzeyinin korunması üzerindeki görüşler benimsenmiştir. Bu demektir ki, fosil yakıtlar yerine temiz ve tükenmez enerji kaynaklarının kullanılmasına daha çok yer verilmesi gerekecektir. Atmosferdeki karbondioksitin neden olduğu sera etkisi, son yüzyıl içinde dünya ortalama sıcaklığını 0.7 K yükseltmiştir. Bu sıcaklığın 1 K yükselmesi dünya iklim kuşaklarında görünür kaymalara, 3 K düzeyine varacak artışlar kutuplardaki buzulların erimesine, denizlerin yükselmesine, göllerde kurumalara ve tarımsal kuraklığa neden olabilecektir. Enerji vazgeçilemez girdi olduğuna göre, insanlık bu gidişe alışılmış kaynaklar yerine güneş gibi doğal alternatif enerjileri kullanarak dur diyecektir.



Şekil 1.2: Karbon Çevrimi ve Salımı

Güneş enerjisinin bilinçli kullanımı, yerel, tükenmez ve çevre dostu kaynak olması açısından önem kazanmaktadır. Güneş enerjisinin üstünlükleri arasında ısı şeklinde ve ışık şeklinde özyapıda olması, taşıma, iletim ve dağıtım sorununun olmayışı yer almaktadır. Zaman zaman güneş enerjisi bedava kaynak olarak tanıtılmasına karşın, bedava değildir. Çünkü denetimli kullanım amacıyla toplanması için değişik sistemler gerekmekte, bu sistemlerin bir maloluşu bulunmaktadır. Ancak, fosil yakıtların oluşturdukları çevresel zararların maloluşunun yanında, güneş enerjisinin toplanması ve kullanılması daha çekici olabilmektedir.

1.2. Güneş Işınım Şiddeti Verileri

Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisi ışınım şiddeti aşağı yukarı sabit ve 1370 W/m^2 değerindedir, ancak yeryüzünde yatay düzlem için toplam güneş ışınım şiddeti $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişim gösterir. Yeryüzündeki herhangi bir yüzeye gelen toplam güneş ışınımı, direkt, difüz ve yansıyan ışınımlardan oluşur.

Güneş ışınım şiddeti verileri, bina enerji analizi ve genel enerji gereksinimi değerleri, güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında ve performans değerlendirmesinde gerekli temel parametrelerdir.

Anlık güneş ışınımı en yüksek oranda, ekvator çizgisine yakın yağış oranı düşük ve yılın çok uzun bir döneminde havanın açık olduğu bölgelere (Kuzey Afrika - Büyük Sahra Çölü, Suudi Arabistan, Libya Çölü) gelmektedir ve maksimum 1100 W/m^2 dir. Güneş ışınımının en yüksek oranda geldiği bu bölgeler maalesef ekonomik açıdan geri kalmış, yaşam kalitesinin kısıtlı olduğu; bu nedenle de enerji kullanımının veya enerji talebinin çok düşük olduğu bölgelerdir.

Güneş ışınım şiddetinin ölçülmesi, güneş enerjisi uygulamalarının potansiyelinin belirlenmesine olanak sağlaması açısından önemlidir.

Ozon (O_3) özellikle oksijen ile birlikte güneşten gelen ultraviyole ışınların büyük kısmını stratosfer tabakası içinde emmekte ve bu ışınların yeryüzüne ulaşmasını önleyerek yakıcı etkisini de yok etmektedir. Ultraviyole ışınların yeryüzüne ulaşması durumunda cilt ile temas ederse cilt kanseri riski ciddi biçimde artmaktadır. Bu nedenle güneş ışınım şiddetinin ölçülmesi ozon tabakasındaki azalma ya da yırtılmanın takip edilmesine olanak sağlaması açısından da önemlidir.

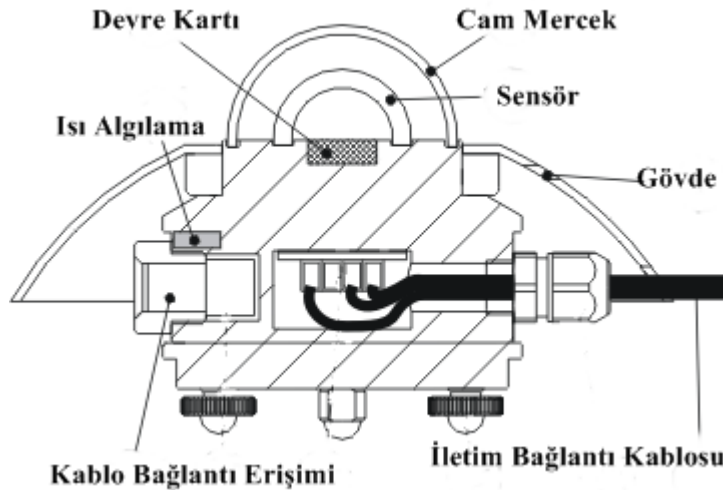
Güneş enerjisi ile çalışan cihazların ve güneş enerjisi santrallerinin planlanması için belirlenen noktalarda güneş ışınım şiddeti verilerinin hassasiyeti çok önemlidir. Güneş ışınımının yıllık toplamdaki değişimleri, yapılması planlanan her bir güneş santralının kaderini belirler. İklim verileri ve özellikle güneş ışınım verileri mikro iklim çalışmalarında büyük farklılık göstermektedir.

Güneş ışınım şiddetinin çoğalması bitkilerde bodurlaşmaya, tüyleşmeye ve renk pigmentlerinin artmasına neden olur. Güneş ışınım şiddetinin azalması, hücre ve bitki boyunun azalmasına, cılızlaşmaya, sararmaya, beyazlaşmaya, yaprakların küçülmesine neden olur. Bu nedenle tarımsal çalışmalara esas veri sağladığı içinde güneş ışınım şiddetinin ölçülmesi oldukça önemlidir [12].

Toplam güneş ışınım şiddeti, piranometre, solarimetre, aktinograflarla ölçülür.

Türkiye’de güneş ışınım şiddeti ölçümlerini,

- Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMI),
- Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE),
- Bazı üniversiteler sadece yatay düzlem için yapmaktadır.

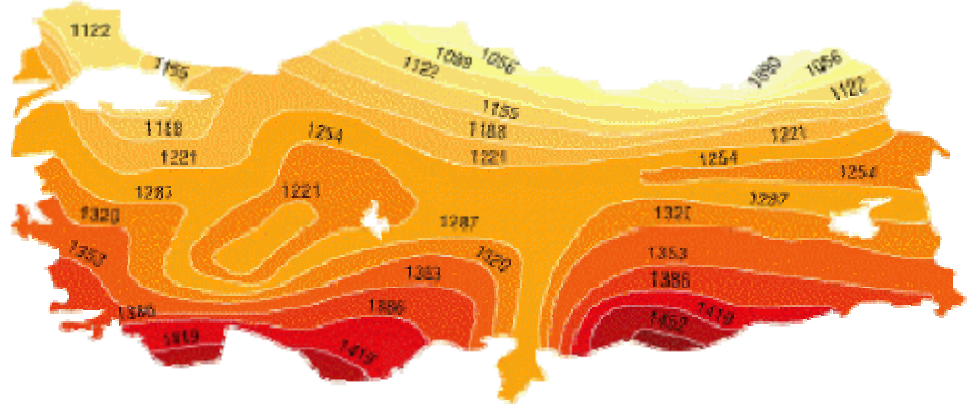


Şekil 1.3: Piranometre Çalışma Prensibi Şeması

Şekil 1.3'de gösterilen piranometreler genellikle ışınım yutma ve yansıtma özelliği esas alınarak geliştirilmişlerdir. Üst kısmında bir siyah, bir de beyaz kısım bulunur. Siyah kısım güneş ışınımını yutar ve sıcaklığı yükselir, oluşan sıcaklık farkı ölçülür. Piranometrelerin camı dış şartlardan kolay etkilendiği için hassas ölçüme olanak vermesi için sık sık temizlenmelidir.

1.2. Türkiye'de Güneş Enerjisinden Yararlanma Oranı ve Süreleri

Yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli açısından ülkemiz şanslı konumda bulunmasına rağmen bunu etkin bir şekilde değerlendirememektedir. Örneğin Türkiye'nin senelik ortalama güneş alma süresi 2640 saat (günlük 7,2 saat) , m^2 başına ortalama senelik toplam ışınım şiddeti 1311 kWh (günlük 3,6 kWh/ m^2) değerindedir. Bu da önemli bir miktardır. Rüzgar ve jeotermal enerji kaynakları açısından da durum benzerdir.



Şekil 1.4: Türkiye Güneşlenme Haritası (EİE Verilerinden)

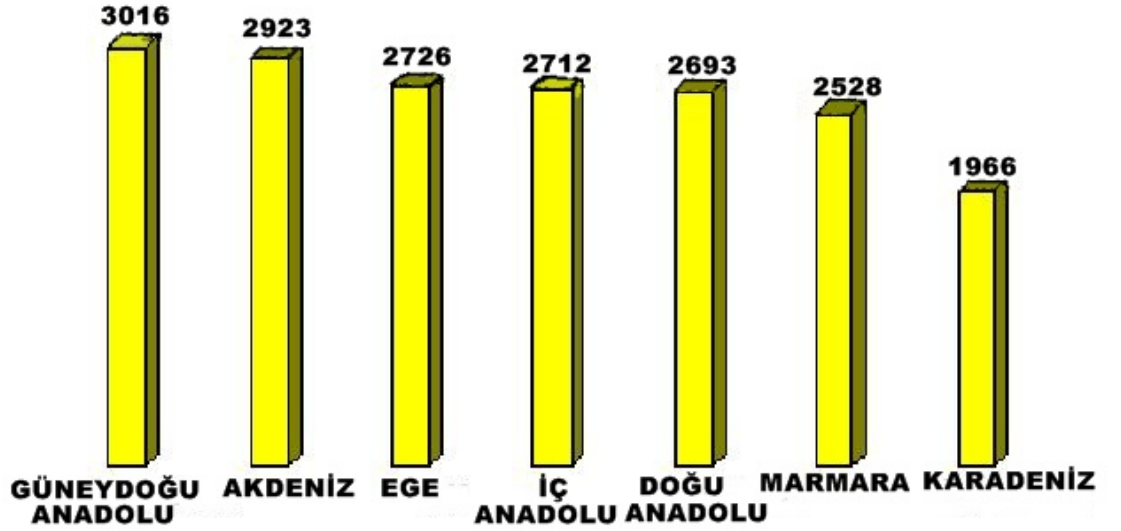
Şekilde 1.4'de Türkiye'nin yıllık m^2 başına ortalama senelik toplam ışınım şiddetini bölgelere göre gösteren güneşlenme haritası görülmektedir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü ve Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü düzenli olarak güneş ışınım şiddetini ölçmektedirler.

Coğrafya olarak 36° – 42° kuzey enlemleri arasında bulunan Türkiye, güneş kuşağı içerisindedir. Ancak, güneş kuşağının bu kesiminde iyi bir güneşlenme görülmekle birlikte, mevsim değişiklikleri alt sınırdan az, üst sınırdan çok etkili olmaktadır.

Uzun yıllar meteorolojik gözlemlerinin (heliograf ölçümlerinin) ortalaması ile Türkiye'nin yıllık güneşlenme süresi 2609 saat olup, en yüksek değer 362 saat ile Temmuz ayında ve en düşük değer 98 saat ile Aralık ayında gerçekleşmektedir.

Meteorolojik gözlemlere (aktinograf ölçümlerine) göre, Türkiye'de aylara göre günlük ortalama güneş ışınım şiddetinin en yüksek değeri $21,1 \text{ MJ}/m^2 \cdot \text{gün}$ ile Temmuz ayında ve en düşük değeri $5,5 \text{ MJ}/m^2 \cdot \text{gün}$ ile Aralık ayında görülmektedir. Türkiye'nin günlük ortalama Güneş ışınım şiddeti yıllık ortalaması $13,2 \text{ MJ}/m^2 \cdot \text{gün}$ kadardır.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi için yıllık ortalama Güneş ışınım şiddeti $14.3 \text{ MJ/m}^2.\text{gün}$ olup, bunu Akdeniz ($13,9 \text{ MJ/m}^2.\text{gün}$), İç Anadolu ($13,7 \text{ MJ/m}^2.\text{gün}$), Ege ($13,6 \text{ MJ/m}^2.\text{gün}$), Doğu Anadolu ($13,4 \text{ MJ/m}^2.\text{gün}$), Marmara ($10,9 \text{ MJ/m}^2.\text{gün}$) bölgeleri izlemektedir. Yıllık ortalama güneş ışınım şiddetinin en düşük değeri $10,3 \text{ MJ/m}^2.\text{gün}$ ile Karadeniz bölgesinde bulunmaktadır.



Şekil 1.5: Türkiye’de Bölgelere Göre Yıllık Güneşlenme Süreleri (saat)

Güneşlenme süresi yönünden en zengin bölgeyi 3016 saat ile Güneydoğu Anadolu kapsarken, bunu sırasıyla Akdeniz (2923 saat), Ege (2726 saat), İç Anadolu (2712 saat), Doğu Anadolu (2693 saat), Marmara (2528 saat) bölgeleri izlemekte ve en düşük değeri 1966 saat ile Karadeniz Bölgesi göstermektedir.

Ülkemizde güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştüren sıcak su üretme sistemleri yaygın olarak daha çok Akdeniz, Ege ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde kullanılmaktadır.

Halen ülkemizde kurulu olan güneş kollektörü miktarı yaklaşık 12 milyon m^2 olup, yıllık üretim hacmi 750 bin m^3 ’dür ve bu üretimin bir miktarı da ihraç edilmektedir. Güneş enerjisinden ısı enerjisi yıllık üretimi 2007 itibari ile 420 bin Ton Eşdeğer Petrol (TEP) civarındadır. Bu haliyle ülkemiz dünyada kayda değer bir güneş kollektörü üreticisi ve kullanıcısı durumundadır [9].

Tablo 1.1’de son 10 yılda güneş enerjisinin kullanım değerleri görülmektedir. Bu sürede güneş enerjisi kullanımının 2 kat arttığı görülmekle birlikte, bu değer yine de çok yetersizdir.

Tablo 1.1: Türkiye'nin son 10 yıllık güneş enerjisi kullanım değerleri

Güneş Kollektörlerinin Ürettiği Isıl Enerjinin Birincil Enerji Tüketimimize Katkısı	
Yıl	Güneş Enerjisi Üretimi (bin TEP)
1998	210
1999	236
2000	262
2001	290
2004	375
2007	420

Güneş kuşağı içerisinde bulunmamasına rağmen Almanya, Hollanda, Danimarka, Avusturya, İsveç, gibi ülkelerde ise hükümetlerin sağlamış oldukları teşvikler sayesinde güneş enerjisinden faydalanma son zamanlarda iyice yaygınlaşmıştır. Bu listelerde yer alan Almanya, Danimarka, İsveç, Hollanda gibi ülkeler, buldukları yer açısından Türkiye'nin almış olduğu güneş ışınımının takriben üçte birini alabilmektedirler. Buna rağmen enerji açıklarının büyük bir kısmını güneşten karşılama yöntemini başarı ile uygulamaktadırlar.

2. GÜNEŞ ENERJİSİNİN ISIL SİSTEMLERDE KULLANILMASI

2.1. Güneş Enerjisinin Isıl Uygulamalarda Kullanım Olanakları

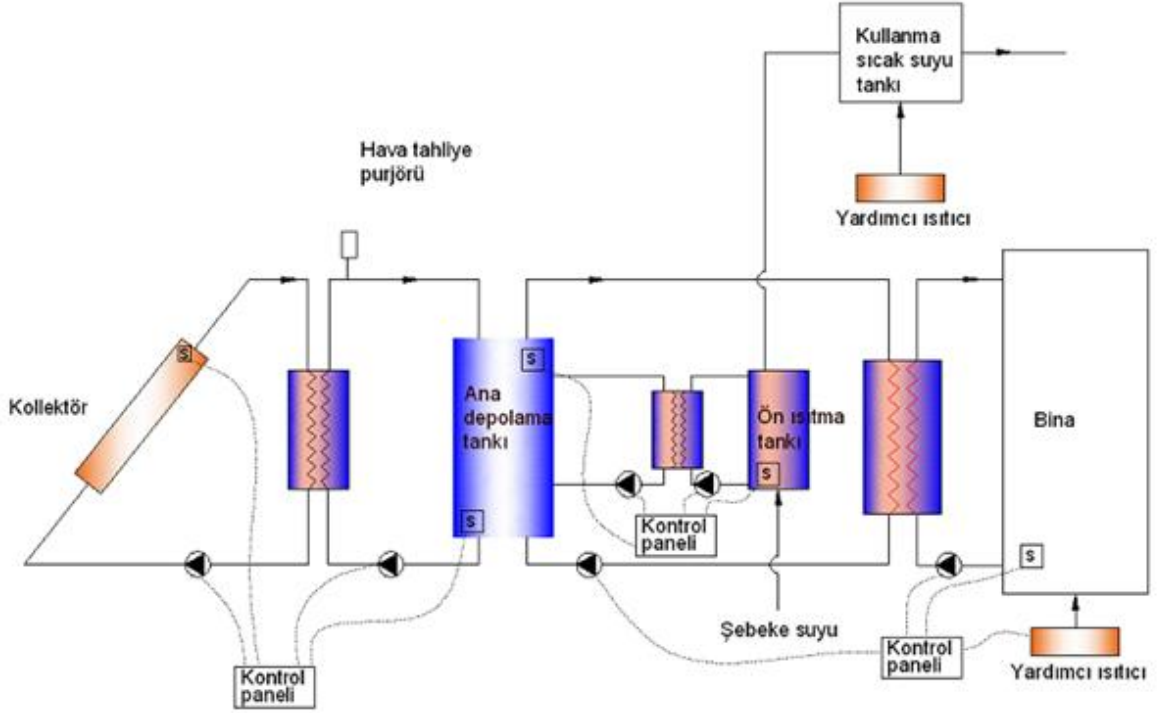
1. Kullanım sıcak suyu üretiminde
2. Hacim ve sera ısıtılmasında
3. Havuz suyunun ısıtılmasında
4. Çeşitli ürünlerin kurutulmasında
5. Hacim iklimlendirilmesinde ve madde soğutulmasında
6. Deniz suyu damıtımında
7. Yemek pişirilmesinde
8. Zirai amaçlı toprağın dezenfekte edilmesinde

Güneş enerjisi kullanılmaktadır.

2.2. Güneş Enerjisi Kullanılarak Aktif Sistem ile Isıtma Yapılması

Kullanım sıcak suyu elde edilmesinde aktif sistem kullanılır. Aktif sistemlerde güneş enerjisi kolektörler vasıtası ile başka bir akışkana aktarılmakta ve bu sıcak akışkan kullanım suyu elde edilmesinde kullanılmaktadır. Aynı sistem hacim ısıtılmasında da kullanılmaktadır. Aktif sistemde, kolektörler, depo, pompa veya fan gibi mekanik elemanlar kullanılmaktadır.

Sıvı akışkanlı güneşle aktif ısıtma sisteminin ısıtma sistemi için kullanılan şeması aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 2.1: Sıvı Akışkanlı Isıtma Sistemi Detaylı Şeması

Sıvı akışkanlı güneşle aktif ısıtma sistemlerinin en önemli avantajları yüksek kollektör verimleri, küçük depolama birimleri ve absorpsiyonlu iklimlendirme sistemlerine kolayca adapte edilebilmeleri şeklinde sayılabilir. Sistemde su kullanılması donma tehlikesini beraberinde getirirse de, bu problemler antifriz kullanılarak veya geri drenaj sistemi (drain-back) gibi sistemlerle önlenabilir.

Günümüzde kullanılan konvansiyonel ısıtma sistemlerinin ortalama 70°C (80°C gidiş, 60°C dönüş) sıcaklıkta tasarlanması, buna bağlı olarak küçük yüzey alanına sahip ısıtıcı kullanılması sıvı akışkanlı güneşle aktif ısıtma sistemlerinin kullanılmasını zor hale getirmektedir. Düzlemsel kollektörlerde genel olarak kollektör çıkışında akışkan sıcaklığı 80°C yi geçmemektedir. Depolama biriminde depolanan suyun sıcaklığı 80°C nin altında olmaktadır. Bu durumda mahal ısıtması için kullanılan ısıtıcı cihaz devresinde düşük sıcaklıkta sıvı dönmektedir. Bir başka deyişle sıvı akışkanlı güneşle aktif ısıtma sistemleri; konvansiyonel sistemlere göre daha fazla ısıtma yüzeyi gerektirdiğinden, panel ısıtma sistemleri veya yerden ısıtma sistemlerinin kullanıldığı binalarda daha verimli çalışmaktadır.

Sıvı akışkanlı güneşle aktif ısıtma sistemlerinin çalışmaları sırasında beş durum meydana gelebilir.

- Güneş enerjisi bina ısıtma ihtiyacından fazla; kolektörlerden elde edilen ısı depolama biriminde depolanır.
- Güneş enerjisi yeterli ve bina ısıtma ihtiyacı duyuyor; kolektörlerden elde edilen ısı bina ısıtmasında kullanılır.
- Güneş enerjisi yetersiz, bina ısıtma ihtiyacı duyuyor; gerekli ısı depolama biriminden sağlanır.
- Güneş enerjisi yetersiz, bina ısıtma ihtiyacı duyuyor ancak depolama biriminde ki ısı yetersiz; ısı ihtiyacı yardımcı ısıtıcıdan karşılanır.
- Bina ısıtma ihtiyacı duymuyor, depolama birimi kapasitesi tamamen dolmuş durumda ve güneşten halen ısı elde ediliyor olabilir. Bu durumda elde edilen ısı sistem için tehlike oluşturabilir.

2.3. Güneş Enerjisi Kullanılarak Pasif Sistem ile Isıtma Yapılması

Pasif sistemlerde güneş ışınları doğrudan kullanılır. Güneş ışınımı ara bir işlemde geçmez, enerjinin alınışı doğaldır. Fan ve pompalar gibi yardımcı ekipmanlardan yararlanılmayan güneş toplama yöntemlerinin hepsi pasif sistem olarak kabul edilmektedir. Binaların pencerelerinin güneş ışınlarından daha çok yararlanılacak şekilde güneşe yönlendirilmesi ve seraların ısıtılması pasif sisteme örnek olarak verilebilir. Pasif sistemle yapı ısıtmada çeşitli mimari özelliklerden ve inşaat bileşenlerinden yararlanarak hacim ısıtması yapılır. Burada güneş kolektörü yapının ayrılmaz parçası olur. Güneşten kazanılan enerji havaya transfer olunarak, doğal ya da zorlanmış konveksiyon akımıyla yapıya dağıtılır. Aktif ısıtmada kolektör, akışkan taşıyıcı hatlar, akışkan sirkülasyon sistemi, ısı değiştiriciler, ısı deposu, ısıtıcı elemanlar, klima amaçlı ise ısı pompası, kontrol ünitesi gibi ısıtma donanımları yer almaktadır. Aktif sistemin pahalı oluşuna karşın, pasif sistem ucuz ve kolay uygulanabilir yapıdadır. Aktif ya da pasif bir güneşli ısıtma sistemi, yapının ısı gereksiniminin % 50'den fazlasını güneşten sağlayabilmelidir.

2.4. Güneş Enerjisi Kullanılarak Soğutma Yapılması

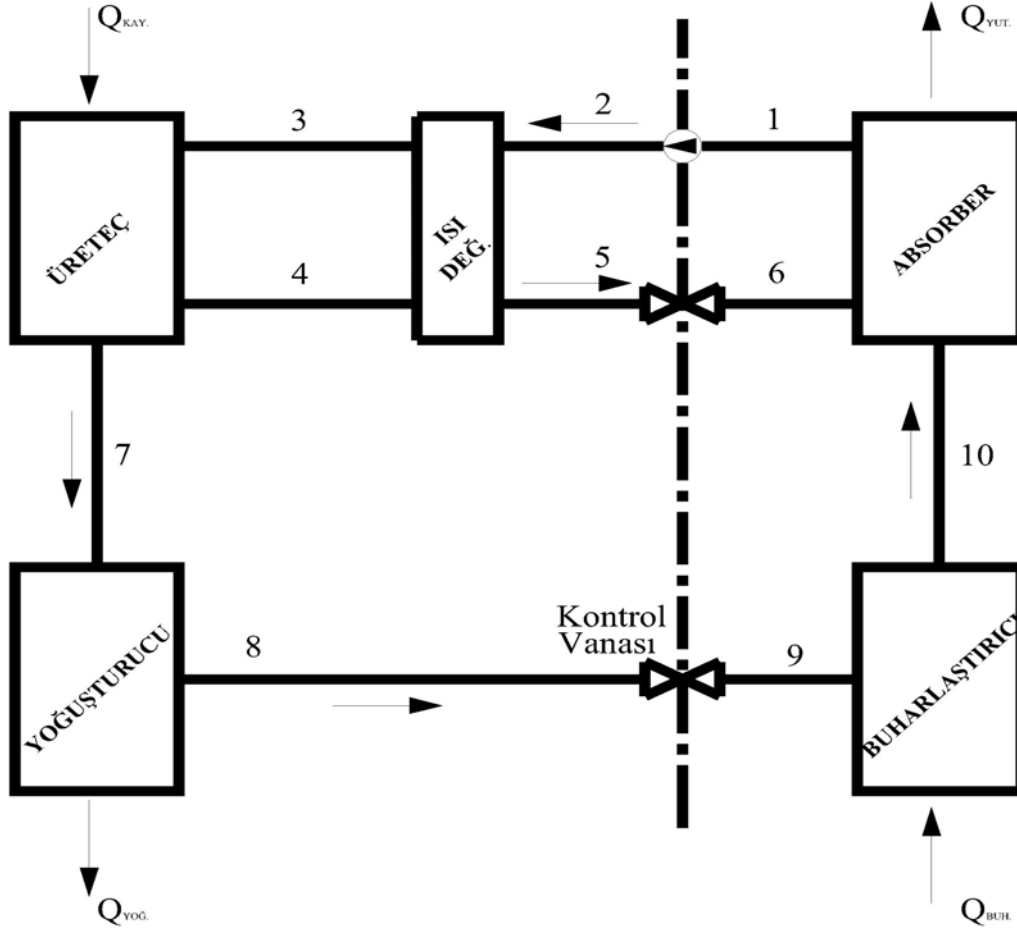
Soğutma, Türkiye'de uygulanması gereken güneş enerjisi teknolojilerindedir. Genelde enerji tüketiminin küçümsenemeyecek bir bölümü soğutma üretimine gitmektedir. Sıcak iklim bölgelerinde elektrik tüketimi içerisinde soğutma uygulamalarının payı % 40'lara ulaşabilmektedir. Güneş enerjisi ısı enerjisi olarak desisif (nem alıcı) ve adsorbsiyonlu (katı nem alıcı) ve absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde kullanılabilir. Uygulamaya en yakın, üzerinde en çok çalışılan ve az da olsa kullanılan absorbsiyonlu (soğurmalı) soğutma sistemidir.

2.4.1. Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi

Absorbsiyonlu soğutma makineleri, açık veya kapalı çevrimli olmak üzere ikiye ayrılırlar. Açık çevrimli absorpsiyonlu soğutma çevrimleri sadece iklimlendirme işlemlerinde ve küçük yükler için kullanılabilirler. Kapalı çevrimli sistemler ise her türlü soğutma işlemi için ve istenilen büyüklükte dizayn edilebilirler. Absorbsiyonlu sistemlerin hava dış sıcaklığının yüksek ve soğutma suyunun az bulunduğu yörelerde, büyük tesislerde kullanılması çok uygundur.

Absorbsiyonlu soğutma çevriminde iki farklı akışkan dolaşır. Bunlardan birisi soğutucu akışkandır. Bu akışkan buharlaştırıcıda buharlaşarak soğutma yükünün ortamdaki çekilmesini sağlar. Diğer akışkan yutucu (absorbent) akışkandır. Bu akışkan çevrimin belirli bir kısmında soğutucu akışkanı taşır. Soğutma sistemini meydana getiren başlıca elemanlar üreteç, yoğuşturucu, absorber ve sıvı-sıvı ısı değiştiricisi olarak tanımlanır. Soğutucu akışkan, soğutma sisteminin her tarafında dolaşır.

Absorbsiyonlu soğutma sisteminin çalışma prensibi şöyledir: Absorberden çıkıp bir pompa vasıtasıyla ısı değiştiricisinden geçerek ısınan LiBr bakımından fakir eriyik üretece gelir. Burada dışarıdan verilen ısıyla, soğutucu akışkan buharının tamamı buharlaşarak eriyikten ayrılır. Buharlaşarak üreteci terk eden soğutucu buharı, yoğuşturucuya girer. Üreteçte eriyik içinden soğutucu buharının ayrılmasıyla LiBr bakımından zenginleşen eriyik ısı değiştiricisinden geçip fakir eriyiğe ısı verdikten sonra absorbere geri döner. Üreteçten buharlaşarak yoğuşturucuya giren soğutucu buharı burada yoğunlaşarak dışarıya ısı verir. Yoğuşma basıncı izafi olarak buharlaştırıcı basıncından daha büyüktür. Her iki basınç mutlak olarak atmosfer basıncının altındadır. Basınç kayıpları düşünülmezse, üreteç yoğuşturucu basıncında, absorber ise buharlaştırıcı basıncındadır. Yoğuşturucudan tamamen yoğunlaşmış olarak çıkan soğutucu akışkan, izafi olarak düşük basınçta çalışan buharlaştırıcıya kısılarak giren yoğuşturucu akışkan, burada buharlaşarak gerekli soğutma yükünü ortamdaki çeker. Buharlaştırıcıdan kızgın veya doymuş halde çıkan soğutucu buharı absorbere girer. Absorberde, ısı değiştiricisinden geçip ısı verdikten sonra bir kısılma vanasında absorber basıncına kısılan zengin eriyik, buharlaştırıcıdan gelen soğutucu buharını yutar. Yutma işleminin iyi bir şekilde gerçekleşmesi için, açığa çıkan ısının absorberden atılması gerekir. Absorber içinde tekrar fakir hale gelen eriyik, bir pompa vasıtasıyla tekrar üretece gönderilir.



Şekil 2.2. Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin Şematik Gösterimi

Geliştirilmiş iki ayrı tip absorpsiyonlu soğutma sistemi olup bunlar Lityum bromit–Su, Amonyak–Su ikili karışimli sistemleridir. Soğutkanın su olması durumunda, soğurucu madde Lityum bromit; soğutkanın amonyak olduğu sistemde ise, soğurucu madde sudur.

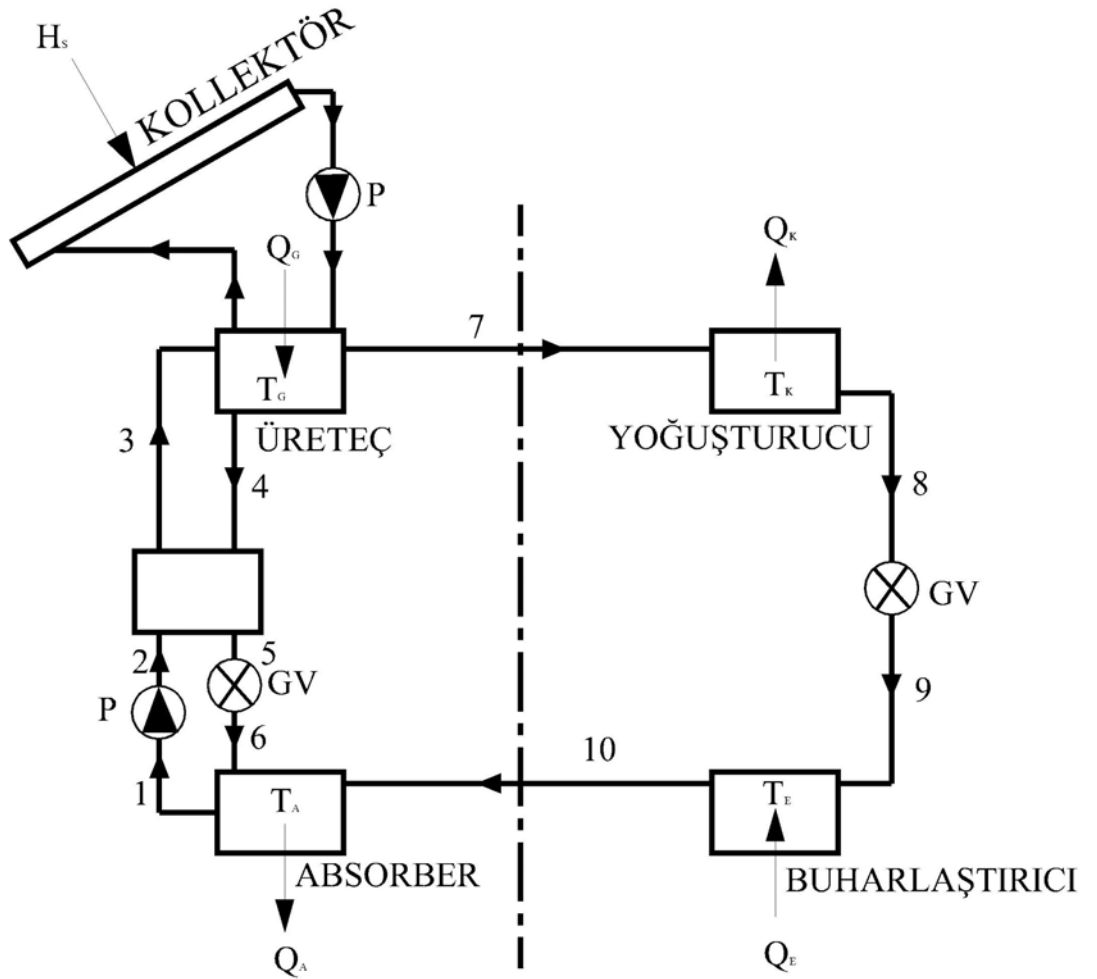
Absorpsiyonlu sistemin üstünlüğü 80°C sıcaklık mertebesinde bir ısı kaynağı yardımıyla çalışılabilmesidir. Bu da kolaylıkla güneş enerjisiyle sağlanabilmektedir.

Absorpsiyonlu soğutucuların birçok dezavantajı da bulunmaktadır. Örneğin, kolaylıkla küçük boyutlarda imal edilemez ve küçük boyutlu olanları pahalıdır. Bu sistemlerin çalışmaya başladıktan sonra tam verimliliğe ulaşabilmesi için ortalama 30 dakika kadar bir ön çalışmaya gereksinimi vardır.

Güneş enerjisi uygulamaları için en uygun absorpsiyonlu soğutma sistemi LiBr – Su ile çalışan sistemdir. Bu sistemde soğutucu akışkan su, soğurucu akışkan ise Lityum bromit’dir. Üreteçte fazla yüksek sıcaklık gerekmez($70\text{--}90^{\circ}\text{C}$). Yüksek sıcaklıklarda LiBr ağırlık yüzdesi sınırlanmıştır. Çalışma sıcaklıkları içinde %68 LiBr oranından sonra kristalleşme olayı olmaktadır.

Absorberde toplanan LiBr – Su çözeltisi, bir sıvı pompasında sıkıştırılır. Üreteçte güneş enerjisi ile buharlaştırılır. Üreteç basıncında elde edilen su buharı, yoğuşturucuda yoğuşturulur, genişleme valfinden basınç ilk değerine düşürülür. Düşük basınçlı iken soğutulacaksa ortamdan ısı alıp buharlaşır ve yutucuda absorblanır. Üreteçte pompadan gelen debinin bir kısmı su buharı olarak devreye gönderilirken, su yüzdesi azalmış olan kısım basıncı düşürülerek absorbere geri dönüş yapar.

LiBr – Su soğutma sisteminin çalışma koşullarının tayini için üç sıcaklık seçilmesi gerekir. Bunlar buharlaştırıcı, yoğuşturucu ve üreteç sıcaklığıdır. Buharlaşma sıcaklığı suyun donma sıcaklığı ile sınırlıdır, ve 4°C 'nin altına inilmemesi tavsiye olunur. Ayrıca buharlaşma sıcaklığının düşmesi basıncın da düşmesini beraberinde getirdiği için LiBr'ün kristalleşme riskini artırır. Aynı durum üreteçte de söz konusudur. Yüksek sıcaklıklarda da LiBr'ün kristalleşme eğilimi artar. Absorbsiyon olayı düşük sıcaklıklara inildikçe iyileşir ve verim artar. Yoğuşturucu sıcaklığı, üreteçteki soğutucu akışkanın kısmi buhar basıncı ile belirlenir ve absorberden gelen soğutma suyu ile kontrol edilir.



Şekil 2.3. Güneş Enerjisi Destekli LiBr-Su Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi

LiBr – Su soğutucularının soğutma etkinlik katsayısı 0,6-0,8 oranındadır. Su soğutucu akışkan olarak kullanılıyorsa üreteç sıcaklığı 70-95 °C arasında olabilir. Güneş enerjisi sıcaklığının üretece olan değişimlerinin etkileri soğutucunun kapasitesine göre değişir. Üretece giden akışkanın temin edilmesi gereken sıcaklığı üreteç sıcaklığından daha büyük olmalıdır. Gerekli olan sıcaklıkların temin edilmesi ve güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin su depolama tanklarının yüksek limit sıcaklıkları arasında sıkışma vardır. Buna ek olarak 100 °C’de çalışması için gerekli olup soğutma kulesi gerektirir. Bunlar LiBr – Su soğutucularının güneş enerjili problemlerinde üç ana problem oluşturur.

LiBr – Su ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sisteminin elemanlarına korunum kanunları uygulanır ve sabit durum şartları kabul edilip ısı kayıpları ve eriyik pompasının işi ihmal edilirse enerji korunumundan;

$$Q_b + Q_{\bar{u}} = Q_a + Q_y \quad (1.1)$$

bulunur.

Burada Q_b , $Q_{\bar{u}}$, Q_a , Q_y sırasıyla buharlaştırıcı, üreteç, absorber ve yoğuşturucu ısı yükleridir.

Sistemin soğutma tesir katsayısı ise çevreden alınan ısı oranının, soğutma etkisi, toplayıcılardan üretece sağlananaşıya oranıdır.

$$STK = \frac{Q_e}{Q_g} \quad (1.2)$$

Absorpsiyon çevriminin soğutma tesir katsayısı buharlaştırıcı, yoğuşturucu, absorber ve üreteç sıcaklıkları ile ifade edilebilir.

$$STK = \frac{T_g(T_{\bar{u}} - T_a)}{T_{\bar{u}}(T_y - T_b)} \quad (1.3)$$

Burada T_y , $T_{\bar{u}}$, T_a , T_b sırasıyla yoğuşturucu, üreteç, absorber ve buharlaştırıcı sıcaklıklarıdır.

Güneş kolektörlerinden sağlanan ısı ile çalışan soğutma sistemleri ile ilgili yapılan bir araştırmada, 2004 yılına kadar 70 adet sistemin kurulduğu ve bu uygulamaların birçoğunun Almanya ve İspanya’da olduğu görülmüştür. Kurulmuş olan tüm bu sistemlerin toplam soğutma kapasitesi 6.3 MW ve toplam kolektör alanı büyüklüğü 17500 m²’dir. Bu sistemlerde kullanılan soğutma sistemleri içinde % 59 ile en büyük oranda absorpsiyonlu çillerin tercih edildiği görülmektedir. Bu sistemin kullanıldığı ilk olarak 1991 yılında kullanılmıştır. Güney Fransa’daki şarap mahzenine güneş enerjisi destekli soğutma sistemi kurulmuştur ve o kurulduğu tarihten beri planlandığı gibi sorunsuz çalışmaktadır. Bu sistemde güneş kolektörleri ile enerjinin depolanması, düşük sıcaklıkta soğuk su üretilmesi, mahalın soğutulması amaçlanmıştır.

Şarap depolama kapasitesi üç milyon şişe şarap olan mahzenin iki katı yer altında olup, toprak teması dış duvara sahiptir. Toplam üç katlı olan binanın birinci katı ise güneş ışınlarına maruz kalmaktadır ve ısı kazançları diğer iki kata göre oldukça fazladır. Şarap mahzeni toplamda 3500 m² yüzey alanına sahiptir. Yapılan ölçümler sonucu sistemin soğutma etkinliği 0.57 olarak belirlenmiştir. Bu soğutma tesisinin içerdiği ekipmanlar ve özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

- Vakum borulu güneş kolektörlerinin absorber yüzey alanı 130 m² olup, güney-güneydoğu yönünde eğim açısı 15⁰ olacak şekilde çatıya kurulmuştur.
- Sisteme ek olarak 1000 Litre kapasiteli depolama tankı konulmuştur.
- Açık çevrimli soğutma kulesi 180 kw soğutma kapasitesindedir ve binanın kuzey cephesine yerleştirilmiştir.
- Soğutulmuş su depolama tankı mevcuttur ve soğutulan su, 25000 m³/h kapasiteli santrifüj fanlı 3 tane merkezi havalandırma, iklimlendirme ünitelerine gönderilir. Ayrıca zemin kat için sıcak su depolama tankı da mevcuttur. Fransa 'da kurulan tesis aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 2.4: Fransa'da Kurulu Bulunan Güneş Enerjisi Destekli Soğutma Tesis

2.5. Güneş Enerjisinin Kullanıldığı Isıl Uygulamalar

2.5.1. Güneş Enerjisi ile Kurutma

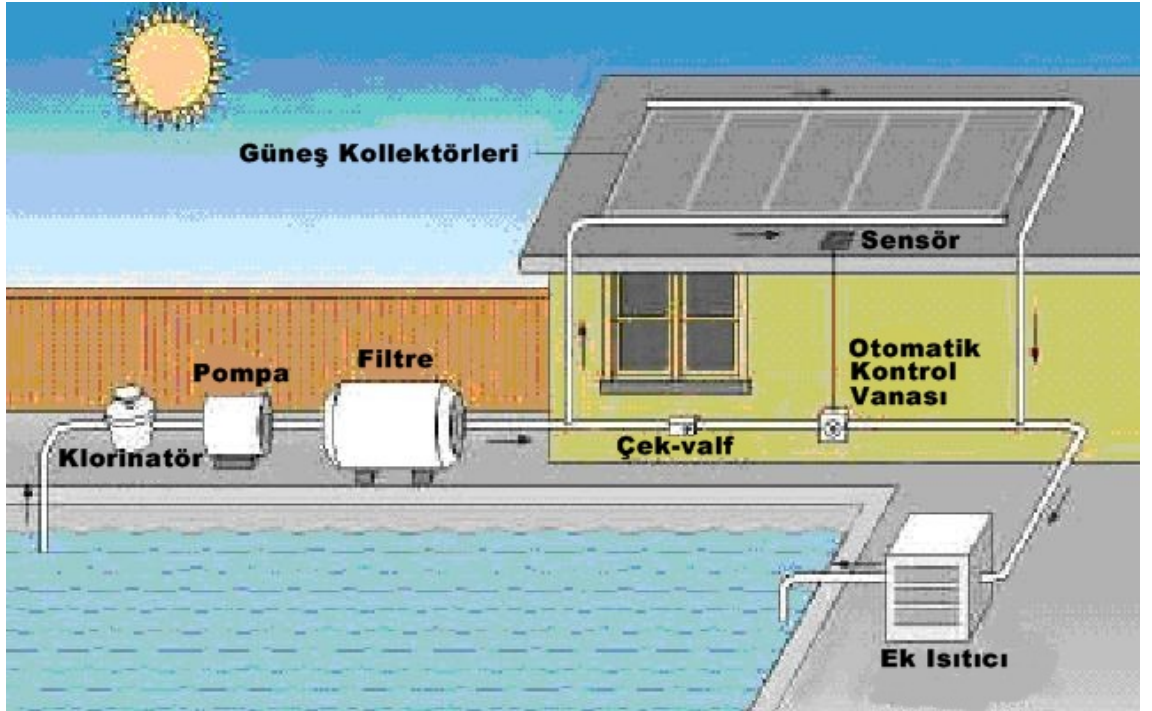
Kurutma özellikle gıda, kimya, seramik, kağıt, tekstil ve deri sanayinin temel işlemlerinden birisidir. Gıda endüstrisinde kurutma ile sebze ve meyvelerin bozulmadan ve besin değerini kaybetmeden uzun süre saklanabilmesi ve korunabilmesi sağlanabilmektedir. Güneş enerjisi ile kurutma kurutulacak maddeyi direkt güneş ışınımı etkisinde bırakarak veya güneşle ısıtılan havayı doğal veya zorlanmış dolaşım malzemenin üzerinden veya içinden geçirerek sağlanır. Güneş enerjili kurutucular gıda ve orman ürünlerinin kurutulmasında kullanılmaktadır. Sera tipi güneşli kurutucular ve hava kollektörlü güneşli kurutucular olmak üzere iki çeşittir.

2.5.2. Güneş Enerjisi ile Damıtma

Güneş enerjisinden yararlanarak deniz suyundan tatlı su üretimi yapılmaktadır. Sera tipi güneşli damıtıcılarda havuzda ısınan su buharlaşır, ve cam örtüye çarpınca tekrar yoğuşur. Camın altındaki yoğuşan su oluklardan alınarak filtrelerden geçirildikten sonra kullanıma hazır hale gelir.

2.5.3. Güneş Enerjisi ile Havuz Suyu Isıtma

Havuz suyunun güneş enerjisi ile ısıtılması, direkt ve endirekt olarak yapılabilir. Direkt sistemde havuz suyu güneş kolektörlerinde dolaşım yaparken endirekt sistemlerde kolektör çevresinde güneş enerjisi ile ısıtılan su bir ısı değişirici yardımıyla havuz suyunu ısıtmaktadır. Ayrıca güneş enerjisi ek ısı kaynak olarak da havuz ısıtmasında kullanılmaktadır. Bu durumda havuz suyu kolektörlerden geçmemekte bir ısı değişiricisi vasıtasıyla kolektörlerde ısınan su ısınımlı havuz suyuna vermektedir. Su sıcaklığı yeterli olmadığında esas ısıtma sistemi devrede olmaktadır. Bu tür sistemler havuz ısıtma maliyetini önemli oranda düşürmektedir. Havuz ısıtması için yeterli kolektör alanının olması gerekmektedir.

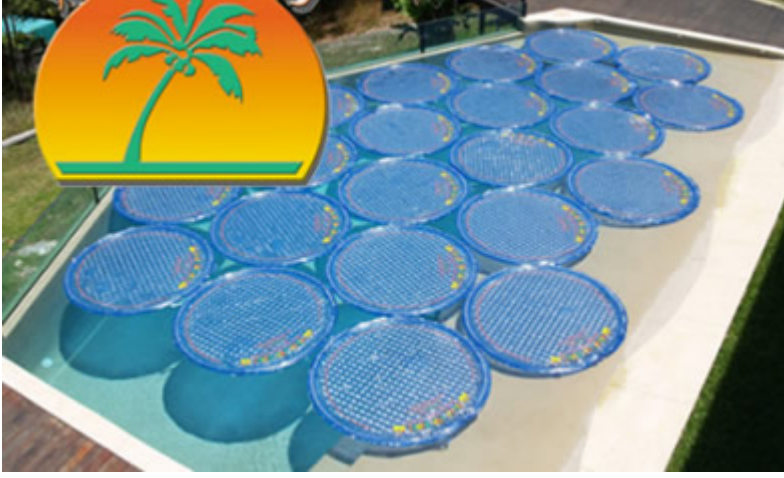


Şekil 2.5: Güneş Enerjisi ile Havuz Suyu Isıtma

Havuz suyunun güneş enerjisi ile ısıtılması için bir diğer yöntemde güneş örtülerini kullanmaktır.

Bu yöntemde havuzun üzeri solar hassasiyeti olan ısı tutucu ve ısınmayı sağlayan bir örtüyle kapanmaktadır. Bu örtüler güneşten gelen ışınların ısı etkisini havuz suyuna ulaştırarak suyun ısıtılmasını sağlar. Bununla birlikte su ısıtıldıktan sonra mevcut ısıyı korumak için bir yalıtım malzemesi görevi de görürler. Havuzun üzerinde yüzen solar örtüler bu özelliklerinin yanında havuz suyunun buharlaşmasını engelleyerek havuz kimyasallarının dengesini korur.

Gece ısı kayıplarını önler ve günün ilk saatlerinde sıcak su olanağı sağlar.



Şekil 2.6: Solar Havuz Örtüleri

2.5.4. Toprak Solarizasyonu

Solarizasyon, toprağın güneş enerjisi ile ısıtılmasıdır. Uygulama yaz mevsimi sıcak geçen bölgelerde, sıcaklığın yüksek ve güneş ışığının şiddetli olduğu aylarda ve uygulama yapılacak alanın ekili olmadığı durumlarda, nemli toprağın mümkün olduğu kadar ince şeffaf polietilen örtü ile bir ile bir kaç hafta ya da ay arasında değişen bir sürede kapatılması işlemidir. Bu uygulama ile topraktaki hastalık etmenleri, yabancı otlar ve zararlıların zayıflatılması veya öldürülmesi amaçlanmaktadır. Solarizasyon özellikle seralar gibi küçük alanlarda, açıkta ve örtü altında sebze, çilek, fidancılık ve fidelik alanlarında uygulanabilir. Solarizasyon, günümüzde toprak dezenfeksiyonunda, yaygın olarak kullanılan kimyasal ilaçlara çevre kirliliği ve maliyet açısından önemli bir alternatiftir. Yapılan araştırmalarda toprak sıcaklıkları 10 cm derinlikte 45-50 °C ve 20 cm'de 38-45 °C' ye kadar çıktığı belirtilmektedir. Yaklaşık 50-60 cm derinliğine kadar topraklarda yükselen sıcaklık zararlıları ve yabancı otları öldürmek için genellikle yeterli olmaktadır.

2.5.5. Güneş Fırınları ve Ocakları

Güneş enerjisinin kullanıldığı uygulamalardan biri de yemek pişirilmesidir. Daha çok gelişmekte olan ülkelerdeki araştırmacılar tarafından geliştirilen modeller ticari olarak da kullanım potansiyeli bulmuştur. Ayrıca kamplarda ve pikniklerde kullanılmak üzere katlanabilir, yansıtıcı, kolay taşınabilir yapıda güneş ocakları geliştirilmiştir. Bunlar Çin, Hindistan ve Pakistan'da yaygın kullanılmaktadır.

Yapı olarak üç farklı güneş ocağı vardır.

- 1- Isı kutulu tip
- 2- Parabolik tip
- 3- Katlanabilir levhalı tip



Şekil 2.7: Güneş Ocağı

2.5.6. Güneş Havuzları

Güneş havuzları, büyük miktarda güneş enerjisini, düşük maliyetle doğrudan depolayan tuzlu su havuzlarıdır. Güneş havuzları, ısı üretme, elektrik üretme, sudan tuzun giderilmesi ve ısıl enerji depolama amaçlı kullanılmaktadır. Güneş havuzu, yapı olarak bahçe havuzlarına benzemekle beraber alt kısmı güneş ışınımını absorbe etmesi için siyah boya ile boyanmakta ve etrafı iyi yalıtımlıdır. Sıcaklık ve tuz konsantrasyonu alt kısımdan üst kısma doğru azalmaktadır. Havuzdaki ısının dağılımı suya eklenen tuz konsantrasyonu ile düzenlenir, tuz konsantrasyonu en üstten alta doğru artar. Böylece en üstte soğuk su yüzeyi bulursa bile havuzun alt kısmında doymuş tuz konsantrasyonu bulunan bölgede sıcaklık yüksek olur. Bu sıcak tuzlu su bir eşanjöre pompalanarak doğrudan ısı olarak yararlanılabileceği gibi Rankine çevrimi ile elektrik üretiminde de kullanılabilir.

2.5.7. Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretilmesi

Tüm bu güneş enerjisi kullanım yöntemlerinin dışında güneş enerjisinden elektrik elde edilmesi de söz konusu olduğu için ısıtma, soğutma, kurutma, pişirme vb. işlemlerde elektrikli cihazlar kullanılması durumunda güneş enerjisi yine dolaylı olarak kullanılmış olur. Elektrik esaslı sistemlerde, fotovoltaik piller kullanılarak, güneş enerjisi yardımıyla elektrik üretilmektedir.

2.5.7.1. Güneş Enerjisi Santralleri

Atom çekirdeği üzerinde yapılan araştırma ve incelemelerin yoğunluğu nükleer enerji santrallerinin her geçen gün gelişmesini sağlamakta, bu ise güneş enerjisine duyulan ilginin bir süre daha gecikmesine neden olmaktadır. İnsanların çeşitli teknik yollara başvurarak elde ettikleri enerjinin binlerce katını güneş her gün yeryüzüne göndermektedir. Güneş enerjisinin elde edilmesindeki temel sorunlardan biri de güneş enerjisinin belli bir yerde yoğunlaştırılmasıdır. Güneş enerjisini yoğunlaştıran güneş enerjisi santralleri bugün üç ayrı grupta toplanmaktadır. Birinci olarak güneş santrali ile çalışan kuvvet santrallerinde güneş bir akışkanı (örneğin suyu) ısıtmakta, akışkanın kazandığı bu enerji daha sonra mekanik veya elektrik enerjisine dönüşmektedir. İkinci grup düşük basınçlı termodinamik çevrimlerden elektrik sağlamaktır. Bunun için geliştirilmiş güneş havuzlarında akışkan belli bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Tam olarak odaklanmamış güneş ışınları, sıcaklığı 80 °C'ye kadar varan tuzlu suda birbirinden farklı yoğunluklarda tabakalar oluşmasına neden olurlar. Bu da düşük sıcaklık kademesinde türbin çevriminde, elektrik üretiminde kullanılabilir. Üçüncü grup ise fotovoltaik sistemlerdir. Burada güneş enerjisi doğrudan elektriğe dönüşmektedir. Peteği andıran her bir güneş hücresi ısı üretimine ve jeneratöre gerek kalmadan elektrik üretir.

Kuleli bir güneş enerji santralinin belli başlı elemanları; ısı depolama sistemi, yansıtıcı aynalar, toplayıcı kule sistemi ve türbin-jeneratör elektrik enerjisi üretme tesisinden meydana gelir. Güneş ışınları yansıtıcı aynalar tarafından 100-150 m. yüksekliğindeki bir kule üzerine monte edilen toplayıcının içine yansıtılır. Kızgın buhar, türbin tarafından doğrudan doğruya kullanılmak üzere türbine veya ısı depo sisteminin yüklenmesi için enerji tesisine borularla gönderilir. Güneş enerjisinin herhangi bir nedenle kesintiye uğraması halinde ısı depo enerjisi, türbini çalıştırmaya yetecek buharı üretmesi için ısı değiştirgeçlerine boşaltılır.

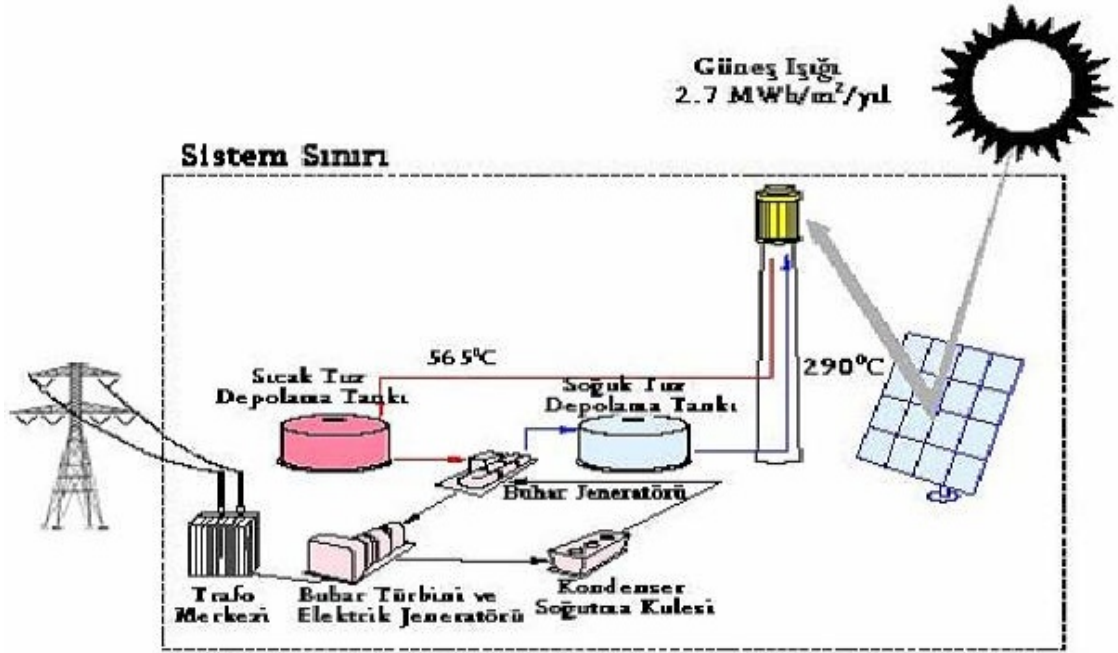
Yansıtıcı ayna sistemi, güneş ışınlarını toplayıcı sistemine sürekli yansıtan kontrollü bir aynalar dizisinden meydana gelir. Bu aynalar düz ve güneye bakan teraslı alana monte edilmişlerdir. Her ayna tamamen ve otomatik olarak güneşi izleyebilir. Aynalar kuleden maksimum 500 m. uzağa yerleştirilebilirler. Bu kısıtlamanın nedeni toplayıcı boyutlarının sınırlı olmasından (10 m. x 10m.) ve güneş izleme sisteminin hassasiyetinden dolayıdır.

Toplayıcı sistemi, yansıtıcı ayna sisteminden gelen yansıtılmış güneş ışığını tutan bir ısı değiştirici oyuk ve toplayıcı verimini maksimize etmek için akışkanı, sıcaklığını ve basıncını düzenleyen destek teçhizatından meydana gelir. Bu tip

toplayıcılarda 530 °C'lik bir çalışma sıcaklığı sağlanmaktadır. Suyun sistemde ısı taşıyıcı akışkan olarak kullanılması basit bir çevrim yapısı gerektiğinden avantajlıdır. Fakat 10 MPa'a ulaşan yüksek basınç nedeniyle absorblayıcı konstrüksiyonu oldukça zorlaşmaktadır. Isı taşıyıcı akışkan olarak sıvı metal akışkanlar ve tuzlu eriyikler alçak basınçlı sistemlerin konstrüksiyonuna oldukça uygundur. Bu sefer 100-140 °C'de donma özelliği gösteren bu ısı taşıyıcı akışkanlar için ek ısıtma sistemlerine gerek vardır. Bu sistemlerde ikinci bir çevrim zorunludur.

Isı enerjisi depolama sistemi, geçici kötü hava şartları ve akşam çalışma periyotları esnasında türbin için gerekli olan buhar girdisini devam ettirmek ve tesisin verimliliğini maksimize etmede termal kontrolü sağlamak için kullanılır.

Elektrik enerjisi üretme sistemi; toplayıcıdan gelen çalışma akışkanının ısı enerjisi türbin ve jeneratör vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Jeneratörden alınan elektrik enerjisi regüle edilir ve elektrik enerjisi şebekesine ilave edilmek üzere transformatörden geçirilir. Bu sistem uygun tesis verimliliğini devam ettirmek için gerekli çalışma akışkanının iyileştirilmesini, uygun besleme suyunun toplayıcıya ve ısı depo sistemine dönmesini sağlar.



Şekil 2.8: Tuz eriyikli kuleli güneş enerji santrali prensip şeması

Güneş güç kuleleri, güneş ışınlarını kule tepesine monte edilmiş olan ısı değiştiriciye (alıcı) odaklamalı yoğunlaştırarak elektrik gücü üretirler. Sistemde, gelen güneş ışınlarını yansıtan ve heliostat diye adlandırılan, yüzlerce yada binlerce güneş izleme aynaları kullanılır. Bu tesisler, 30 ile 400MWe arası uygulamalar için en uygun tesislerdir.

Güneş güç kulesindeki 290°C'da (545°F) sıvı haldeki tuz eriyiği soğuk depolama tankında alıcıya doğru pompalanır, burada sıcaklığı 565°C'ye (1049°F) kadar çıkarılarak sıcak depolama tankına gönderilir.

Tesisten güç çekileceği zaman, sıcak tuz, klasik bir rankine çevrim türbini/jeneratör sistemi için aşırı kızdırılmış buhar üreten bir buhar üretme sistemine pompalanır. Buhar jeneratöründeki tuz soğuk tanka geri döner, burada depolanır ve sonunda da alıcıda yeniden kızdırılır. Şekil 2.8'de eriyik tuzlu bir güneş güç tesisindeki akış şemasının şematik diyagramı görülmektedir. Sevk edilecek güç gereksinimi karşılayacak olan optimum depolama kapasitesini belirlemek sistem tasarımı projesinin önemli bir kısmıdır. Depolama tankları 13 saate kadar tam üretimdeki bir türbin gücüne yeterli kapasite ile tasarlanabilir.

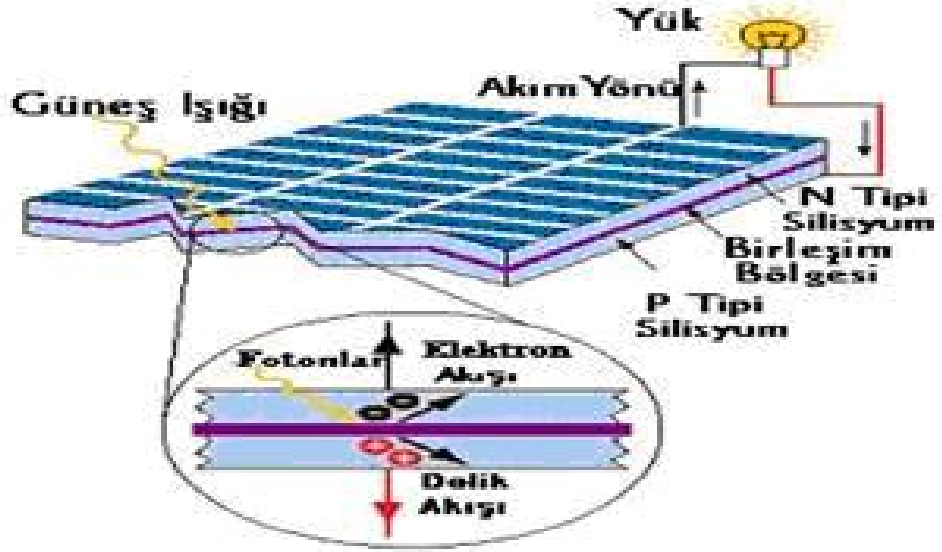
Heliostat kuleyi çevreleyen alan, tesisin yıllık verimini optimize edecek şekilde düzenlenir. Alan ve alıcının boyutları işletmenin ihtiyaçlarına da bağlı olarak değişir. Tipik bir kurulumda güneş enerjisinin toplanması, türbine buhar sağlayacak maksimum gereksinim oranının aşılmasıyla meydana gelir. Sonuç olarak, tam kapasite üretim yapan tesis ile aynı anda ısı depolama sistemi de yüklenebilir. Kollektör sistemi tarafından (heliostat alan ve alıcı) karşılanan ısı güç oranının türbin jeneratörü peak ısı güç gereksinimini oranına Güneş çarpanı denir. Yaklaşık olarak yıllık 2,7 MWh/m² bir Güneş enerjisi ile, California'da Mojave çölünde tesis edilmiş olan tuz eriyikli bir güneş kulesi, yaklaşık %65'lik yıllık kapasite faktörüne göre tasarlanabilir. Sonuç olarak bir güç kulesi yedek yakıt kaynağı ihtiyacı olmaksızın yıllık %65 potansiyelle işletilebilir. Enerji depolamaksızın, güneş teknolojilerinde yıllık kapasite faktörü %25 ile sınırlıdır.

2.5.7.2. Güneş Pilleri (Fotovoltaik Piller)

Güneş pilleri (fotovoltaik piller), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm. arasındadır.

Fotovoltaik terimi, ışıktan gerilim üretilmesi anlamına gelir ve genellikle "PV" ile gösterilir. Güneş pilleri, enerjinin korunumu yasasına uygun olarak, ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren cihazlar olup enerjiyi depolayamazlar. Işık kaynağı ortadan kalktığında, pilin ürettiği elektrik de kesilecektir. Eğer gece boyunca da elektrik kullanılacaksa, sisteme bir elektrik depolayıcı eklenmesi gerekir. Güneş pilleri doğru akım ürettikleri için, doğru akımla çalışmayan alet ve cihazlar için doğru akımı alternatif akıma dönüştürmek, güneş olmadığı zamanki elektrik ihtiyacını karşılamak ve güneş olduğunda ihtiyaç fazlası elektrik enerjisini karşılamak gibi her uygulamada ayrı olarak yük eğrisi ve güneş enerjisi şiddeti eğrisi arasındaki uzlaşmayı sağlayacak mühendislik problemleri ve bunların çözümü, güneş pilleri ile elektrik üretiminin en ilginç yanlarından biridir.

Enerji dönüşümü için, yarı iletken bir diyot olan PV eleman, güneş ışığının taşıdığı enerjiyi iç fotoelektrik olaydan faydalanarak doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür. Bu etki şekil 2.9.'da gösterilmektedir.



Şekil 2.9: Güneş Pili Çalışma Prensibi Şeması

Yarı iletkenler, bir yasak enerji aralığı tarafından ayrılan iki enerji bandından oluşur. Bu bantlar “valans bandı” ve “iletkenlik bandı” adını alırlar. Bu yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük enerjili bir foton, yarı iletken tarafından soğurulduğu zaman, enerjisini valans bandındaki bir elektrona vererek elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. Böylece elektron-boşluk çifti oluşmuş olur. Bu olay, PN eklem güneş pilinin ara yüzeyinde meydana gelmiş ise, elektron-boşluk çiftleri buradaki elektrik alanı tarafından birbirlerinden ayrılır. Bu şekilde güneş pili, elektronları N bölgesine, boşlukları da P bölgesine iten bir pompa gibi çalışır. Birbirlerinden ayrılan elektron-boşluk çiftleri, güneş pilinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluştururlar. Bu süreç yeniden bir fotonun pil yüzeyine çarpması ile aynı şekilde devam eder. Yarı iletkenin iç kısımlarında da gelen fotonlar tarafından elektron-boşluk çiftleri oluşturulmaktadır. Fakat gerekli elektrik alanı olmadığı için tekrar birleşerek kaybolmaktadırlar. Üretim sırasında, pilin ön yüzeyine yakın yerde bir iç elektro-statik bölge oluşturularak, bu elektronun serbest duruma geçmesi sağlanır. Silisyum kristali içine diğer elementler yerleştirilmiştir. Bu elementlerin kristal içinde bulunması, kristalin elektriksel olarak dengede olmasını önler. Işıkla karşılaşan malzemede, bu atomlar dengeyi bozar ve serbest elektronları diğer pile veya yüke gitmeleri için pilin yüzeyine doğru süpürürler. Milyonlarca foton pilin içine akarken, enerji kazanıp bir üst seviyeye çıkan elektronlar da, pil içindeki elektro-statik bölgeye ve oradan da pil dışına akarlar.

Tipik bir silisyum güneş pili hücresi, 0,5 volt kadar elektrik üretebilir. Pilleri birbirine seri bağlayarak üretilen gerilim değerini arttırmak olasıdır. Genellikle, 30-36 adet güneş pili, 15-17 voltluk bir çıkış gücü vermek için birlikte bağlanabilir; ki bu voltaj değeri de, 12 voltluk bir aküyü şarj etmek için yeterlidir. Farklı çıkış güçleri

verecek şekilde imal edilmiş, farklı büyüklüklerde güneş pilleri bulmak olasıdır. Silisyum pillerinin seri bağlanması ile modüller, modüllerin birbirine bağlanması ile diziler oluşur. Bir modül, tipine göre dairesel veya kare alanlı PV hücrelerden 30 ila 36 adedinin seri bağlanıp dış ortamdan etkilenmemeleri için hermetik bir kılıf içine yerleştirilmesiyle elde edilir.

Fotovoltaik güneş pillerinin sürekli gelişimlerine bağlı olarak verimliliklerinin özeti çizgilerin geçerlilik süreleri oldukça kısa olmaktadır. Ancak, fotovoltaik pillerin cinsine göre verimlilikleri tablo 2.1’de gösterilmektedir.

Tablo 2.1: Farklı Cinsteki Fotovoltaik Pillerin Verimlilikleri (Fraunhofer Enstitüsü)

Fotovoltaik Pilin Cinsi	Alan (cm ²)	Verimlilik (%)	Üretilen Birim
Tek Kristalli Silisyum	4.00	24	UNSW,Sydney Avustralya
Çok kristalli Silisyum	21,2	17,4	ISE, Freiburg, Almanya
Amorf Silisyum	1	14,7	United Solar
Cu/In, Ga)Se ₂	0,4	17,7	NREL, USA
CdTe/CdS		15,8	USA
GaAS Tek kristal	1	23,9	K.Univ,Nijmegen Hollanda

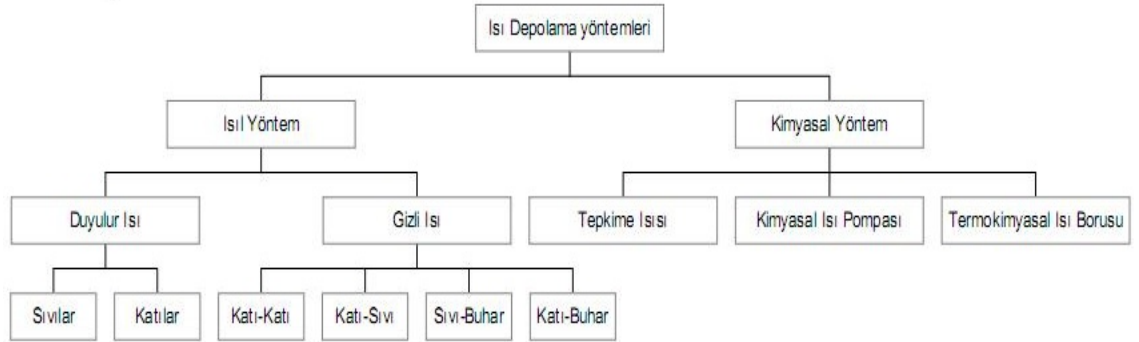
2.6. Enerji Depolama Tanımı Ve Çeşitleri

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

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

2.6.1 Isı Enerjisi Depolama Çeşitleri

Güneş enerjisinin depolanması, bir dönüşüm ya da çevrimle elde olunan ikincil enerjinin depolanması biçiminde gerçekleşmektedir. Herhangi bir sistemin optimum tasarımı yapılırken göz önüne alınması gereken kullanılabilirlik (ekserji) olmalıdır. Başka bir deyişle termodinamik olarak verimli bir sistem dediğimizde tersinmezlikleri mümkün olan ölçüde minimize edilmiş sistemi anlıyoruz. Bu noktada bir sistemin işletimi sırasında tersinmezlikler nedeniyle meydana gelen entropi artışının bir sistemde yok edilen kullanılabilirlik ile orantılı olduğunu hatırlarsak, termodinamik olarak verimli bir sistem tasarlamak için termodinamiğin ikinci kanununa başvurmamız gerektiği anlaşılır. Isı Enerjisi Depolama yöntemleri ısı yöntem ve kimyasal yöntem olmak üzere ikiye ayrılır. Isıl yöntem duyulur ısı ve gizli ısıdan oluşurken, kimyasal yöntem tepkime ısı, kimyasal ısı pompası ve termokimyasal ısı pompasından oluşur.



Şekil 2.10: Isı Depolanmasında Uygulanan Yöntemler (Abhad, 1983)

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

Isı Enerjisi Depolama sistemlerinin temelinde depolama sistemine enerji sağlanması, bu enerjinin depolanması ve depolanan enerjinin ihtiyaç duyulan zamanlarda kullanılması prensibi yatmaktadır. Bu kısaca; yükleme, depolama, geri kazanma olarak özetlenebilecek bir süreçtir (Dinçer ve Rosen, 2002).

2.7. Isıl Yöntemle Isı Enerjisi Depolama

Duyulur ısı depolama ve gizli ısı depolama olarak ikiye ayrılır.

2.7.1 Duyulur Isı Depolama:

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

Duyulur ısı depolama yönteminde, ısı depolama materyalin sıcaklığındaki değişim sonucunda ortaya çıkan duyulur ısıdan yararlanır. Isı depolama sıvı, katı ve sıvı ile katının beraber olduğu hybrid(karma) materyallerde yapılabilir. Bu sistemde depolama ve geri kazanma süresince depolama materyalinin sıcaklığı değişir. Çok sayıda depolama ve geri kazanma çevriminin gerçekleşebilmesi bu sistemin avantajı, gereksinim duyulan depo hacminin büyük olması ise dezavantajdır .

2.7.2. Gizli Isı Depolama:

Maddenin faz değiştirerek bir halden diğer bir hale geçmesine neden olan enerji transferi ise gizli ısı geçişi olarak adlandırılır. Gizli ısı geçişi esnasında saf maddelerin sıcaklıkları değişmez. Ayrıca gizli ısı geçişinde transfer edilen enerji miktarı duyulur ısıya göre daha yüksektir. Bu da kurulan depo sisteminin boyutlarının daha küçük olmasını sağlar. Gizli ısı maddenin faz değişimi sırasında çevreden aldığı veya verdiği ısıdır. Depolama sistemlerinde kullanılan ve faz değiştiren akışkana Faz Değişim Malzemesi(FDM)adı verilmektedir. Faz Değiştiren Maddeler (PCM, Phase Change Material) termal enerjiyi gizli ısı şeklinde depolayabilen maddelerdir. Isı depolama materyalinin iç enerjisinin önemli oranda değişmesi, bu materyalin faz değiştirmesine neden olur.

Tablo 2.2: Bilinen Bazı Maddelerin 20 °C'deki Isıl Kapasiteleri

Malzeme	Yoğunluk Kg/m³	Özgül Isı J/kg⁰K	Isıl Kapasite 10⁶ J/m³⁰K
Kil	1458	879	1,29
Tuğla	1800	837	1,51
Kaya	2200	712	1,57
Odun	700	2390	1,67
Beton	2000	880	1,76
Cam	2710	837	2,27
Alüminyum	2710	896	2,43
Demir	7900	452	3,57
Çelik	7840	465	3,68
Toprak	2050	1840	3,77
Magnetit	5177	752	3,89
Su	988	4182	4,17

En eski faz değişim malzemesi uygulaması 1800'lü yılların sonunda arabalarda koltukları ısıtmak amacıyla İngilizler tarafından kullanılmıştır. Soğutma amaçlı ilk deneysel çalışma ise 1970'li yılların başında Delaware Üniversitesi'nde gerçekleşmiştir. 1970-1980 yılları arasında birçok organizasyon güneş enerjisinin depolanması amacıyla faz değişim materyalleri üretmiştir. 1982 yılında ilk ötektik tuz depolama sistemi soğuk depolama amacıyla binalar için kullanılmıştır.

Yaygın olarak faz değişim malzemeleri; su-buz, sulandırılmış tuzlar, polimerler, kafes yapılı karışımlar, karbondioksit ve parafin olarak gösterilebilir. Su-buz en yaygın olarak bulunan ve termofiziksel özelliklerinin yanında bir çok özelliği ile de tercih edilen önemli bir faz değişim malzemesidir. Tablo 2.3'de literatürde karşılaşılan bazı faz değişim malzemelerinin ısıl özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.3: Literatürde Karşılaşılan Bazı Faz Değişim Malzemeleri

Malzeme	Erime Sıcaklığı (°C)*	Erime Isısı kJ/kg	Isıl İletkenlik (W/m ⁰ K)	Yoğunluk (kg/ ³ m)
İnorganikler				
MgCl ₂ .6H ₂ O	117	168,6	0,570 sıvı 120 °C	1450 sıvı 120 °C
			0,694 katı 90 °C	1569 katı 20 °C
Mg(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	89	162,8	0,490 sıvı 95 °C	1550 sıvı 94 °C
			0,611 katı 37 °C	1636 katı 25 °C
Ba(OH) ₂ .8H ₂ O	78	265,7	0,653 sıvı 85,7 °C	1937 sıvı 84 °C
			1,255 katı 23 °C	2070 katı 24 °C
Zn(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	36	146,9	0,464 sıvı 39,9 °C	1828 sıvı 36 °C
			-	1937 katı 24 °C
CaBr ₂ . 6H ₂ O	34	115,5	-	1956 sıvı 35 °C
			-	2194 katı 24 °C
CaCl ₂ . 6H ₂ O	29	190,8	0,540 sıvı 38,7 °C	1562 sıvı 32 °C
			1,088 katı 23 °C	1802 katı 24 °C
Organikler				
Parafin vaks	64	173,6	0,167 sıvı 63,5 °C	790 sıvı 65 °C
			0,346 katı 33,6 °C	916 katı 24 °C
Poliglikol E400	8	99,6	0,187 sıvı 38,6 °C	1125 sıvı 25 °C
			-	1288 katı 3 °C
Poliglikol E600	22	127,2	0,189 sıvı 38,6 °C	1126 sıvı 25 °C
			-	1232 katı 4 °C
Poliglikol E6000	66	190	-	1085 sıvı 70 °C
			-	1212 katı 25 °C
Yağ Asitleri				
Stearik Asit	69	202,5	-	848 sıvı 70 °C
			-	965 katı 25 °C
Palmitik Asit	64	185,4	0,162 sıvı 68,4 °C	850 sıvı 65 °C
			-	989 katı 24 °C
Kaprik Asit	32	152,7	0,153 sıvı 38,5 °C	878 sıvı 45 °C
			-	1004 katı 24 °C
Kaprilik asit	16	148,5	0,149 sıvı 38,6 °C	901 sıvı 30 °C
			-	981 katı 13 °C
Aromatikler				
Biphenil	71	119,2	-	991 sıvı 73 °C
			-	991 katı 73 °C
Naftalin	80	147,7	0,162 sıvı 68,4 °C	976 sıvı 84 °C
			0,346 katı 33,6 °C	1145 katı 20 °C

* 1 atm. basınçta

Uygun sıcaklık sınırlarında, depolama materyalinin faz değiştirmesi ile ortaya çıkan gizli ısı depolanabilir. Isı depolama amacıyla, belirli sıcaklıklarda faz değişimlerine uğrayan ve gizli ısı değerleri yüksek olan materyallerden yararlanılır. Isı depolamaya uygun faz değişimleri; katı-katı ve katı-sıvıdır. Sıvı-buhar faz değişimi, gaz fazın depolanmasının basınçlı depolama kaplarını gerektirmesi gibi karşılaşılan sorunlar nedeniyle ısı depolamaya uygun değildir. Katı durumdaki bir materyal kristalleşerek diğer bir katı faza dđnüştüęünde (katı-katı değişimi), kristalleşme ısısı şeklinde ısı depolanır. Materyal ilk durumdaki katı fazına yeniden dđnüştüęünde, faz değişimi sırası da depolanan ısı da geri kazanılır. Katı-katı faz değişimi sırasında açığa çıkan gizli ısı miktarı azdır. Katı-sıvı faz değişiminde, diğer faz değişimlerine oranla daha az hacim değişimi gerçekteşir. Uygulamada hacimsel enerji depolama kapasitesi yüksek olduğundan sadece katı-sıvı veya kristalleşme ısısı yüksek olan katı-katı faz değişimleri pratik öneme sahiptir. Faz Değiştiren Maddeler (FDM) inorganik ve organik olmak üzere iki alt gruba ayrılırlar.

İnorganik FDM'lere tuz hidratları ve klarat hidratları örnek verilebilir. İnorganik FDM'lerin avantajları; yüksek ergime ısısı, iyi termal iletkenlik, ucuz ve yanıcı olmamaları; dezavantajları ise korozif olmaları, aşırı soğuma göstermeleri, faz bozulması ve hidrat sayısında azalma şeklinde özetlenebilir.

Organik FDM'lere parafinleri ve yağ asitlerini örnek gösterebiliriz. Organik FDM'lerin avantajları; kimyasal yönden kararlı, az veya hiç aşırı soğuma göstermemesi, korozif ve toksik olmamaları, yüksek ergime ısısı ve düşük buhar basıncı göstermeleri, dezavantajları ise düşük termal iletkenlik, faz değişimi sırasında büyük hacim değişimi, yanıcı olmaları şeklinde özetlenebilir.

FDM'lerde termal enerji depolama uygulamaları çok çeşitli olmakla beraber en çok kullanılm alanları (Mazman, 2000; Özonur, 2004; Gök, 2005);

- Yapı malzemelerinde binaların ısıtma ve soğutma yükünün azaltılmasında,
- Fotovoltaik elementlerin soğutulması,
- Tekstil
- Ev ısıtma ve sıcak su
- Gıda
- Medikal alanda (kan üniteleri)
- Motorlu taşıtlar için ısı depolama sistemi
- Taze gıdaların depolanması
- Sıcaklığa duyarlı cihazların soğutulması

FDM'ler hem ısıtma hem de soğutma sistemlerinde uygulanabilir. Yapı malzemelerinin yalıtım ve ısı aktarım özelliklerini geliştirmek için kullanılabilecek faz değiştiren maddeler parafinler, yağ asitleri, ötektik karışımlar, yağ alkoller, neopentil glikol ve inorganik FDM'lerdir. Parafinik hidrokarbonlar, yağ asitleri ve yağ alkoller düşük çözünürlüğe sahip maddeler olmakla birlikte su içerisinde hiç çözünmezler. Bu yüzden yapı malzemeleri uygulamaları için tercih edilirler. Erime entalpileri 150-220 kJ/kg arasında değişir.

2.8. Kimyasal Yöntemle Isıl Enerji Depolama

Isı enerjisi kimyasal enerjiye dönüştürülerek uzun süre depolanabilir. Termokimyasal ısı depolamanın ilkesi; ekzotermik olarak tepkimeye girebilen iki veya daha fazla kimyasal bileşikte tersinir tepkimeler süresince kimyasal bağlarda ısı depolanmasına dayanır. Depolama sisteminin ömrü prensip olarak sınırsızdır. Kimyasal bağların tersinir olarak ayrışma ve birleşmesi sırasında, ısı değeri yüksek olan kimyasal tepkimeler gerçekleştiğinden, ısı depolama kapasitesi genellikle yüksektir.

Termokimyasal yöntemle ısı depolayan sistemler, gizli ısı depolama sistemlerinden daha karmaşıktır. Sistemdeki bileşenlerin kendi aralarındaki olası etkileşimleri önemlidir. Yöntemin en önemli özelliği seçilen tepkimenin tersinir olmasıdır. Termokimyasal yöntemle ısı depolama tersinir kimyasal tepkimeler, kimyasal ısı pompası (adsorpsiyonlu ısı pompası) ve termokimyasal ısı borularında yapılabilir. Tersinir kimyasal tepkimelerle ısı depolamada; endotermik bir tepkime kullanılarak depolanan ısı, ekzotermik olarak geri kazanılır. Tepkime sıcaklığında oluşan tepkime ürünleri ayrı ayrı depolanır; ısı, ürünlerin tekrar karıştırılması ve gerektiğinde katalizör eklenmesiyle geri kazanılabilir.

Kimyasal ısı pompası, tersinir tepkimeler yardımıyla aralarında gaz bileşenin transfer edildiği iki alt sistemden oluşur. Kimyasal ısı pompası sistemlerinde, buharın yoğunlaşması ile açığa çıkan yoğunlaşma ısısı geri kazanılır.

Termokimyasal ısı borularında kullanılan tepkimelerde, kolay yoğunlaşmayan gaz durumundaki reaktifler bulunur. Isı enerjisinin, ısı borusuyla uzun mesafelere iletilmesi için tepkime ürünlerinden yararlanılır. Termokimyasal ısı borusuyla ısı depolama teknolojisi, yüksek sıcaklıkta nükleer veya güneş enerjisi uygulamalarında ve endüstriyel kazanlardaki damıtma çevrimlerinde uygulanmaktadır.

Güneş enerjisinin tersinir kimyasal tepkimelerle depolanması gelişme aşamasında olan yeni bir yöntemdir. Düşük sıcaklıktaki uygulamalar için kimyasal tepkimelerle ısı depolanmasına ilişkin önemli gelişmeler sağlanmış olmakla birlikte uygulamada karşılaşılan önemli sorunlar termokimyasal ısı depolama yönteminin yaygın olarak uygulanmasını sınırlandırmaktadır.

Adsorpsiyonlu ısı depolama sistemleri metal-alumina-silikat maddelerinden olan zeolitlerin gözenekli yapısından yararlanırlar. Nemli hava adsorban malzemenin bulunduğu yataktan geçirilerek su buharının adsorplanması sağlanır, kuru sıcak hava aynı yataktan geçirildiğinde su buharını desorbe edip soğuyarak çıkar. Bu işlem sırasında desorpsiyon ısı depolanmasını adsorpsiyon da ısının geri kazanmasını sağlamaktadır.

2.9. Güneş Enerjisinin Isı Enerjisi Olarak Depolanması

2.9.1. Güneş Enerjisinin Isı Enerjisi Olarak Depolanmasının Gerekliliği

Bugüne kadar, çoğu sanayileşmiş ülkede kullanılmakta olan yenilenebilir enerji kaynakları, istenilen düzeyde enerji talebinin karşılanmasına katkıda bulunamamıştır. Bunun çeşitli nedenleri vardır. Bu nedenlerden en önemlileri aşağıda sıralanmıştır.

- Bazı alternatif enerji kaynağı olarak nitelendirilen (güneş enerjisi, jeotermal enerji, rüzgar enerjisi vb.) enerji kaynaklarının halen ekonomik olarak ve ısı kapasite açısından fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan enerji ile rekabet edememesi,
- Süreksiz oluşları, düzenli enerji sağlayamamaları,
- Kullanılmasına uzun yıllardır devam edilmediği için güvenilirliğinin test edilememesi,
- Aşılması gereken piyasa düzenlemeleri, teşviklerin uygulanmaması.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından sürekli enerji elde edilememesi, belirli zamanlarda kesintiye uğraması sebebiyle enerji depolanması ihtiyacı doğmuştur. Bu nedenlerle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve beraberinde enerjinin depolanması önem kazanmaya başlamıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarındaki süreksizlik sorununa, enerji depolanması çözüm getirmektedir. Örneğin yaz aylarında güneş enerjisi fazla olmasına rağmen bu aylarda binalara ait mahallerin ısıtılması için enerji ihtiyacı düşük seviyededir. Kış aylarında ise tam tersi güneş enerjisi az olmasına rağmen yaşamsal alan olan binalarda ısı ihtiyacı yüksektir. Bu farkın ortadan kaldırılması enerjinin depolanması ile çözülür. Güneş enerjisinin ısı enerji olarak elde edilmesi ve kullanımı arasındaki zaman farkı depolama sayesinde kapatılmaktadır.

Antik çağlardan beri toprağın altı yiyecek depolamak için sabit sıcaklık bölgesi olarak kullanılmaktadır. Yaz aylarında kullanılmak üzere kuyulara kar doldurulurdu. En eski termal enerji depolama yöntemlerinden biri de donmuş göl ve/veya nehirlerden buz almaktır. Bugün buz her türlü soğutma amacıyla kullanılır.

Isı enerjisi yer altında geniş bir hacimde uzun süreli (mevsimlik) ve kısa süreli (haftalık) depolanabilir. Isı enerjisinin yeraltında mevsimlik depolanması üç ayı aşkın süreyi kapsamaktadır. Kısa süreli depolama ise bir haftadan az bir zaman içindir. Bu kapsamda yeraltında ısı enerjisi depolanması ısıtma amaçlı depolama, soğutma amaçlı depolama, hem ısıtma ve hem de soğutma amaçlı depolama olarak ayırt edilmektedir. Isıl depolama, fosil yakıt yakımı ile sağlanacak ısıdan tasarruf oluşturduğundan, yanma emisyonlarının ortaya koyacağı kirliliği önleme avantajı da taşımaktadır. Böylece CO₂, SO₂ ve NO_x emisyonlarının sınırlandırılmasına katkıda bulunur. Soğutma amaçlı ısı

depolama, elektrik enerjisinden sağlanan tasarrufun yanı sıra ozon tabakasına zarar veren kloroflorokarbon gazlarının kullanımının sınırlandırılmasına da katkıda bulunur. Söz konusu teknolojiden ülkemizde de yararlanılmaktadır.

Isının depolanması ve depolanan ısının entegre ısı sistemlerde kullanılması ısı sistemlerinin verimliliklerinin artırılması açısından önemlidir. Depolanacak duyulur ısı kullanılan ısı sistemin ısı kapasitesini artırmak için kullanılabileceği gibi, sistem bir soğutma sistemi ise sistemin Enerji Tasarruf Oranını (EER=energy efficiency ratio) artırmak, sistem bir ısı pompası sistemiyse sistemin Etkinlik Katsayısını (COP=coefficient of performance) artırmak, veya sistem güneş enerjisi takviyeli bir ısıtma sistemiyse sistemin ısı verimini artırmak amacıyla kullanılabilir. Isının depolanması ve depolanan ısının entegre ısı sistemlerde kullanılması ısı sistemlerinin verimliliklerinin artırılması açısından önemlidir. Depolanacak duyulur ısı kullanılan ısı sistemin ısı kapasitesini arttırmak için kullanılabileceği gibi, sistem bir soğutma sistemi ise sistemin Enerji Tasarruf Oranını arttırmak, sistem bir ısı pompası sistemiyse sistemin etkinlik katsayısını arttırmak, veya sistem güneş enerjisi takviyeli bir ısıtma sistemiyse sistemin ısı verimini arttırmak amacıyla kullanılabilir. Günümüzde, ülkemizde yeraltında ısı depolanması uygulamaları çok az sayıda mevcuttur.

Sadece Türkiye’de ısı enerjisinin yer altında depolanması sistemlerinin kullanılması sayesinde ülke genelinde fosil yakıtlardan sağlanacak %10’luk tasarruf ile emisyonlarda beklenen azalma yılda en az 5,6 milyon ton CO₂, 18900 ton SO₂ ve 21600 ton NO_x olacağı tahmin edilmektedir. (Paksoy ve Evliya., 2000).

Yer altında ısı depolama mevsimlik, günlük gibi farklı periyotlarda yapılabilir. Bunu belirlemede en önemli etken kullanım amacıdır. Ülkemizde yer altında ısı depolanması uygulamaları çok az sayıda mevcuttur.

Isı enerjisi depolama; enerjinin bol olduğu zamanda depolanıp, olmadığı yada yetersiz olduğu zamanlarda kullanılabileceği sağladığı için çok önemlidir. Güneş enerjisi yeryüzünde ısı yalıtımlı çelik tanklarda, yer altı mağaralarında, yer altı kaya tabakasına açılmış dikey kuyularda, yeraltındaki çelik tanklarda, toprağa gömülü dikey ve yatay borularda (toprak kaynaklı ısı pompalarında sıklıkla kullanılır.), akü ferlerde, yeraltındaki beton tanklarda mevsimlik olarak depolanmaktadır. İsveç’te Bankston tarafından yapılan çalışmada toprak içerisine 2-6 m. arasında yatay olarak duran kaya tabanı içinde 65 m. Derinliğinde 120 sondaj kuyusu açılmıştır. Binanın ısı yükünün % 60’ı bu sistem ile karşılanmıştır. Depo çevresinde sıcaklık dağılımı 2 boyutlu olarak ele alınmıştır. Isı transferi problemi kompleks Fourier dönüşüm tekniği ve sonlu farklar metodu uygulanarak çözümlenmiştir.

Isı depolanma sistemlerinin tasarımları genellikle deneme-yanılma yöntemleri kullanılarak ve/veya geçmişte kazanılmış deneysel bilgilere bağlı tecrübelerle dayalı olarak yapılmaktadır. Ancak fizibilite çalışması yapılmadan gerçekleştirilen bu tür yaklaşımlar maliyeti çok arttırdığı gibi, hem de istenilen verimde olmayan ısı enerji depolama sistemleri ile sonuçlanabilmektedir. Bu nedenle bir yer altı ısı depolama sistemi tasarlamadan ve sisteme entegre etmeden önce ısı depolama sisteminin kuramsal formülizasyonu, analizi, analiz neticesinde elde edilen çözümlerin ısı

sistemin diğ er elemanlarına ilişkin formülasyonlar ile bütünleştirilmesi gerekmektedir. Bunun sonucunda kurulması düşün ülen ısı l sistem modelinin yapılması ve modellenen ve de entegre edilen tüm sistem modeli üzerinde sayısal hesaplamalar yapılır. Bu hesaplamalar doğ rultusunda fiziki bütünleş ik sistemin tasarımı ve kurulmasından önce, tüm den entegre olan sistemin performansı hakkında ö ngörülerde bulunmak ideale yakın tasarım gerçekleştirilebilmesi açısından çok önemlidir.

2.9.2. Isı Enerjisi Depolama Tekniklerinin Türkiye Dış ındaki Uygulamaları

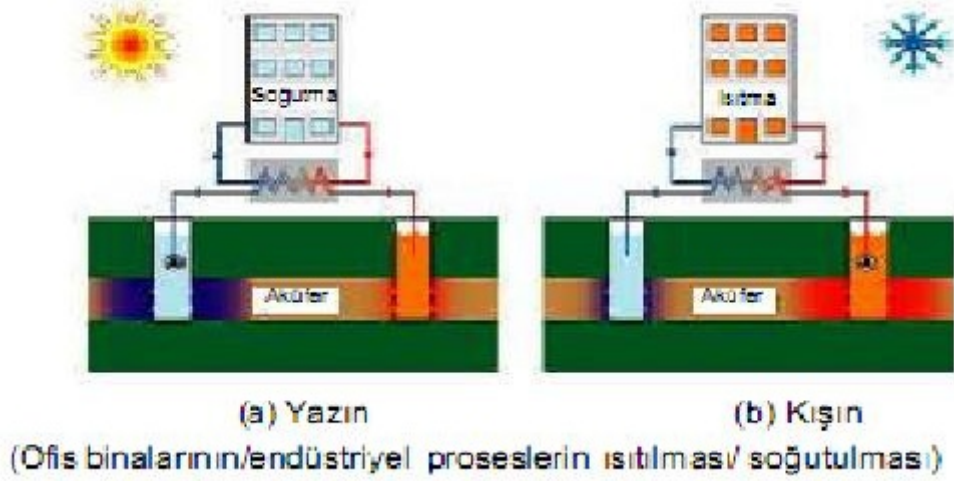
Bu depolama sistemi ilk olarak 1939 yılında Cambridge, Massachusetts-ABD de MİT güneş evinde kullanılmış tır. Özellikle 1970 li yıllardan sonra enerji depolama sistemleri üzerinde yoğun olarak durulmuştur. Bu çalışmalar, üç yılda bir düzenlenen ve yedincisi 1997'de Japonya'da yapılan Uluslararası Isıl Enerji Depolama Konferanslarında sunulmuştur.

Isı enerjisi depolama; ısıtma, soğ utma ve iklimlendirme gibi ısı l uygulamalarda uygulanabilirliğı sayesinde büyük önem kazanan ileri bir teknoloji uygulamasıdır. Günümüzde Japonya, Çin, ABD, Kanada, Almanya, Belçika, Hollanda, İsveç, İsviçre, Finlandiya ve Fransa gibi değı şik ÷ lkelerde birkaç uygulama mevcuttur.

Almanya enerji kullanımından kaynaklanan CO2 emisyonu salınımında 2005 yılı ö ncesinde yaklaşık %25'lik bir azalma sağlamış tır. Bu başarılı düş üş ü, içerisinde TED uygulamaları da olan ve alternatif enerji teknolojilerini destekleyen ciddi programlar ile sağlamış lardır. Almanya'nın ş imdiki uzun vadeli hedefi ise 2050 yılına kadar fosil yakıtlardaki kullanımı %50 oranında azaltmaktır. Almanya'da ş u an 8 adet büyük ölçekli, güneş enerjisi destekli farklı Isı Enerjisi Depolama sistemleri kullanan yerleş im merkezleri inşa edilmiştir (Wille and Lottner, 2006). Alman Federal Cumhuriyeti Parlamento Binası Reichstag, ş u an kojenerasyon sisteminden atılan atık ısının akiferde depolanması ile ısı tılıp soğ utulmaktadır. Binalarda kullanılan Mikro Kapsüllenmiş Faz Değı ş tiren Maddeler ilk olarak Almanya'da tasarlanmış ve kullanımına baş lanmıştır.

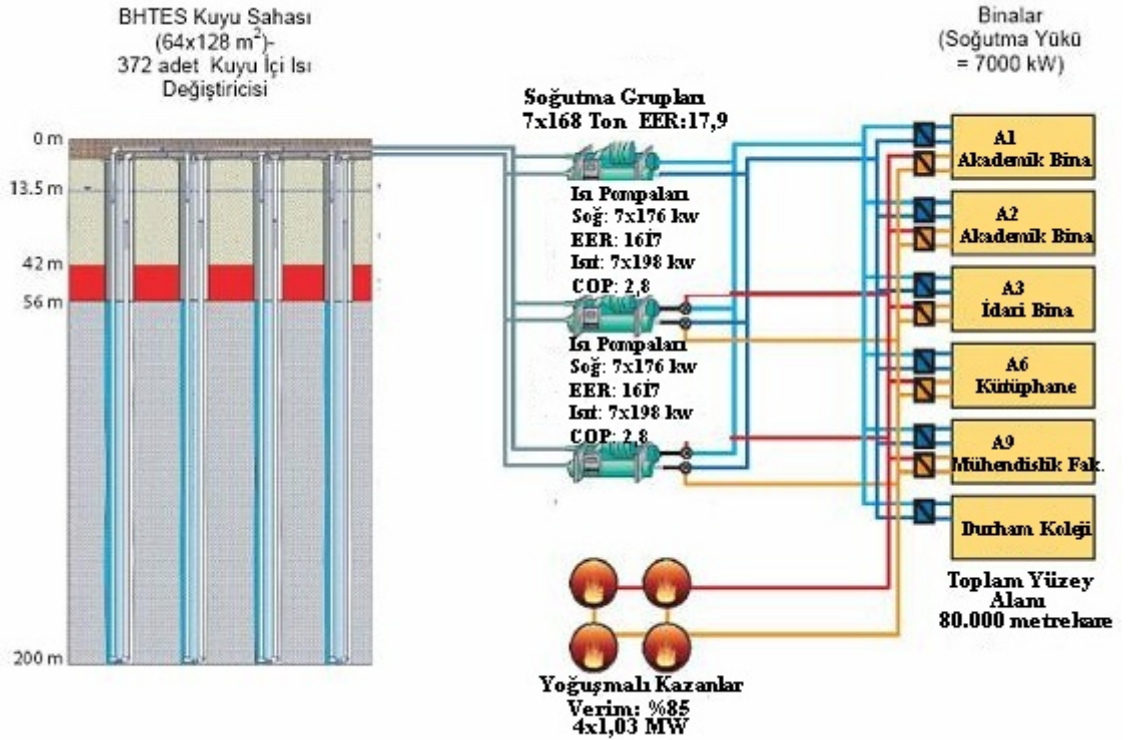
Hollanda Akifer Isı Enerjisi Depolamasında uygulama sayısı açısından dünya lideri konumundadır. 2006 yılı rakamlarına göre ÷ lkede yaklaşık 600 adet Akiferde Isı Enerjisi Depolama uygulaması bulunmaktadır (Snijders 2006). Bahsi geç en Akiferde Isı Enerjisi Depolama uygulamalarının %78'i konutlarda, %12'si sanayide ve %10'u da ziraat sektöründe yapılmış tır. Hollanda'daki büyük binalarda Akiferde Isı Enerjisi Depolama uygulaması artık standart bir seç enek haline gelmiştir. ÷ lke ç apında 2020 yılına kadar 15 PJ yada bir baş ka deyiş le 200.000.000 m³ doğ al gaz kullanımına eş değ er miktardaki enerji ihtiyacı Isı Enerjisi Depolanması uygulamaları ile karşı lanacaktır (Snijders and Van Aarssen, 2003).

İsveç'te ise 50 adet büyük ölçekli Akiferde Isı Enerjisi Depolama ve 300 adet Yer Kaynaklı Isı Pompası uygulaması ile 2.3 milyon ton/yıl CO₂ salınımlarında azalma sağlanmıştır. Bu rakam İsveç'in toplam yıllık CO₂ emisyonu salınımlarında %3.5'lük bir rakama denk gelmektedir.



Şekil 2.11: Akiferde Isı Enerjisi Depolamanın Şematik Gösterimi

Kanada dünyanın en büyük yer kaynaklı ısı pompası uygulamasına sahiptir. Sistem Ontario Üniversitesi Teknoloji Enstitüsünde olup, 200 metre derinliğinde 372 adet kuyu içermektedir (Beatty et al., 2006). Şekil 2.12'de gösterilen Kanada'daki en büyük ve Kuzey Amerika'daki ikinci en büyük jeotermal ısıtma/soğutma sisteminin kurulmasıyla 80000 m²'lik toplam yüzey alanı olan yapılardan, ASHRAE 90.1 Standardından gerekenden %30 daha aşağı enerji verimliliği amaçlanmıştır. Alberta Kanada'da bulunan Okitek kasabası Kuzey Amerika'daki ilk merkezi güneş enerjisi ile ısıtma sistemine ev sahipliği yapmaktadır (Wong et al., 2006). Sistem güneş enerjisinin yeraltındaki kanallar aracılığı ile depolanması ve depolanan bu enerjinin kış ayları boyunca bina ısıtmasında kullanılması prensinde dayanmaktadır. Bu dünyada şimdiye kadar yapılan, ısıtma yükünün %90'nın güneş enerjisinden karşılandığı ilk projedir. Bu uygulama sonucunda konut başına yılda 5 ton sera etkisine yol açan gazının atmosfere salınımı azaltılmıştır.



Şekil 2.12: Kanada Ontario Üniversitesi'nde Kurulan Sistemin Şematik Gösterimi

Şekil 2.12'den görüleceği üzere, sistem, esas itibarıyla, kuyu sahası (Kuyu İçi Isı Enerjisi Depolama Sistemi), soğutma grupları/ısı pompaları, yoğuşmalı kazanlar ve hava santrallerinden oluşmaktadır. Kampus binalarının toplam soğutma yükü 7000 kW'dır. Ontario Üniversitesi Yerleşkesindeki merkezi tesis, Kuyu İçi Isı Enerjisi Depolama Sistemi ile büyük ölçüde tüm yerleşke için ısıtma ve soğutmayı sağlamaktadır. Soğutulmuş su, her biri 90 ton olan 7 adet modülden oluşan soğutma gruplarından ve her biri 50 ton kapasitesinde olan 7 modülden oluşan iki set ısı pompalarıyla temin edilmektedir [38].

Soğutma grupları, enerjiyi, binalardan Kuyu İçi Isı Enerjisi Depolama Sistemine pompalamak için kullanılmakta olup, sadece soğutma modunda çalıştırılmaktadır (amaçları, ana soğutmadır). Diğer ısı pompası modülleri, soğutma yüküne yardımcı olmaktadır [11]. Soğutma gruplarında, Kanada'daki yüksek verimli cihazların ilk kullanımı olan Turbocor kompresörlerden yararlanılmıştır. Bu, son derece kompakt santrifüj kompresörlerde, manyetik yataklama vardır ve dakikadaki devir sayısı 40000'i aşmaktadır.

% 15 glikol/su karışımından oluşan ısı transfer akışkanı, 4" çapındaki polipropilenden yapılmış 150 km.'yi aşan boru hattı arasında (20 bar'da test edilmiş) dolaşmaktadır. Boru hattıyla, 7000 kW'lık kondens suyu jeotermal sahada dolaştırılmaktadır. Isı, yazın, jeotermal çevrimden toprağa verilmektedir. Kışın ise, ısı pompaları ters çalıştırılmakta ve ısı, kampüsün çoğuna 52 °C'lik düşük sıcaklık

hidronik ısıtmayı sağlamak için, topraktan çekilmektedir. Ek ısıtma, yoğuşmalı kazanlarla sağlanmaktadır [38].

% 30'luk glikol karışımı olan plakalı ısı değiştiriciler, ikincil tarafı kışın donmaya karşı korumaktadır. Isıtma ve soğutma, planlanan takvime ve çevre havası ayarlarına göre kontrol edilmektedir. Yer altında bulunan servis koridoru, jeotermal sahaya ring yapmakta ve merkezi tesisi her bir binada bulunan ayrı mekanik odalara bağlanmaktadır. Projenin genel mekanik düşüncesi, dış havalı ve dönüş hava karışımı merkezi hava ünitelerinin kullanılmasıdır. Sınıf binalarında, egzost havasından geri kazanılan ısıyla dış havayı ön ısıtmak için, hemen çatının dış yüzeyine yakın konulan enerji geri kazanım tekerlekleri bulunmaktadır. Laboratuvarlarda ise, hava kirlenmesi ana düşüncesi çerçevesinde, atık ısıdan yararlanmak için kapalı bir sistem kullanılmaktadır. Tekrar ısıtma serpantinleri olan VAV (değişken hacimli hava) uygulaması vardır [38].

Ontario Üniversitesi Yerleşkesindeki mekanik sistem için sadece bir kısmını oluşturmaktadır. Isıtma ve soğutma yükleri enerji verimli yapı tasarımıyla minimize edilmiştir. Binalar çok iyi yalıtılmış olup, duvarlar R-20 ve çatılar R-30, en yüksek yalıtım seviyesindedir. Geleneksel ısıtma /soğutma sistemlerine kıyasla, yüksek verimli HVAC ekipmanının geri ödeme süresinin 3-5 yıl ve kuyu sahasınınınkinin de 7.5 yıl olacağı tahmin edilmektedir [38].

ABD'de ise buz depolaması özellikle soğutma işleminden kaynaklanan enerji yükünün azaltılması amacı ile kullanılmaktadır. ABD'de bulunan ve iklimlendirmeye ihtiyaç duyan tüm binalarda buz depolaması uygulaması yapılırsa, şu anki enerji üretim ve iletim hatlarından %40 daha azına ihtiyaç duyulacağı tahmin edilmektedir (MacCracken, 2006). Ayrıca ABD New Jersey eyaletinde kurulu bulunan Richard Stockton Üniversitesi 400 kuyuluk büyük bir Yer Kaynaklı Isı pompası uygulamasına ev sahipliği yapmaktadır. Bu sistem hem ısıtma hem de soğutma amacı ile kullanılmaktadır. Bu uygulama ile yılda 2300 ton CO₂ salınımında azalma elde edilmiştir.

Japonya buz depolama teknolojisini, elektrik enerjisinde geçerli olan farklı saat-tarife uygulamasında faydalanmak için kullanmaktadır. 2001 yılı verilerine göre Japonya çapında 16.000 buz depolaması uygulaması bulunmaktadır (Paksoy 2003). Bu uygulamalar enerji verimliliğini %15 arttırdığı gibi, CO₂ salınımını %20 azaltmaktadır (Sakai 200).

2.10. Güneş Havuzunda Güneş Enerjisinin Depolanması

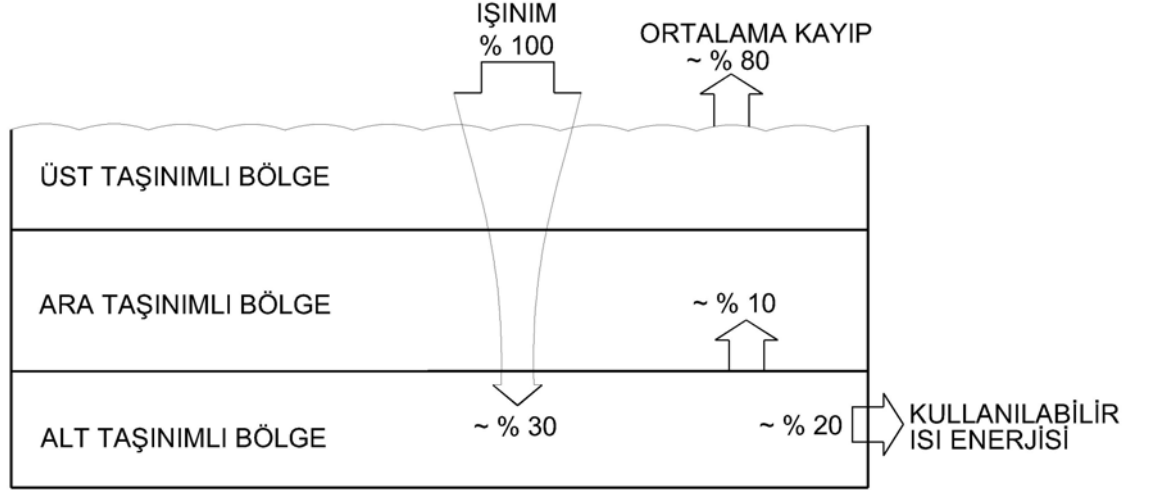
Güneş enerjisinin toplanması ve depolanması bakımından en uygun sistem, yüzeyine gelen güneş enerjisinin %20-30'unu toplayabilen güneş havuzlarıdır. Böyle bir toplayıcının bugün elde mevcut ısı değiştiriciler ve türbinler ile yapılmış bir çevrimde ısı kaynağı olarak kullanılması bile mümkündür. Güneş enerjisinin depolanması havuzun kendi içinde olmaktadır. Havuzun maliyeti oldukça düşüktür çünkü temel malzemeleri olan su, tuz ve yalıtıcı elemanlar her zaman doğadan bol ve ucuz olarak elde edilebilir. Güneş havuzlarının fiziği, atmosfere açık herhangi bir havuzda örneğin bir bahçe havuzunda güneş enerjisinin soğurulması ile meydana gelen olayların incelenmesi ile açıklanabilir. Böyle bir havuzun yüzeyine çarpan güneş ışınları kısmen yansiyacak, kısmen de su içinde ve havuz dibinde soğurulacaktır. Havuzun dibindeki soğurulmanın, bağıl olarak diğer kısımlardaki soğurulmadan yüksek olması, suyun dibe yakın kısımlarındaki sıcaklığın artmasına, dolayısıyla yoğunluğunun azalmasına neden olur. Dipten uzakta bulunan su zerrecikleri daha az enerji soğurduğundan sıcaklıkları dipteki su zerreciklerine göre daha düşük, yoğunlukları ise daha yüksek olacaktır. Yukarıda ağır, aşağıda hafif su tabakalarının bulunması bir kararsız denge durumu oluşturacaktır. Dipte soğurulmanın devam etmesi halinde ısı kaldırma kuvvetinin viskoz sürtünme ve atalet kuvvetlerini yenmesi sonucu, daha yoğun zerreciklerin aşağı yuvarlanması ile denge bozulacak ve taşınım ısı geçişi başlayacaktır. Bu taşınım ile olan ısı geçişi ise, zamana bağlı olarak havuz yüzeyinden devamlı bir ısı kaybına neden olacaktır. İşte, içerdiği akışkan yoğunluğunun derinlikle arttığı güneş havuzu, eğer doğru olarak tasarlanırsa, içinden çevreye taşınım yolu ile ısı kaybetmeyen bir havuz olacak ve böylece dibinde toplanan ısı enerjisi aynı yerde depolanmış olacaktır.

Güneş havuzlarında taşınım hareketini engelleyecek bir örtü ve ısı kaybına mani olacak bir yüzey elemanı olmaksızın, derinlikle artan sıcaklıktan dolayı azalan yoğunluğu dengelemek gerekir. Bu nedenle, su içinde, sıcaklığın artması ile çözülebilirlikleri artan tuzların oluşturacağı bir konsantrasyon gradyeni meydana getirilir. Böylece, havuzun dibinden yüzeyine doğru taşınım yolu ile olacak ısı geçişi, su içinde kolayca çözülebilen bu tuzların meydana getireceği konsantrasyon gradyeni ile önlenir.

Güneş havuzu genellikle, üst taşınımlı bölge, ara taşınımsız bölge ve alt taşınımlı bölge olmak üzere üç bölgeden meydana gelir. Alt taşınımlı bölge tuz konsantrasyonunun en fazla olduğu bölge olup, bir tuzluluk gradyeni içermez. Alt taşınımlı bölgenin üzerinde, bir yalıtıcı görevi yapan ve üst taşınımlı bölgeye doğru, azalan bir konsantrasyon gradyeni içeren ara taşınımsız bölge, güneş havuzunun en önemli kısmıdır. İçerdiği konsantrasyon gradyeninin yeterli miktarda büyük olmasıyla, bu bölgede taşınım olmayacak, dolayısıyla havuz dibinde soğurulan enerjinin alt taşınımlı bölgede depo edilmesini sağlayacaktır. Üst taşınımlı bölge genellikle tuzsuz su içeren kısım olup, kalınlığı, ara taşınımsız bölgede soğurulan güneş ışınımı miktarına bağlıdır. Bu bölgenin varlığı, güneş havuzunun ekonomikliği açısından önemlidir.

Güneş havuzlarının temel maddesi olan su, kızıl ötesi ışınımı geçirmeyen geçirmeyen bir akışkan olduğundan, güneş enerjisi spektrumunun, sadece görünür ışık

kısmı havuz dibine ulaşır ve orada soğurular. Güneş ışını şeklinde soğurulan ve alt taşınimli bölgede ısı olarak depolanan enerji, suyun zayıf iletim kabiliyeti, kızıl ötesi ışını geçirmeme özelliği nedenleriyle, ancak iletim yolu ile havuzdan kaçabilir. Bu da güneş havuzunun sadece bir toplayıcı değil aynı zamanda bir ısı toplayıcı olmasını sağlar.



Şekil 2.13: Güneş Havuzu Yapısı ve Isı Akışının Şematik Gösterimi

Şekil 2.13'de görüldüğü gibi, güneş enerjisinin güneş enerjisinin %20'sini düşük sıcaklıkta kullanılabilir enerji şekline çevirebilen güneş havuzundan bu enerji, alt taşınimli bölgeye yerleştirilecek bir ısı değiştirici ile çekilebilir. Isı değiştiricide, havuzdan ısıyı çekmek için ayrı bir akışkan dolaştırılır. Sıcak tuzlu suyun ısını çekmek için, havuz dışında bir ısı değiştiriciden geçirilmesi ve tekrar havuz dibine gönderilmesi mümkündür. Fakat bu kullanma, devrelerde korozyon ve tuz birikimlerine neden olacağından özel boru malzemesi ve pompalama tekniğini gerektirir.

Güneş havuzunun depolama kapasitesi, havuz altındaki zeminin ısı depolayıcı olarak kullanılması veya alt taşınimli bölgesinin büyümesi ile artar. Genellikle dip kayıplarına engel olmak için havuz zeminden yalıtıldığından, havuzun enerji depolama kapasitesi alt deponun kalınlığına bağlıdır. Alt taşınimli bölgenin büyümesi, havuz dibi ile yüzeyi arasında konsantrasyon farkına ve özellikle ışınım şiddetine bağlıdır. Işınım şiddetinin artması halinde alt taşınimli bölgenin daha da büyümesi, depolanacak enerji miktarını arttırmakla beraber, taşınımsız ara bölgenin küçülmesine ve bu bölgede taşınım hareketinin başlamasına sebep olabilir. Yalıtıcı bölgede, dengenin bozulup taşınım ile ısı geçişinin başlaması, sistemden sürekli ısı kaybı olmasına neden olacağından, depolanan fazla enerjinin bir kısmının belirli zaman aralıklarında havuzdan çekilmesi gerekir. Buna ilaveten, başlangıçta, yüzeyle dip arasında tesis edilecek konsantrasyon farkının, taşınımsız ara bölge için geçerli olan kararlılık teorisi yardımıyla, emniyetli tarafta kalınacak şekilde hesaplanması gerekir.

3. ISI ENERJİSİ DEPOLAMA SİSTEMİ TASARIMI

Isı depolama sistemlerinin tasarımında şu etmenler dikkate alınır:

- Isı depolama materyali birim kütle/hacminin ısı depolama kapasitesi
- Isı depolama sıcaklığı ve yöntemi
- Isı geri kazanma sıcaklığı ve yöntemi
- Isı depolama ve geri kazanma işlemleri için enerji gereksinimi
- Sıcaklık gradyenti
- Sistemdeki yapısal elemanların boyutlandırılması
- Isı deposu malzemesi, şekli, boyutları ve düzenlenmesi
- Depolama ünitesinin yalıtımı ve ısı kayıplarının kontrolü
- Depolanacak ısıyla ısıtılacak olan ortamın özellikleri
- Sistemin toplam maliyeti

Güneş enerjisi depolama sistemleri genel olarak aşağıdaki yapısal bileşenlerden oluşur. Bunlar:

- Isı toplama ünitesi (Güneş kolektörleri)
- Isı depolama ünitesi (Isı deposu)
- Isı değiştirici
- Depolanan ısının yararlanılacağı ortam
- Yardımcı enerji kaynağı
- Kontrol sistemi

Bir ısı depolama sisteminde bulunması gereken özellikler şunlardır:

- Isı depolama materyalinin birim kütle veya hacmi için ısı depolama kapasitesi yüksek olmalıdır.
- Isı depolama materyali çalışma sıcaklığı aralığında uygun özelliklere sahip olmalıdır.
- Isı depolama ve geri kazanma etkinliği ve hızı yüksek olmalıdır.
- Sistemde depolanan ısı bütünüyle geri kazanılabilmelidir.
- Depolama ünitesinin sıcaklığı tekdüze olmalıdır.
- Isı depolama ve geri kazanma etkinliğinde azalma olmaksızın, çok sayıda depolama ve geri kazanma çevrimi gerçekleştirilebilmelidir.
- Isı depolama materyali korozyif, toksik etkili ve yanıcı olmamalıdır.
- Sistem ucuz ve kullanım süresi uzun olmalıdır.

Ekonomik olarak kabul edilebilir bir sistemde, ısı depolama maliyeti düşük olmalıdır. Bu durum ısı depolama materyali maliyetinin düşük olması yanı sıra, depo ve ısı değiştirici maliyetlerinin de kabul edilebilir değerlerde olması ile sağlanabilir.

Depolama sisteminin kapasitesinin belirlenmesinde güneş ışınım enerjisi, gerekli ısı miktarı ve depolama için tüketilen enerji miktarı önemli etkenlerdir[39].

3.1. Duyulur Isı Enerjisi Depolamanın Uygulanabilirliği

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

Herhangi bir ısı depolama sisteminin uygulanabilirliği esas olarak bazı etmenlere bağlıdır. Bunlar; (Dinçer vd., 1996)

- Gereksinim duyulan ısı miktarı
- Depolanabilecek atık veya fazla ısı miktarı
- Isı depolama yöntemi
- Elektrik enerjisi bedeli
- Isıtılacak yapının tipi
- Isı depolama için gerekli alan
- İşletme maliyeti

Duyulur ısı depolama etkinliği aşağıdaki etmenlere bağlıdır.

- Isı depolama materyalinin özgül ısısı
- Isı depolama materyalinin yoğunluğu
- Isı depolama materyalinin iletkenliği
- Isı depolama sıcaklığı
- Depolama materyali ve depo arasındaki buhar basıncı
- Yüksek sıcaklıklarda materyalin kararlılığı
- Sistemin maliyeti

Duyulur ısı depolama yöntemiyle ısı depolamada yaygın olarak karşılaşılan genel sorunlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Isı depolama süresince, depolama sıcaklığı sürekli olarak yükseldiğinden çok fazla ısı kaybı oluşur.
- Isı geri kazanma sırasında, depolama sıcaklığı sürekli olarak azaldığından, sistemin ısı etkinliği azalır.
- Isı depolama ortam sıcaklığından daha yüksek sıcaklıkta gerçekleştiğinden, ısı deposunun yalıtım gereksinimi nedeniyle sistem maliyeti artar.

3.2. Isı Depolamada Isı Tutucu Materyaller

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

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

Suyun üstünlükleri yanında bazı olumsuz yanları da bulunmaktadır:

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

Güneş enerjisi depolama uygulamaları için dolgulu yatak şeklindeki ısı depolama üniteleri istenilen bazı üstünlüklere sahiptir Bunlar:

- Isı depolama materyalleri; toksik etkili, yanıcı ve pahalı değildir.
- Yüksek sıcaklıklarda ısı depolanabilir.
- Isı depolama etkinliği yüksektir.
- Isı taşıyıcı akışkan olarak hava kullanıldığında; donma aşırı ısınma ve korozyon sorunları yoktur.
- Katı materyaller ve hava arasında ısı geçiş katsayısı yüksektir.
- Sistemde ısı değiştirgeci kullanılmasına gerek kalmayabilir.
- Hava akımı olmadığından dolgudan daha az miktarda ısı kaybı oluşur.

Bununla birlikte, ısı depolama amacıyla dolgulu yatakların kullanımında aşağıdaki sorunlarla karşılaşmaktadır:

- Özel düzenlemeler yapılmadıkça, ısı depolama ve geri kazanma işlemlerini eş zamanlı olarak gerçekleştirmek mümkün değildir.
- Basınç düşmesinin fazla olması nedeniyle, hava dolaşımı sağlamak için maliyet artabilir.
- Belirli koşullarda yoğunlaşma, toz ve küf birikimi oluşabilir.

Duyulur ısı enerjisi depolama sistemlerinin en önemli problemlerinden biri düşük verime sahip olmasıdır. Bu yüzden, duyulur ısı enerji depolama sistemlerinin işletimindeki tersinmezlikleri azaltacak tasarım ve işletim parametreleri belirlenmelidir.

Bu amaçla, güneş enerjisi ile çalışan ısı enerjisi depolama sistemindeki tersinmezliklerin depolama zamanı ile değişiminin incelenmesi gerekir. Bunun yanı sıra, sistemdeki tersinmezlikleri minimum yapan optimum şartlar belirlenmelidir.

Anadolu Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünde yürütülen çalışmada, 1990 yılında ilk araştırmasına başladığı ‘Güneş Enerjisinin ve Atık Isının Depolanmasında Boraks Kullanımı’ (Yörükoğulları E., vd.) proje 2000’li yıllarda, daha sonra doktora çalışması şeklinde devam etmiştir.(Bircan H.) Projenin amacı, atık ısının ve güneş enerjisinin boraksta depolanması esasına dayanmaktadır. Bu çalışmada güneş enerjisini depolamak için boraksın seçilmesinin sebebi, boraks rezervinin ülkemizde fazlaca bulunmasıdır. Boraks aynı zamanda Türkiye ekonomisi için önemli bir hammaddedir. Ülkemizde teknolojik bir ürün olarak değer bulmayan boraksın, bu projeye ülke ekonomisinde teknolojik ihraç ürünü olarak yer alabileceği gösterilmiştir. Boraksın, en iyi ısı depolama malzemesi suya göre 2.4, granite göre de 4.7 kat daha fazla enerji depolandığı bu çalışma neticesinde gözlemlenmiştir. Güneş enerjisini boraksta depolamak ve bunu ısıtma ve soğutma amaçlı klimalarda kullanılması öncelikli amaç olarak hedeflenmiştir. Boraksın kullanılmasının bir diğer önemli avantajı da doğal kaynak olması ve çevreye zararlı olmamasıdır. Yürütülen çalışmada Türkiye’nin güneş enerjisi ve bor bakımından şanslı bir ülke olması neticesinde projelerinde ısı verilen boraksın yapısını bozundurup suyun açığa çıkmasının sağlanması, daha sonra da tekrar suyla susuz boraksı reaksiyona girmesi sonucunda ortaya çıkan ısının bu amaçla kullanılacak malzemelerde depolanması sağlanmıştır.

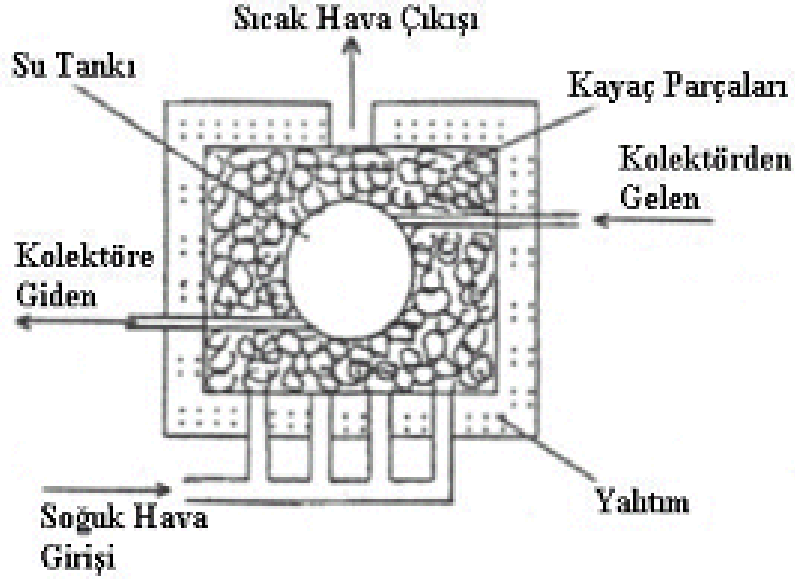
Güneş etrafında dönen dokuz gezegenden biri olan yerküre yaklaşık 4.6 milyar yaşındadır ve üç ana kısımdan oluşur: çekirdek, manto ve kabuk. Kabuk ve üst manto, altlarındaki mantonun üzerinde yavaşça hareket eden kıta ve okyanus levhalarını oluşturur. Yerkürenin merkezine gidildikçe sıcaklık ve basınç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

Yerkürede, ergimiş magmadan oluşan magmatik kayalar, en çok rastlanan kayalar türleridir.

Volkanik faaliyet farklı türden kayalar ve lav üretir. Kayalar, bir veya birden fazla mineralin doğal olarak bir araya gelmesiyle oluşur. Bazı kayalar, örneğin saf kuvarsit ve mermer sadece bir mineral içerir. Bununla birlikte kayaların çoğunluğu birden fazla mineralden meydana gelir. Mineraller doğal olarak oluşan, belirli bir kimyasal bileşime ve atomik düzene sahip inorganik katılardır. Çok rastlanan iki kayadan biri granit diğeri bazalttır. Magmatik kayalar derinlerde, yerkabuğunun içindeki ve üst mantodaki ergimiş magmanın soğuması ve katılaşması ile meydana gelmiştir. Sokulum ve püskürük kayalar olmak üzere iki türü vardır. Kayalar ile ısı depolama ev ısıtmada pratik bir yöntemdir. Su yerine kayalar kullanmanın en önemli yanı,

100°C üzerindeki sıcaklıklarda depolamanın kolaylıkla yapılabilmesidir. Kötü yarı hacim olarak fazla yer kaplamasıdır.

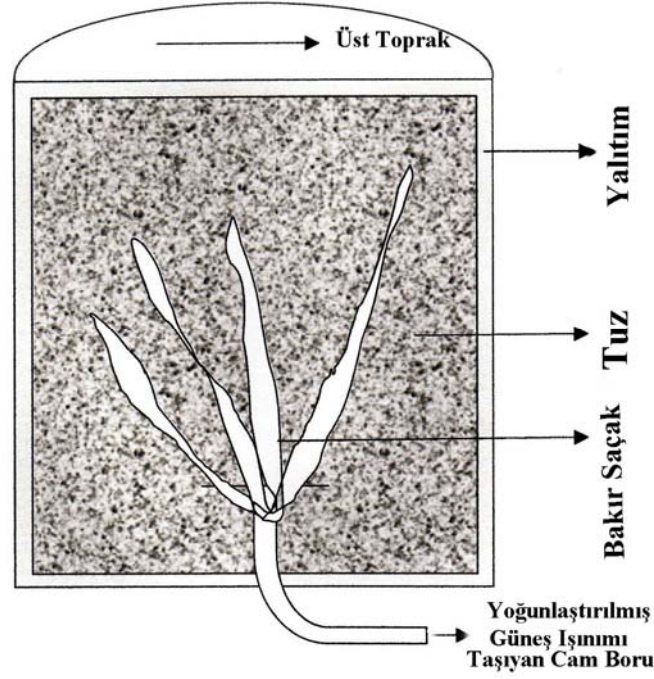
Kayaç ve su ile ısı depolamanın birçok yöntemi vardır. Örneğin ısı pompalarıyla birleştirilerek ısı transfer verimi yükseltilir veya daha karmaşık ısı değiştiricilerle birlikte kullanılabilir. Su ve kayacın ortak kullanıldığı en uygun tasarımlardan bir Harry Thomasson yöntemidir.[Dinçer,2002]



Şekil 3.1: Harry Thomasson Yöntemi ile Enerji Depolama [Dinçer, 2002]

Bu sistemde kolektörlerde ısınan su depoya üstten verilir, ısı verip soğuyan su dibe çöker ve buradan tekrar kolektörlere gider. Tank, ısıtılacak hacme verilecek havanın aralarından geçtiği kayalarla çevrilidir. Kayalar ve su dolu tank yalıtılmış duvarlarla sarılmıştır. Bu sistemin üstünlüğü suyun ısı kapasitesinin büyüklüğü ve hava ile temas yüzeyini artıran kayaların bir arada kullanılmasıdır .

Günümüzde bir çok fırında ısı depolamak için tuz kullanılmaktadır. Tuz doğada bol ve ucuz olarak bulunan bir madde olup ısı tutma kapasitesi de yüksektir. Güneş enerjisi tamamen ısıya dönüşerek bakır tel gibi ısı iletkenliği yüksek kanallar vasıtasıyla tuz gibi ısı tutma kapasitesi yüksek bir depoda ısı enerjisi olarak birikir.



Şekil 3.2: Güneş Enerjisini Tuz Kullanarak Yeraltında Depolama

Bazalt taşını ısı depolama malzemesi olarak kullanılabilceği fikri ilk olarak, "Isıya dayalı terapi" haberi ile oluşmuştur. Isıya dayalı terapide ısıtılmış bazalt (volkanik) taşlarla yapılan masaj; beden derinliklerine bazalt taşında depolanan ısının nüfuz etmesi prensibine dayanmaktadır. Bazalt taşının ısıyı uzun süre koruyabildiği ve iletebildiği bu ısıya dayalı terapi haberi sayesinde dikkat çekmiştir. Türkiye'nin İzmir, Diyarbakır, Uşak, Gediz, Muş, Bitlis, İskenderun, Boyabat, Eskişehir ve Van gibi il ve ilçelerinde bulunan bazalt taşı, duyulur ısı depolama uygulamalarında çakıl taşı gibi kullanılabilir düşüncesi ile bu çalışmada bazalt taşının ısı ve mekanik özelliklerinin saptanması üzerinde durulmuştur.

7x5x1.5 cm³ boyutundaki bazalt taşının ısı iletim katsayısı, kızdırılmış tel anemometresi(Hot-wire) yönteminden yararlanarak geliştirilmiş "Shootherm QTM-D2" cihazı vasıtası ile ölçülür. "Shootherm QTM-D2" cihazının ölçme yönteminde ısıtılmış tel, ısı iletim katsayısı bilinen yalıtkan bir malzeme ile ısı iletim katsayısı ölçülmek istenen malzeme arasına yerleştirilir. Bu durumda ısı iletim katsayısı

$$k=F \cdot \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{t_2}{t_1}\right)}{T_2 - T_1} - H$$

formülüne göre hesaplanır.

Her standart QTM probunun farklı F ve H sabitleri vardır. Bu sabitler bilindiğinde formülden ısı iletim katsayısı cihaz içindeki mikroişlemci ile hesaplanır. 60 sn. içinde malzemenin ısı iletim katsayısı dijital olarak cihaz tarafından hesaplanır. Cihaz 0,020 ile 1,0 W/m⁰K aralığında ısı iletim katsayısını \pm %5 hassasiyetle ölçer [14].



Şekil 3.3: Shotherm QTM-D2 Cihazı

Bazalt taşının ısı iletim katsayısı da Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Isı Laboratuvarı'nda bulunan şekil 3.3'de görülen "Shotherm QTM-D2" cihazı ile ölçülmüştür. %3.2 oranındaki hata payı da göz önüne alınarak bazalt taşının ısı iletim katsayısı 1.513 W/m⁰K olarak saptanmıştır, (Tablo 3.1) Bazalt taşının ısı iletim katsayısı genelde 1.6 ile 1.9 W/m⁰K arasında verilmektedir, [PP]. Bu çalışma kullanılan bazalt taşının ısı iletim katsayısı, daha önce yapılan çalışmalarda bulunan değerlere yakınlık göstermektedir.

Tablo 3.1: Bazalt Taşının 300 ⁰K Sıcaklıktaki Isıl Özellikleri

Yoğunluk (kg/m ³)	Isı İletim Katsayısı (W/mK)	Özgül Isı (J/kg.K)	Isı Kapasitesi (10 ⁶ J/m ³ K)
2800	1.513	1500	4.20

Tablo 3.1'de görüldüğü üzere bazalt taşının ısı depolama özelliğinin yüksek olduğu görülmektedir. Türkiye 'de bazalt taşı potansiyeli olup, döşeme malzemesi ve yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bazalt taşı da çakıl taşı gibi depolama malzemesi olarak kullanılır. Harry Thomasson Yönteminde enerji depolamada kayaç parçaları olarak veya hava akışkanlı güneş kolektörlerinde çakıl taşı gibi bazalt taşının kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

3.3 Isı Enerjisi Depolama Tankı Tasarımı

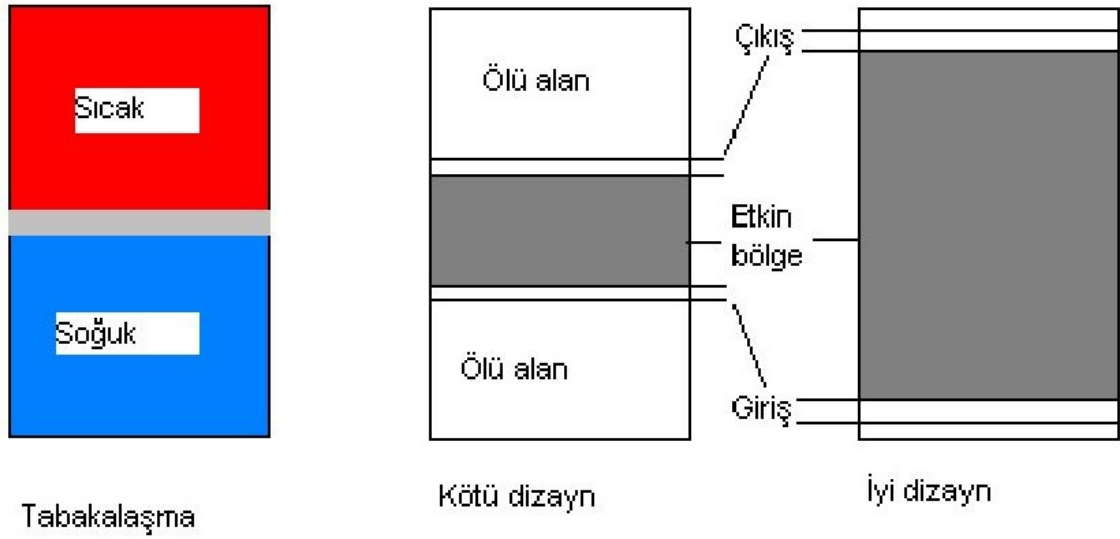
Bir DIED sisteminde depolama elemanı olarak kullanılan tank, hem depolama elemanını, hem de ısı enerjisini tutmak durumundadır. Katı depolama elemanlarının ısı kontrolü, sıvı depolama elemanlarına oranla kolaydır. Depolama elemanının depolama yeteneği, özgül ısı değeri ile bağıntılıdır. DIED uygulamasında depolama elemanının yararlı olabilmesi için ucuz ve özgül ısılarının yüksek olması gerekir. Diğer önemli özellik ise, ısının hissedildiği ve verilebildiği değer aralığıdır. Bu karakteristikler ısı transferinin fonksiyonudur. Bu yüzden, hem yüksek ısı kapasitesi hem de iyi ısı iletim özelliği olan demir ideal depolama elemanıdır. Depodaki ısının uzun süre muhafaza edilmesi isteniyorsa, deponun izolasyonu çok iyi yapılmalıdır. İzolasyon da kullanılacak malzemenin kalınlığı, niteliği çok önemlidir. Dış hava şartlarında, yada toprak altında kullanılacak izolasyon malzemesinin su buharı difüzyon direnci sıfır olmalı, su geçirmemelidir. Poliüretan, elastomerik kauçuk tarzı malzemeler kullanılabilir. Toprak altında depolama yapılacaksa kullanılacak malzemenin organik esaslı olmaması toprak altında özelliği kaybetmemesi de çok önemlidir.

Isı depolama tankı, iletim hattı koşullarına göre, Isı depolama sisteminin verimliliğini belirlemek açısından ve konumlandırılacağı yerin tanıdığı imkanlar veya üretim olanaklarına göre belirlenmelidir.

Isı depolama sistemi, sıcak suyun aktarıldığı iletim hattı ile irtibatlandırılmalıdır. Isı depolama tankının atmosferik yada basınçlı olarak tasarlanmasında iletim hattında taşınan suyun sıcaklığı ve statik basıncı beraber etkili olmaktadır. İletim hattı statik basıncının 7 bar civarında olduğu ve iletim hattı gidiş su sıcaklığının 100 °C'nin altında olduğu sistemlerde Isı Depolama Tankının atmosferik olarak tasarlanması gerekmektedir. İletim hattı gidiş suyu sıcaklığının 100 °C'nin üstünde olduğu sıcaklıklarda Isı Depolama Tankının basınçlı olarak tasarlanması gerekmektedir. Deponun atmosferik olmasını gerektiren şartlar varsa deponun tasarlanmasında dikey petrol veya su depolama tanklarının standartları kullanılmalıdır.

Alan/hacim oranını küçültmek için ısı depolama tankının geometrisinin en uygun küresel olarak tasarlanması gerekmektedir. Hem üretim hem de işletme açısından beraber ele alındığı durumlarda ısı depolama tankı geometrisinin silindirik olması tercih edilir. Silindirik geometri tercih edildiğinde alan/hacim oranını küçültmek için yükseklik/çap oranı 1:1 seçilebilir. İşletim ve görsel açıdan ele alındığında yükseklik/çap oranının 2:1'e yakın seçilmesi uygun olmaktadır. Isı depolama tankı içinde ayırıcı sıcaklık katmanının kalınlığı sabit olmaya eğilimlidir. Yükseklik/çap oranının yüksek olduğu uzun depoda ayırıcı sıcaklık katman hacmi yükseklik/çap oranının düşük olduğu enine geniş depodaki ayırıcı sıcaklık katman hacmine göre nispeten düşük değerde olacaktır. Böylelikle sabit hacimdeki depolayıcı akışkanda daha çok ısı enerjisi depolanabilecektir. Ayırıcı sıcaklık katman hacminin düşük hacimde olması için normal şartlarda 1,5 değerinden daha büyük yükseklik/çap oranı tercih edilmelidir. Eğer ısı depolama alt ve üst bölümünde birden çok yayıcı kullanılıyorsa 0,8 değerine kadar düşük yükseklik/çap oranı kullanılabilir.

Isı enerjisi depolayıcı sistemi depolayıcı akışkanın su olduğu katmanlaşmalı duyulur ısı depolama sistemine göre tasarlanır. Suyun termodinamik özellikleri nedeniyle ısındıkça yoğunluğu azalmaktadır. Böylelikle sıcak su, fiziksel özelliğinden gelen doğal davranışla nispeten soğuk suyun üstündeki katmanlarda yerini kendiliğinden bulur. Sıcaklıkları doğrultusunda su hacimlerinin konumunu bulmaları ile sıcaklık katmanlaşması oluşmaktadır. Suyun yoğunluğu ve ısıl genleşme katsayısından dolayı ısı yayımının yüksek olması ısı katmanlaşmasının oluşmasına katkı sağlamaktadır. Isıl enerji depolayıcı su ortamının optimum şekilde kullanılmasında sıcaklık katmanlaşmasının büyük payı vardır. Ancak, su ortamında iyi bir sıcaklık katmanlaşmasının oluşması kolay değildir. Bir 'ısı veya akış etkisi' sıcaklık katmanlaşmasında karışım gibi bozucu etki yapabilmektedir, bu yüzden sıcaklık katmanlaşmasının sağlanması için tüm ısıl ve akış etkilerinin sıcaklık katmanlaşmasını sağlayacak şekilde gerçekleşmesi gerekmektedir. Isı depolama tankı içindeki farklı sıcaklıktaki suyun karışımını yayıcıların dikkatli tasarımı ile önenebilir. Isı depolama tankı içindeki farklı sıcaklıkları ayırmanın bir diğer yolu ise ayırıcı zar malzemenin kullanılmasıdır. Ayrıca zar malzeme farklı sıcaklıktaki suyun birbirine karışmamasına yardımcı olsa da zar malzemenin bakım ihtiyacının, dayanıklılığının ve maliyetinin yüksek olmasından dolayı bu uygulama tercih edilmemektedir.



Şekil 3.4: Akışkanın Giriş ve Çıkış Pozisyonuna Bağlı Tabakalaşma Tankı Tasarımı (Shimizu ve Fujita, 1985)

Şekil 3.4.'te ısıl tabakalaşma, iyi ve kötü dizayn edilmiş tabakalaşma tankları görülmektedir. Isıl tabakalaşmayı kullanan depolama tankları (su tankları) enerjinin kısa süreli olarak korunması için geniş ölçüde kullanılmakta olan etkin sistemlerdir. Su tanklarının etkinliği üzerinde tank içindeki stratifikasyon önemli bir rol oynamaktadır. Bu yöntem özellikle güneş enerjisi sistemleri ve atık ısının değerlendirilmesi uygulamalarında kullanılmaktadır ((Dharuman vd.,2006),

Isı depolama tankı üç farklı şekilde iletim hattına bağlanabilir. Depo, iletim hattına atmosferik tank olarak direkt bağlanabileceği gibi pompa ve vana sistemleri kullanılarak basınçlı tank olarak da bağlanabilmektedir. Diğer bir uygulamaya ise ısı depolama sistemini iletim hattından ayıran bir ısı değiştiricisinin olduğu durumdur. Bu şekilde ısı depolama tankı da atmosferik olarak tasarlanabilir. Atmosferik ısı depolama tankı genişleme deposu görevi gördüğünden dolayı iletim hattında ilave bir genişleme deposuna gerek yoktur.

Isı depolama tankı yatay veya dikey olarak kurulabilir. Isı enerjisi verimliliği dikkate alındığında dikey depo kullanılması en iyisidir. Eğer ısı depolama tankının kurulumunda yer sıkıntısı varsa veya deponun dikey olarak imal edilmesi mümkün değilse ısı depolama tankı yatay olarak tasarlanmalıdır.

Isı depolama tankında sıcak su ile düşük sıcaklıktaki su arasında iyi bir sıcaklık katmanlaşmasının sağlanması ve farklı sıcaklıktaki suyun birbirine karışmaması için ısı depolama tankının alt ve üst giriş-çıkış noktalarında yayıcılar kullanılır. Yayıcı tasarımı depoya su giriş-çıkış yönlerinin simetrik, hızların da olabildiğince düşük olmasına özen gösterilmelidir. Tasarıma göre değişiklik gösterse de depo giriş-çıkış su hızları 0,02-0,2 m/s arasında bir hızda seçilebilir.

Isı depolama tankı tasarımında koşullar değerlendirildiğinde depolayıcı akışkanın su olduğu sıcaklık katmanlaşmalı duyulur ısı depolama sistemine göre yapılmasının uygun olduğu görülmüştür. Isı depolama sistemine etki eden etkenler değerlendirildiğinde ideal ısı depolama tankının özellikleri tablo 3.2'de gösterilmektedir.

Tablo 3.2: Isı Depolama Tankı Tasarım Etkenlerine Göre İdeal Seçim

Tasarım Etkeni	Yapılan Seçim/Açıklama
Isı Enerjisi Depolayıcı Ortam	Sıcaklık Katmanlaşmalı Duyulur Isı Depolama Sistemi
Bağlantı Şekli	Isı Değiştirgeçli Bağlantı
Isı Depolama Tankı Türü	Atmosferik Isı Depolama Tankı
Geometri	Silindirik Tank
Yönü	Dikey Depo
Tank Sayısı	Isı Depolama Kapasitesine Göre Belirlenir
Yayıcı	CFD Analizleri Sunucuna Göre Belirlenir
Yalıtım	Isı Enerjisi Muhafaza Süresine Göre Hesaplanır

3.3.1. Isı Depolama Tankı Yalıtımı

Yalıtım, ısı depolama tankında depolanan ısı enerjisinin muhafaza edileceği süreyi belirlemektedir. Isı depolama sistemi günlük, haftalık vb. zaman dilimleri için belirlenebilmektedir. Kullanım yöntemi belirlendikten sonra ısı depolama tankının ısı depolama süresi göz önünde bulundurularak yalıtım kalınlığının belirlenmesi gerekmektedir.

3.3.2. Isı Depolama Tankının Korozyondan Korunması

Depolayıcı akışkanın su olması durumunda düşük oksijen içeren su kalitesi sağlandığında deponun suyla temas eden bölümlerinde normal şartlarda korozyon görülmez. Fakat depolama amaçlı olarak düşük oksijen içeren su kullanılsa bile korozyon problemi ile karşılaşmamak için ısı depolama tankının iç yüzeyinin kaplanması gerekmektedir. Isı depolama tankı içindeki ısıl değişkenlikten dolayı özellikle deponun en üst bölümlerinde kaplama metal yüzeylerden kalkabilmektedir. Isı depolama tanklarının alt bölümlerinde korozyon ihtimali söz konusu olduğundan dolayı büyük boyutlu ısı depolama tanklarında kamera kullanımına veya denetleme ve tamir ekibinin depo iç bölmesine girmesine imkan sağlayacak şekilde giriş deliğinin olmasına tasarım aşamasında dikkat edilmelidir.

Isı depolama tankı içinde korozyonu denetlemenin yolu depo içerisine tellerle metal parçalar sarkıtılıp belirli aralıklarda bu metal parçaların kontrol edilmesiyle gerçekleşir. Fakat tek başına metal parçalarla denetimin yapılması depo içerisinde korozyonun olmasına karşı uyarı göstermemektedir.

Isı depolama tankının su ile temas etmeyen üst bölmesinin havadaki oksijen ve su buharıyla temas etmesi ile oluşabilecek korozyondan korunması için etkisiz bir buhar veya azot tabakası bu bölümde oluşturulur. Buhar tabakasının çökme ihtimaline karşı azot tabakası (battaniyeleme) tercih edilmelidir.

Hava şartlarından ısı depolama tankının korunması, ucuz alüminyum kaplama ile sağlanabileceği gibi pahalı mimari tasarımlar da kullanılabilir. Koruma kaplamaları ısı depolama tankına hafif çelik yapılarla monte edilebilir.

3.3.3. Basınçlı Kap Tasarımı

Basınçlı kap tasarımı yapılacağı zaman aşağıdaki tasarım ölçütlerinin öncelikle belirlenmesi gerekmektedir.

1. İşletme sıcaklığı ve basıncı
2. Kap boyutları
3. Cidar malzemesi
4. Başlık türü
5. Boru bağlantı ağız boyutları

Yukarıdaki tasarım ölçütlerinin belirlenmesinden sonra çalışma şartlarına göre etkiyen kuvvetlerin tanımlanması gerekmektedir ve uluslararası kodlar ve regülasyonların kısıtlamaları göz önünde bulundurularak analitik yöntemlerle basınçlı kap tasarımı gerçekleştirilir. Isı depolama tankı ve yayıcı malzemesi metal kullanılması durumunda St₃₇ kullanılabilir.

3.3.3.1 İç Basınç Altındaki Isı Depolama Tankının Et Kalınlığı

İç basınç altındaki basınçlı kapların tasarımında et kalınlığını belirlemek için denklem 3.1. kullanılır.

$$t_g = \frac{P_t R_s}{\sigma_{em} \cdot E - 0,6 P_t} \quad (3.1)$$

Emniyet Katsayısı K=3,3 olarak alınmıştır. Buna izin verilen gerilme değeri $\sigma_{em} = 162,4 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Çift taraflı yapılmış alın kaynaklı bağlantı için kaynak verim katsayısı E=0,85 olarak alınır.

Tablo 3.3: Bazı Depolama Malzemelerinin 300 °K Sıcaklıktaki Özellikleri

Malzeme	Yoğunluk (kg/m ³)	Isı İletim Katsayısı (W/mK)	Özgül Isı (J/kg.K)	Isı Kapasitesi (10 ⁶ J/m ³ K)
Oğun	721	0.159	1260	0.91
Beton	1600	0.79	840	1.34
Ateş tuğlası	1920	0.90	790	1.52
Cam	2710	0.76	837	2.27
Alüminyum	2702	237.000	903	2.44
Karbon Çeliği (Mn≤%1, Si≤%0.1)	7854	60.500	434	3.41
Saf Demir	7870	80.200	447	3.52

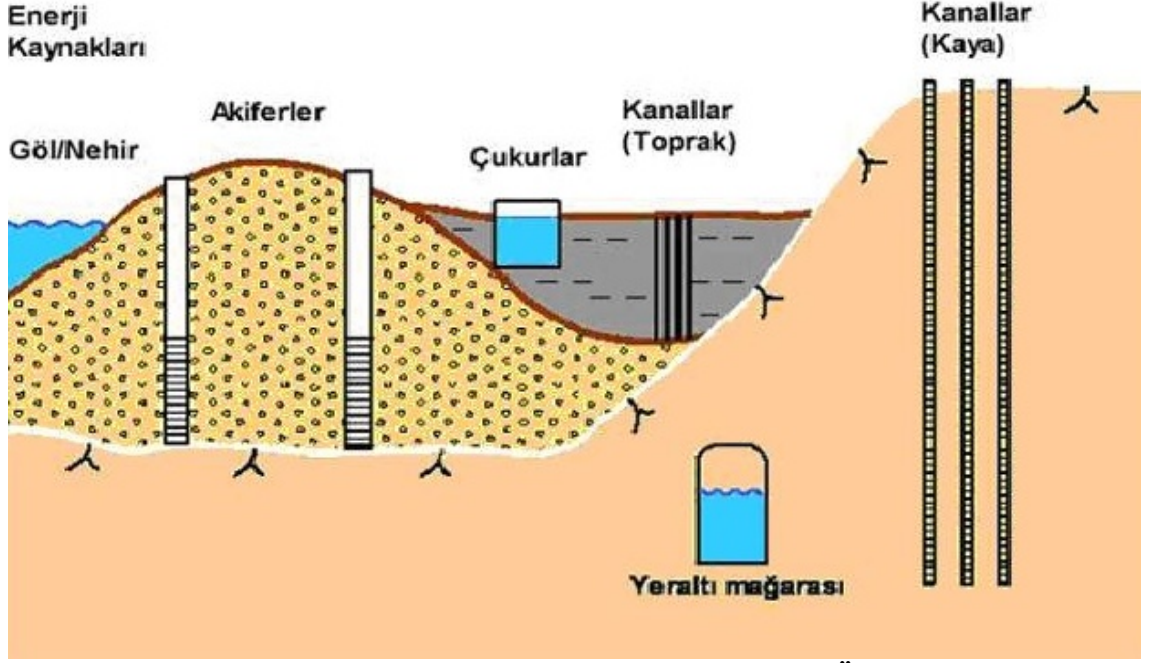
3.4. Isı Depolama Sisteminde Bulunması Gereken Önemli Özellikler

Isı depolama yöntemi seçimi esas olarak; ısı depolama süresi, ekonomik uygulanabilirlik ve işletme koşullarına bağlıdır. Herhangi bir uygulama için ısı depolama yönteminin belirlenmesi, ısı depolamanın etkinlik ve ekonomik olması sistemin tasarımına bağlıdır. Genel olarak, birim hacimdeki iç enerji değişiminin fazla olduğu ısı depolama materyallerinin kullanılması durumunda, ısı depolama için gerekli hacim azalır. Bir ısı depolama sisteminde bulunması gereken özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir [Özonur, 2004]

- Isı depolama materyalinin birim kütle veya hacmi için ısı depolama kapasitesi yüksek olmalıdır.
- Isı depolama materyali çalışma sıcaklığı aralığında uygun özelliklere sahip olmalıdır.
- Sistemde depolanan ısı bütünüyle geri kazanılabilmelidir.
- Isı depolama ve geri kazanma etkinliğinde azalma olmaksızın, çok sayıda depolama ve geri kazanma çevrimi gerçekleştirilebilmelidir.
- Isı depolama materyali korozif, toksik etkili ve yanıcı özellikte olmamalıdır.
- Sistem ucuz ve kullanım süresi uzun olmalıdır.

3.5. Güneş Enerjisi Takviyeli Yeraltında Mevsimlik Isı Enerjisi Depolanması

Isı Enerjisi Depolanması yer altında gerçekleştirildiğinde Yeraltında Isı Enerjisi Depolanması (YIED) adını alır. Yer altı özellikle ısı enerjisi elde edilmesi ve depolanması için çok uygundur. Toprak sıcaklık değerlerinin kış ayları boyunca dış hava sıcaklığından yüksek olması ısı enerjisinin depolanması yönünden önemli bir avantaj oluşturmaktadır. Bu durumda yeraltında ısı depolamada, yer üstüne göre daha az yalıtım yapılmasına olanak sağlar. Isı pompası ile beraber kullanıldığı zaman Yer Kaynaklı Isı Pompası (YKIP) adını alır. YIED uygulaması için pek çok teknik geliştirilmiştir (Anderson ve ark., 2000; Anderson, 1997). YIED teknikleriyle enerji tasarruf edilerek daha verimli kullanılır. Bu teknikler, klasik ısıtma/soğutma sistemlerine göre çevreyle daha uyumludur. Dünyada pek çok ülkede YIED tekniklerinin uygulamaları ve gelişimleri için araştırmalar devam etmekte; ve Uluslar arası Enerji Ajansı'nın çalışmalarıyla giderek yaygınlaşmaktadır (Nordell ve Sehlberg, 1994; Nordell, 1997; Nordell, 2000). YIED teknikleri deponun kullanım amacına ve depolama ortamına göre sınıflandırılır.



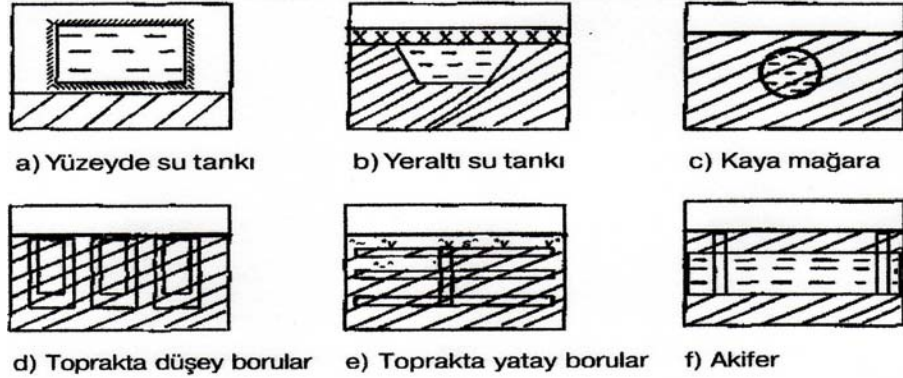
**Şekil 3.5: Yer Altında Isı Enerjisi Depolanması Örnekleri
(Anderson ve arkadaşları 2003)**

Mevsimlik depolama yaz aylarında toplanan güneş enerjisinin kış aylarında kullanılmak üzere depolanması tekniğidir. Bu sistemde mevsimlik depo olarak farklı geometri de ve fiziksel özelliklere sahip depolar kullanılabilir. Prensipde mevsimlik depo kullanan ısıtma sistemlerinin şekli, güneş enerjisi kullanılan sistemlerden çok farklı değildir. Temel fark günlük depo yerine mevsimlik depo kullanılmasıdır. Mevsimlik depo sisteminde kullanılan elemanlar daha büyük boyutlu olup maliyetler daha fazladır. Yaz aylarında güneş kolektörlerinden elde edilen ısı enerjisi sürekli olarak depoya aktarılır. Depolanan enerji konutun ısı ihtiyacının olduğu aylarda depodan çekilir. Deponun enerjisi konutun mahal iç sıcaklığını istenilen seviyede tutmaya, yetmediği zamanlarda bir ısıtıcı da takviye olarak devreye girer. Kullanım sıcak suyu ihtiyacı karşılamada da aynı şekilde bu mevsimlik depolamalı güneş enerjisi sisteminden yararlanır.

Isıl enerji kapasitesi depo hacmi ile, enerji kayıpları yüzeyler ve yalıtımla alakalı olduğu için depo hacmi arttıkça depolama verimi de yükselir. Aynı zamanda depo hacmi arttıkça bu tür sistemlerde birim maliyet de azalır.

Güneş enerjisinin mevsimlik depolanmasında, depolama hacmi olarak üç yer söz konusudur.

- Su depoları veya yer altı mağaraları
- Borulu toprak depolaması(yatay ve düşey ısı değiştirici borular)
- Akiferler



Şekil 3.6: Yeraltında Isı Enerjisi Depolama Çeşitleri

Depolama ortamı sadece su olduğunda; kaya oyuğu ve çukur depolaması yapılır. Depolama ortamı olarak hem toprağın, hem de suyun kullanılması halinde Akiferde Isı Enerjisi Depolama Sisteminde gerçekleştirilir. Depolama ortamı yeraltındaki jeolojik formasyon olduğunda Kuyularda Isı Enerjisi Depolaması yapılır. Sondajla açılan düşey veya yatay yer altı kuyusuna yerleştirilen uygun boru sisteminde ısı taşıyıcı akışkan dolaştırılarak ısı enerjisi depolaması yapılır. Yer Altında Isı Enerjisi Depolanması teknikleri içinde uygulamalar en çok, Akiferde Isı Enerjisi Depolama ve Kuyularda Isı Enerjisi Depolanması teknikleriyle yapılmaktadır. Yer Altında Isı Enerjisi Depolanması teknikleri uygulanabilirliğinde yer altı jeolojik yapısı önemlidir. Yer Altında Isı Enerjisi Depolanması teknikleri içerisinde özel bir jeolojik yapı gerektirmeyen tek sistem Kuyularda Isı Enerjisi Depolanması uygulamasıdır.

Kuyularda ısı enerjisi depolamada yeraltına borular döşenerek, uygun bir ısı taşıyıcı akışkan ile depolama yapılır. Kuyular yatay veya düşey olarak kullanılabilir. Kuyularda Isı Enerjisi Depolanması sisteminde, kuyu bir ısı taşıyıcı akışkanla, etrafındaki jeolojik yapı arasında "ısı değiştiricisi" olarak kullanılır. Düşey Kuyularda Isı Enerjisi Depolanması uygulaması için uygun bir sondaj tekniği kullanılarak bir kuyu açılır. Açılan kuyu içerisine ısı taşıyıcı akışkanın dolaştırılacağı bir boru sistemi yerleştirilir. Kuyu ve içindeki borular yeraltı ısı değiştiricisi olarak kullanılır. Yer altı ısı değiştiricileri ısı taşıyıcı akışkan ile yer altı jeolojik formasyon arasında ısı aktarımını sağlar.

Kuyularda Isı Enerjisi Depolama ısıtma, soğutma veya her iki amaçlı uygulanabilir. Her iki amaç için kullanılan Kuyularda Isı Enerjisi Depolama sistemlerinde ısıtma ve soğutma yüklerinin eşit olması istenir. Kuyularda Isı Enerjisi Depolama uygulaması sırasında depolama yapabilmek için ekonomik olabilecek, uygulama amacına göre, sıcak veya soğuk enerji kaynakları bulunmalıdır. Sıcak enerji

kaynağı olarak güneş enerjisi, endüstriyel veya ısı pompası atık ısıyı kullanılabilir. Soğutma amaçlı Kuyularda Isı Enerjisi Depolama kaynağı olarak ise kış ortam havası, soğuk yüzey suları (göl, nehir vb.) veya ısı pompası kullanılabilir. Depolanan enerjiler binaların ısıtma ve soğutmalarında kullanılabilir.

Kuyularda Isı Enerjisi Depolanması açık veya kapalı döngülü sistem olarak uygulanabilir. Açık döngülü Kuyularda Isı Enerjisi Depolama sistemlerinde, ısı taşıyıcı akışkan kanalla doğrudan temas halindedir. Akışkan ve kayacın doğrudan temasından dolayı su kimyası önem teşkil eder. Isı değiştiricilerinde, çökelmelerden kaynaklı kabuklaşma veya korozyon problemleri olabilir. Açık sistemin avantajı ise, yer altı yapısı ve ısı taşıyıcı akışkan arasında iyi bir ısı transferi gerçekleşmesidir.

Kapalı döngü Kuyularda Isı Enerjisi Depolama sistemlerinin, uygulamaları açık sistemlere göre daha yaygındır. Genellikle kuyuya bir veya birden fazla U boru yerleştirilir.

En çok kullanılan boru tipi U borudur. Uygulama amacına yönelik sıcaklık aralığındaki ısı taşıyıcı akışkan, boru sisteminde pompa vasıtasıyla kapalı döngüde dolaştırılır. Böylece akışkan yeraltını ısıtırken (soğuturken), kendisi soğuyarak (ısınarak) kanaldan dışarı çıkar. Tekrar ısıtılmak (soğutulmak) üzere bir ısı değiştiricisinden geçirilir. Isınan (soğuyan) akışkan tekrar yeraltına yollanır. Isı taşıyıcı akışkan seçimi, çalışma sıcaklık aralığına bağlı olarak yapılır. Genellikle su veya farklı yüzeylerde alkol-su karışımları kullanılabilir. Kapalı Kuyularda Isı Enerjisi Depolama sistemleri açık Kuyularda Isı Enerjisi Depolama sistemlerine göre daha az ısı transferi gerçekleşir.

Isı Enerjisi Depolama Sistemlerinde yeraltında kuyularda depolamada düşey ısı değiştiricisi ile toprak arasındaki ısı aktarımını artırmak için dolgu malzemesi kullanılır. Dolgu malzemesi U boru ve yer altı kuyusu arasında kalan boşluklara yerleştirilir. Termal iletkenliği yüksek olan dolgu malzemesi kullanılarak sistemin termal performansı artırılabilir. Böylece daha iyi bir ısı transferi sağlanmış olur. Bazı Kuyularda Isı Enerjisi Depolama sistemlerinde dolgu malzemesi olarak yer altı suyundan yararlanılmaktadır. Genellikle İsveç'teki Kuyularda Isı Enerjisi Depolama sistemlerinde, sert kaya içindeki kanallar sondaj yapıldıktan sonra yeraltı suyu ile kendiliğinden dolabilmektedir (Gehlin ve Hellström, 2000). Kuyu derinliği; yerel iklim, ısı pompası, soğuk ve sıcak depolama ve jeolojik formasyon tipine bağlıdır. Yeraltındaki ısı değiştiricisinin, akışkan ve toprak arasındaki ısı akışı için minimum dirençte ve minimum uzunlukta olması istenir. Isı değiştirici etrafındaki dolgu malzemesinin seçimi sistemin performansı ve ekonomik bakımdan büyük bir etkiye sahip olabilir. Böylece daha iyi bir ısı transferi sağlanmış olur (Remund ve Lund, 1996; Kjellson ve Hellström,1997). Yüksek ısıl performans, gerekli kuyu derinliği ve boru uzunluğunu azaltacağından, sistemin yatırım maliyeti de düşecektir.

Dolgu malzemesi kullanımının sebepleri;

- Sondaj sırasında yüzeyden gelebilecek kirlilikleri engellemek.
- Akifer içindeki suyun göçmesini engellemek.
- Koruyucu kaplama boyunca olan sızıntıyı engellemek; artezyen formasyonunun hidrolik özelliklerini korumak.
- Plastik kuyu kaplama yapıldığında yapısal dayanıklılık sağlamak.
- Koruyucu kaplamalardaki eksiklikler ya da aşınmalara karşı korumak.

İyi bir dolgu malzemesinin özellikleri ise aşağıdaki gibi olmalıdır (Gaber ve Fisher, 1988).

- Suyun akışına direnmek için düşük geçirgenliğe sahip olmak.
- Sıkı bir şekilde yarıkları doldurmak için hem koruyucu hem de kuyu duvarı ile bağlanabilmelidir.
- Formasyon malzemesi veya yeraltı suyu bileşenleri ile kimyasal olarak inert olmalıdır.
- Kolayca karışmalıdır.
- Kıvamı (yoğunluğu) pompalanacak düzeyde olmalıdır.
- Pompa ekipmanından kolayca temizlenebilmelidir.
- Minimum düzeyde güvenilir ve zararsız olmalıdır.
- Ucuz olmalıdır.
- Geçirgen bölgelere girmelidir.
- İyi bir ısı transferi için yüksek bir ısı iletkenliğine (λ) sahip olmalıdır.

Büyük su tanklarının yer altına gömülü olarak kullanıldığı, güneş ısıtma sistemi uygulamaları mevcuttur. Bununla birlikte tank depolaması ile birlikte toprağın ısı kapasitesinden faydalanmak üzere boru depolanmasının birlikte uygulandığı uygulamalarda vardır. Bu uygulamalara örnek olarak Finlandiya'daki Kerava Güneş Köyünü ve Hollanda'daki Groningen projesi gösterilebilir. Kerava Güneş köyünde güneş enerjisinin enerji ihtiyacını karşılama oranı % 21'dir.

Bu tür depoların kullanıldığı sistemlerde aşağıdaki sorunların giderilmesi zaruridir.

- Metal tankların korozyonu
- Yalıtım tabakasının nem ile fiziksel özelliklerinin değişimi
- Isıl gerilmeler
- Beton tanklarda çatlaklar
- İnce cidarlı borularda sızdırmazlık
- Uzun süreli dayanıklılık

Uygun malzemeler seçilerek sorunların yaşanmasını engelleyebiliriz.

Enerjinin toprakta depolanmasında boru kullanılması uygulaması oldukça basittir. Kullanılan borular toprak içerisine yatay ve düşey olarak yerleştirilir. Genellikle plastik borular kullanılır. Boruların boyu 1-100 m. arasındadır.

Yeraltında tank, çukur ve kaya oyuklarında güneş enerjisi ve/veya sanayideki atık ısılar depolanabilir. Bu amaçla su veya su-antifriz karışımının duyulur ısı kapasitesinden yararlanır. Depodan kaçakları önlemek için iyi bir yalıtım gerekmektedir. Bu ise maliyeti artırıp, sistem ekonomisini olumsuz etkilemektedir.

Akiferde ısı enerjinin depolanması prensip olarak çok basittir. Soğuk depolamada, yeraltı suyu açılan depodan kışın çekilip soğutulur ve tekrar kuyuya geri verilir. Soğutma için dış ortamın soğukluğundan, yüzey buz ve sularından yararlanır. Bu amaçla ısı değiştiricileri de kullanılmaktadır. Yazın soğutma gereksinimi olduğunda, yeraltındaki soğuk su çekilerek kullanılır. Bu kullanım yine ısı değiştiricileri yardımıyla ve soğutma sisteminden ısı aktarımıyla gerçekleştirilir. Hem soğutma ve 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. Akiferde yüksek sıcaklıklı ısı enerjisinin depolanması, yine çekilen suyun ısıtılıp geri gönderilmesiyle gerçekleştirilir.

Yeraltı suyu bulunmayan yerlerde, yeraltına düşey olarak yerleştirilen, birbiri ile bağlantılı özel kanallar kullanılır. Bu yöntemde kanallarda ısı enerjisi depolama denilmektedir. Bu kanallar, akışkan ile toprak arasında ısı aktarımını sağlayan yeraltı ısı değiştiricileri görevini yaparlar. Bu teknikte hem ısıtma ve hem de soğutma amaçlı depolama yapılabilmektedir.

Yeraltında ısı enerjisi depolama sistemleri, elektrik ve fosil yakıt kullanımına tasarruf getirmekte, güneş enerjisi, doğal enerji olanakları (toprak, yüzey ve yeraltı suları ile havada doğal olarak bulunan ısı enerjisi) ve sanayideki atık ısıları değerlendirerek, enerjinin etkin kullanımını sağlamakta, sera etkisi yaratan ve asit yağmurları oluşturan gazların çevreye daha az yayılmasına neden 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 kullanımını açısından büyük önem taşımaktadır.

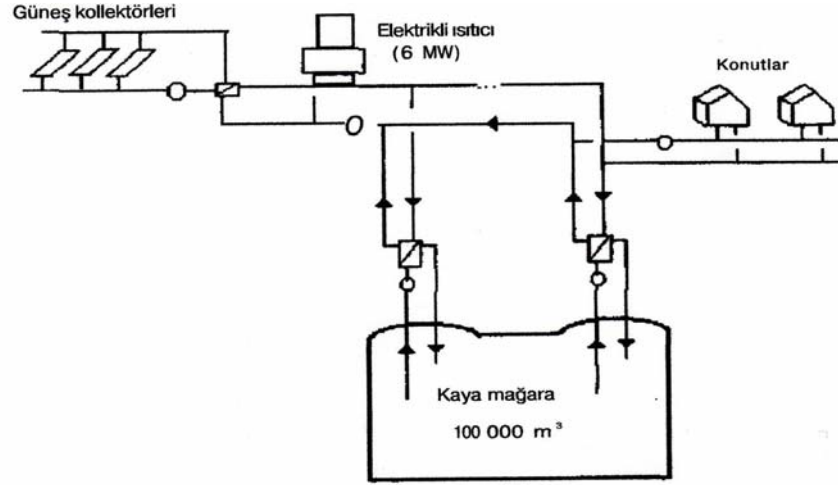
Yeraltında ısı enerjisi depolama, tank, çukur ve kaya oyuklarında, akiferde ve kanallarda depolama teknikleri ile gerçekleştirilmektedir. Özellikle akiferde depolama önemlidir. Bazı sanayi kuruluşları halen yeraltı suyunu soğutma amaçlı olarak kullanmakta, sonra dışa atarak su rezervinin azalmasına ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Akiferde ısı enerjisi 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. Yeraltında ısı enerjisi depolama sisteminin uygulanabileceği yerler, yapılar (konutlar, hastaneler, okullar, hava alanları, ticaret ve iş merkezleri), sanayi, tarım (seracılık, kurutma, balık üretim çiftlikleri, tarımsal ürün depoları) biçiminde sıralanmaktadır.

3.6. Yurtdışında Yeraltında Isı Depolanması İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Yeraltı suyunu tutan ve ileten , içlerine suyun serbestçe girebileceği veya hareket edebileceği boyutta ve miktarda birbiriyle bağlantılı boşluk içeren kayalardan oluşan akiferde (aquifer) güneş enerjisinin depolanması fikrini ilk olarak Texas Üniversitesinden Davison ve Haris tarafından geliştirilmiştir [1]. Isı kaybının fazla olması, geniş sıcaklık aralığı sistemin dezavantajı olmasına rağmen depo maliyetinin olmaması avantajıdır. basınçlı akifer olarak nitelendirilen alt ve üst sınırları geçirimsiz tamamen doymuş akiferler depolama yapmak için en idealidir. Ancak bu tür akiferler fazla yoktur. Türkiye’de bu konuda akiferlerde ısı depolanması ile ilgili yapılmış bir çalışma olmayıp akiferleri gösterir bir yer altı haritasının çıkarılması çalışmaların yaygınlaşması için ilk adım olabilir.

Yer altında kendiliğinden oluşmuş yapıları kullanmak mevsimlik depolamada büyük avantaj sağlar. Lyckebo projesi İsveç’in Uppsala kentinin 13 km. kuzeyinde kurulmuş bir merkezi ısıtma sistemi olup, 1983 yazından itibaren faaliyettedir. 550 konutun ısıtma ve sıcak su ihtiyacı bu proje kapsamında sağlanmaktadır. Sistemde dağıtılan su sıcaklığı 55-70 °C arasındadır. Isıtma sisteminin ana elemanı 4320 m² yüksek verimli düz kolektör ve mevsimlik depolamada kullanılan 100.000 m³ hacimli kaya mağaradır. Kolektörleri desteklemek için 6 MW ısıtıcı kullanılmıştır. Mağara 30 m. yüksekliğinde, 75 m. çapında olup yalıtımsızdır. Güneş enerjisinin enerji ihtiyacını karşılama oranı % 85’dir [10].



Şekil 3.7: Lyckebo projesi (Mağarada ısı enerjisi depolama)

Yeraltında ısı enerjisi depolama tekniklerinden kanallarda ve akiferde depolama, Avrupa, Kuzey Amerika, Japonya ve Çin'deki birçok uygulama ile ekonomik ve ticari olarak kendini kanıtlamıştır. Hollanda'da 1980 yılından bu yana yapılan 40 adet akiferde depolama projesinin %80'i konut sektöründe (hastaneler ve alışveriş merkezleri dahil), kalanı da 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. Kanal depolama ise daha çok Amerika Birleşik Devletleri, Almanya ve İsveç'te uygulanmaktadır. Japonya ve İsveç'te yeraltında depolanan ısı, kış aylarında yolların buzlanmasını önlemek için kullanılmaktadır. Belçika, komşusu Hollanda'nın da desteği ile akiferde ısı enerjisi depolama teknolojisini enerji pazarına hızla sokmuştur. Hollanda, bu amaçla bir özendirme yasası da çıkarmıştır [11].

Dünyadaki en büyük kanal depolama sistemi ABD'de New Jersey Richard Stockton College'da yapılmıştır. Burada her biri 130 m derinliğinde 400 adet kanal bulunmaktadır. Bu sistemin toplam soğutma kapasitesi 5.6 MW'dır. Burada sağlanan enerji tasarrufunun karşılığı olarak emisyonlardaki yıllık azalma, CO₂ için 459, SO₂ için 3395 ve NO_x için 186 otomobilin yarattığı emisyonu eşdeğerdir. ABD Başkanı Bill Clinton 6 Ekim 1997 günü Amerikan Kongresinde iklim değişikliği konusunda yaptığı konuşmada, ABD'de kanal depolama sistemleriyle konutlarda geleneksel sistemlerden daha ucuza ve hem de sera etkisi yaratan gazları %40 azaltarak ısıtma ve soğutmanın yapılabileceğini söylemiştir [11].

3.7. Türkiye’de Yeraltında Isı Depolanması İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Türkiye’de bu konudaki ilk çalışmalar Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü’nde başlatılmıştır. 1995 yılında, Uluslararası Enerji Ajansı ile Türkiye adına Çukurova Üniversitesi Rektörlüğü “Enerji Depolamasıyla Enerji Tasarrufunun Araştırılması” Uygulama Anlaşması’nı imzalamıştır. Bu anlaşma kapsamında Annex 8 “Yeraltında Isı Enerjisi Depolama Sistemlerinin Uygulamaları” konusunda, Amerika Birleşik Devletleri, Almanya, Belçika, Hollanda, İsveç, Kanada ve Japonya’dan uzmanlarla birlikte çalışmalar yapılmaktadır. Türkiye’de akiferde ısı depolaması konusundaki ilk çalışma da yine Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Balcalı Hastanesi’nin ısıtma ve soğutması için yapılmaktadır.

Kayseri İlinde 50 yataklı bir otel binasında güneş enerjisi destekli ısıtma ve kullanım suyu ısıtma uygulaması yapılmıştır (Kent vd.,2010). Çalışma sonucunda bina ısıtma ihtiyacının % 30’unun güneş enerjisi destekli, sistemle karşılandığı tespit edilmiştir.

Konu ile ilgili diğer bir çalışma Trakya Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği bölümünde yapılmış olup, Üniversite yerleşkesine kurulmuş bir deneysel tesisat ile ölçümler yaparak konuyla ilgili çalışmalarda bulunmuşlardır. (Can, vd.)

4. YERALTINDA ISI ENERJİSİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN ANALİZİ

4.1. OPTİMUM YALITIM KALINLIĞI

Isı depolama tankının yalıtım kalınlığı için tasarım girdisi dış ortam sıcaklığının 13°C olduğu durumda 65 W ısı kaybının olması gerektiği bilgisidir. En yüksek ısı kaybı ısı depolama tankı içerisindeki sıcaklığın en yüksek olduğu anda gerçekleşmektedir. Yalıtım kalınlığı hesaplamaları yapılırken ısı depolama tankının iç sıcaklığının 70°C olduğu an göz önünde bulundurulmuştur. Bu tasarım girdisini sağlamak için ısı depolama tankının yalıtım kalınlığı belirlenirken, ısı kaybının ısı depolama tankı gövdesi ile üst başlıkta iletim ve taşınımı ve ısı depolama tankı tabanında iletim olduğu öngörülerek hesaplamalar yapılmıştır.

Silindirik koordinatlardaki denge denklemi ve her boyut için tek boyutlu Fourier ifadeleri, sırasıyla hem silindirik koordinat, hem de Kartezyen koordinat için verilmiştir.

Silindirik koordinat (Isı depolama tankı yan yüzeyi için)

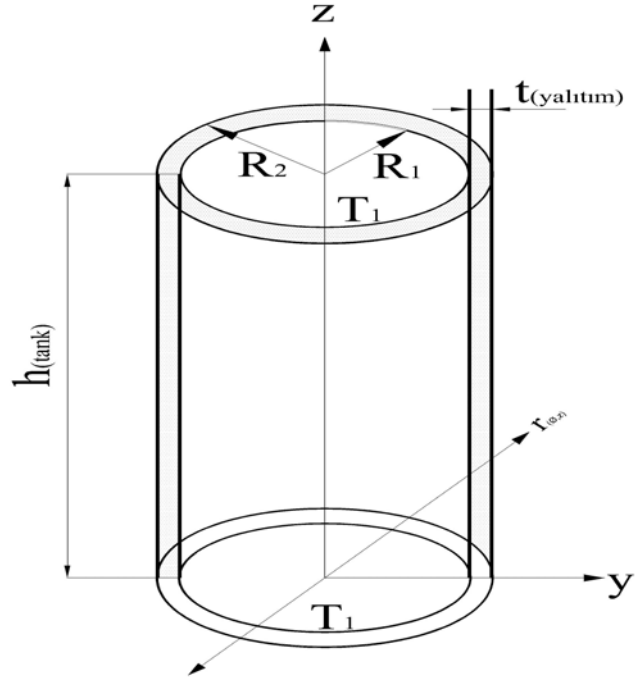
$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (kr \frac{\partial T}{\partial r}) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \phi} (k \frac{\partial T}{\partial \phi}) + \frac{\partial}{\partial z} (k \frac{\partial T}{\partial z}) + \dot{q} \quad (4.1)$$

$$\hat{q}_r = -k \frac{\partial T}{\partial r} \quad \hat{q}_\phi = -\frac{k}{r} \frac{\partial T}{\partial \phi} \quad \hat{q}_z = -k \frac{\partial T}{\partial z} \quad (4.2)$$

Kartezyen koordinat (Isı depolama tankı tabanı için):

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (k \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (k \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (k \frac{\partial T}{\partial z}) + \dot{q} \quad (4.3)$$

$$\hat{q}_x = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad \hat{q}_y = -k \frac{\partial T}{\partial y} \quad \hat{q}_z = -k \frac{\partial T}{\partial z} \quad (4.4)$$



Şekil 4.1: Yalıtım Kalınlığının Şematik Gösterimi

Yapılan kabuller (Her iki koordinat sistemi için):

- Sadece yalıtım malzemesindeki ısı kaybı göz önünde bulundurulmuştur.
- Isı depolama tankı et kalınlığındaki iletimle olan ısı geçişi ihmal edilerek yalıtım iç yüzey sıcaklığı su sıcaklığına eşit alınmıştır.
- Yalıtım malzemesinin ısıl iletkenlik katsayısı (k) homojen dağılımlıdır ve sabittir.
- Isı depolama tankı içerisinde ısı üretimi bulunmamaktadır. $\dot{q}=0$
- Deponun $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında su ile dolu ve dış ortam sıcaklığının $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu an için yalıtım kalınlığı hesaplanmaktadır. $(\frac{\partial T}{\partial t}=0)$
- Isı depolama tankının yan yüzeylerinde ve üst başlıkta kullanılan yalıtım aynı kalınlıktadır.

Yapılan kabuller (Silindirik koordinat sistemi için):

- Z yönünde eş sıcaklık dağılımı bulunmamaktadır. $(\frac{\partial T}{\partial z}=0)$
- ν yönünde eş sıcaklık dağılımı bulunmamaktadır. $(\frac{\partial T}{\partial \phi}=0)$

Yapılan kabuller (Kartezyen koordinat sistemi için):

- Sadece z yönünde ısı kaybı bulunmamaktadır. $(\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial T}{\partial y} = 0)$

Yan yüzeyde ısı kaybı hesaplamaları aşağıda gösterilmiştir.

Denge denkleminin yapılan kabuller doğrultusundaki basitleştirilmiş hali aşağıda belirtilmiştir.

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (k \frac{\partial T}{\partial r}) = 0 \quad (4.5)$$

Boyutsuzlandırma işleminin yapılarak denklemin integrasyonu ile bulunan sonuç denklem aşağıdaki gibidir.

$$T = C_1 \cdot \ln\left(\frac{r}{R_1}\right) + C_2 \quad (4.6)$$

İntegrasyon sabitlerini belirlemek için Isı Depolama Tankının sınır koşullarını belirlemek gerekmektedir. $T(R_1) = T_1 = 70^\circ\text{C}$ sınır koşulu için $C_2 = T_1$ çıkmaktadır. Isı depolama tankı ile dış ortamdaki havanın ara yüzeyinde ($r = R_2$) sıcaklık ve ısı akışı süreklilik göstermektedir. İletimle olan ısı akışı $q_{yy}''(r) = -k \frac{dT}{dR}$ denklemi ile ifade edilmektedir.

$$q_{yy}''(r=R_2) = -k \frac{C_1}{R_2} = h_{yy} [C_1 \cdot \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) + T_1 - T_\infty] \quad (4.7)$$

Bu denklemdeki C_1 integral sabitinin bulunmasıyla boyutsuz formdaki sıcaklık ifadesi aşağıda belirtildiği gibidir.

$$\frac{T_1 - T}{T_1 - T_\infty} = \frac{\ln(r/R_1)}{\frac{k}{h_{yy} \cdot R_2} + \ln(R_2/R_1)} \quad (4.8)$$

Depo yüksekliği boyunca taşınım ve iletimle olan birim uzunluktaki ısı akışı denklemi aşağıda belirtilmiştir.

$$q_{yy}' = 2 h \Pi r \left\{ \left[-\frac{T_1 - T_\infty}{\frac{k}{h \cdot R_2} + \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} \right] \cdot \ln\left(\frac{r}{R_1}\right) + T_1 - T_\infty \right\} \quad (4.9)$$

Isı depolama tankının dış yüzeyinde doğal taşınım gerçekleşmektedir. Doğal taşınımdaki ısı taşınım katsayısı (h_{yy}) aşağıda belirtilen yolla bulunmuştur. Doğal taşınım boyutsuz ifade biçimi olarak Grashof sayısı ile tanımlanmaktadır.

$$Gr = \frac{\rho\beta|T_2 - T_\infty|H_{TANK}^3}{\gamma^2} \quad (4.10)$$

Doğal taşınımın incelenmesinde dikey silindirler için ısı taşınım katsayısı (h), ısı depolama tankı içerisindeki suyun çap/yükseklik oranı $35/Gr^{0,25}$ 'ten küçük olduğu durumlar için aşağıda verilen denklem bulunmaktadır.

$$Nu_{yy} = \left\{ 0,825 + \frac{0,387(Gr.Pr)^{1/6}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \cdot [1 + 1,43(\frac{H_s}{D_s \cdot Gr^{0,25}})] \quad (4.11)$$

$$h_{yy} = \frac{kNu_{silindir}}{H_s} \quad (4.12)$$

Üst başlıktaki ısı kaybı:

Sadece z yönünde ısı kaybı vardır $(k = \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0, \hat{q}_z = -k \frac{\partial T}{\partial z})$

Taşınım ve iletimle olan birim alandaki ısı akışı ($\dot{Q}_{başlık}$) denklemini aşağıda belirtmişir.

$$\frac{\dot{Q}_{başlık}}{A_{başlık}} = h_{başlık} \cdot (T_\infty - T_3) = \frac{k}{t_{yalıtım}} (T_3 - T_1) \quad (4.13)$$

$$\dot{Q}_{başlık} = \frac{(T_\infty - T_1)}{\frac{t_{yalıtım}}{A_{başlık} \cdot k} + \frac{1}{h_{başlık} \cdot A_{başlık}}} \quad (4.14)$$

Isı depolama tankı üst başlığının dış yüzey sıcaklığı (T_3) aşağıdaki denklemle bulunmuştur.

$$T_3 = T_\infty + \frac{\dot{Q}_{başlık}}{A_{başlık} h_{başlık}} \quad (4.15)$$

Üst başlıkta gerçekleşen doğal taşınımdaki ısı taşınım katsayısı ($h_{başlık}$) aşağıda belirtilen yolla bulunmuştur.

$$Gr = \frac{\rho\beta|T_3 - T_\infty|.D_s^3}{\gamma^2} \quad (4.16)$$

$$Nu_{plaka} = \left\{ 0,825 + \frac{0,3878(Gr.Pr)^{1/6}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad (4.17)$$

$$h_{başlık} = \frac{k.Nu_{plaka}}{A_{başlık}} \quad (4.18)$$

Tabandaki ısı kaybı:

$$\text{Sadece } z \text{ yönünde ısı kaybı vardır. } \left(k \frac{d^2T}{dz^2} = 0, \dot{q}_z = -k \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (4.19)$$

Tabandaki ısı kaybı incelenirken çelik malzemeden toprağa iletimle olan ısı geçişi incelenmiştir. İletimle ısı geçişi denklem (24) ile elde edilen ısı akısının taban alanı ile çarpılması ile ifade edilir.

$$\dot{q}_z = -k \frac{\partial T}{\partial z} \quad (4.20)$$

$$q_z = \dot{q}_z \cdot A_{taban} \quad (4.21)$$

Çoklu katmanlarda gerçekleşen iletimle olan ısı geçişi ifadesi aşağıda belirtilmiştir.

$$\dot{Q}_{taban} = \frac{(T_1 - T_{toprak})}{\frac{t_{taban}}{A_{taban} \cdot k_{st37}} + \frac{t_{kaide}}{A_{taban} \cdot k_b}} \quad (4.22)$$

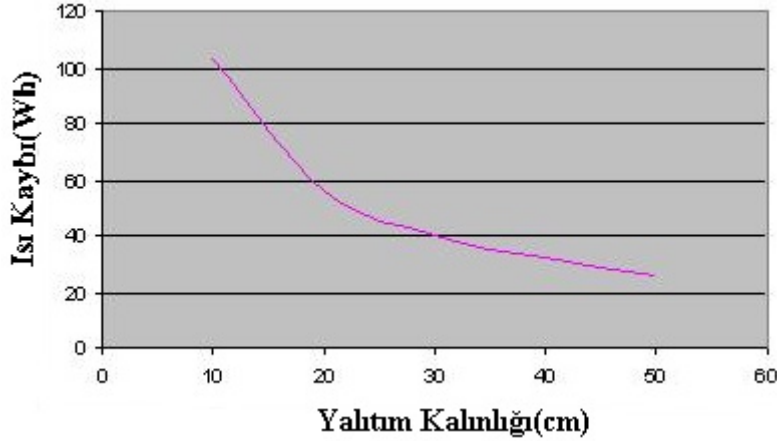
Toprak sıcaklığının 13 °C olduğu durum için Isı depolama tankının tabanındaki çelik malzemeden ($k_{st37}=46 \text{ W/m}^0\text{K}$) ve kaideden olan ısı kaybı 40 W'dır. azami ısı kaybının 65 W olduğu tasarım girdilerinde belirtilmiştir. Toprak altındaki koşullara karşı dirençli olduğu ve su geçirmezliği yüksek olduğu için yalıtım malzemesi olarak poliüretan seçildi. Poliüretan Isı İletim Katsayısı(k)= $0,025 \text{ W/m}^0\text{K}$ 'dir.

Tablo 4.1: Havanın Fiziksel Özellikleri

Sıcaklık	60 °C
ρ	1,025 kg/m ³
β	0,003 1/ ⁰ K
ν	m ² /s
Pr	0,71

Yalıtım kalınlığı hesapları belirtilen denklemlere göre yapılır. Üst başlık ve yan yüzey için ısı taşınım katsayısı başlangıç değeri olarak verilmiş ve hesaplamalar sonucu çıkan yalıtım kalınlık değeri için taban ve yan yüzey için ısı taşınım katsayısı tekrar hesaplanmıştır. İlk başta verilen ısı taşınım katsayısı ile çıkan ısı taşınım katsayısı birbirine yakınsayana kadar işlem tekrarlanmıştır. Mevsimlik depolamada yalıtım 300 mm. olarak çıkmıştır.

Yalıtım Isı Depolama Tekniğinde depolanan ısıl enerjinin muhafaza edileceği süreyi belirtmektedir. Isı depolama sistemi günlük, haftalık, mevsimlik vb. zaman dilimleri için belirlenebilmektedir. Kullanım yöntemi belirlendikten sonra ısı depolama süresi de göz önünde bulundurularak yalıtım kalınlığı belirlenir. Seçimi yapılan 65 cm. yarıçapında, 1,5 m. uzunluğunda silindirik depo için yalıtım kalınlığı ile ısı kaybı değişimini gösteren şekil 4.4 'e göre izolasyon kalınlığı 30 cm.'den sonra ısı kaybına etkisi azalmaktadır. Bu nedenle optimum yalıtım kalınlığının 30 cm. olarak belirlenmesi gerekmektedir.



Şekil 4.2: Yalıtım Kalınlığı Isı Kaybı Değişimi

4.2. Isı Kayıplarının Bir Yöntem Üzerinde Analizi

Isı enerjisi depolanması durumunu bir örnek uygulama ile irdeleyelim. Isı depolama sistemi olarak silindirik tank ve etrafında kum hacmini alırız. Depolamanın yapılacağı yer Edirne, ısı enerjisi depolanacak akışkan olarak da su seçilmiştir. Ağustos ayında şehir şebeke suyunu 15,9 °C den 70 °C sıcaklığa ısıttıktan sonra 2 m³ silindirik dikey tank içerisinde 2 m. derinlikte bulunmaktadır. Depolanan ısı enerjisinin uzun süre korunabilmesi, depoya yapılan yalıtım ile dolayısı ile yalıtımda kullanılan malzemelerin ısıl iletkenlik kat sayısı ve izolasyon kalınlığı ile ilgilidir. Ayrıca genel olarak toprak sıcaklığının kışın dış hava sıcaklığından daha yüksek olması, yazın ise dış hava sıcaklığından daha soğuk olması sebebiyle ve havadan daha düşük iletkenlik kat sayısına sahip olması nedeniyle toprak ısı enerjisinin depolanması yönünden uygun bir yalıtım malzemesi gibi de değerlendirilebilir.

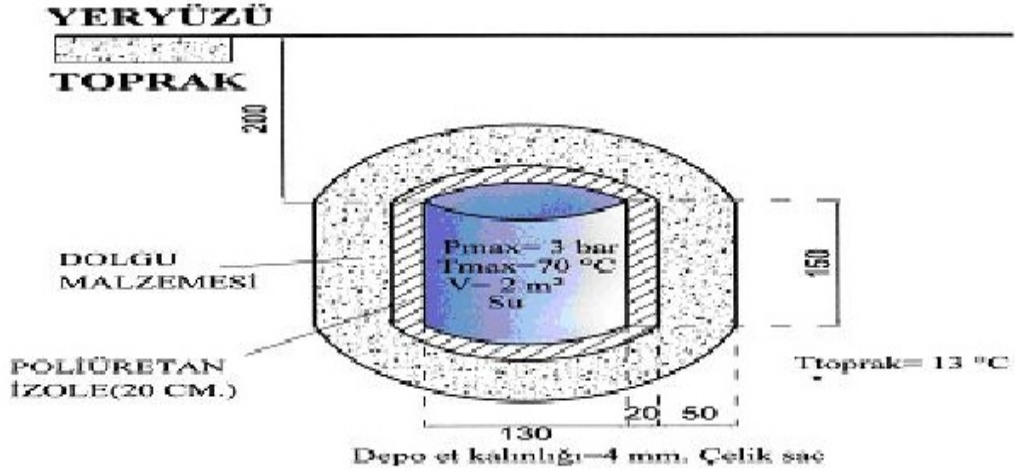
Duyulur ısı depolamada, depolanan enerji denkliği için aşağıda verilen denklemler ile yazılabilir.

$$Q = m c_p \Delta T$$

$$Q = r c_p V \Delta T$$

(Enerjinin korunumu denklemi)

(Enerjinin korunumu denklemi)



Şekil 4.3: Yerin 2 m. altında 1,3 m. çapında , 1,5 m. yüksekliğindeki izoleli silindirik su deposu

Silindirik Deponun Sacının et kalınlığını hesaplırsak;

$$t: \frac{P.R}{(\nabla F.Z)(0,5.P)} + e \quad (\text{Sac Et Kalınlığı Hesabı})$$

$$t: \frac{3.650}{(1040.0,75)(0,5.3)} + 0,75$$

t : **4 mm.** olarak sacın et kalınlığı seçilir.

Silindirik Su Deposunda Depolanan Isı Enerjisi;

2 m³ suyun şehir şebeke suyu sıcaklığı olan (DMİ verilerinden)15,9⁰C den 70⁰C'ye ısıtılması ile;

$$Q= V \cdot d \cdot C_v \cdot \Delta T$$

$$Q= 2 \text{ m}^3 \cdot 1000 \text{ kg/ m}^3 \cdot 1 \text{ k.cal/kg. } ^0\text{K} \cdot 54,1^0\text{K}$$

$$Q=108.200 \text{ k.cal/h}$$

Edirne İli Merkezinde 2005-2006 yılına ait Ekim-Kasım-Aralık-Ocak aylarına ait değerler (Can , vd.)

Tablo 4.2: Edirne İli Ortalama Toprak Sıcaklığı Değerleri

2 M. DERİNLİKTE TOPRAK SICAKLIĞI			
Ekim	Kasım	Aralık	Ocak
21 ⁰ C	19 ⁰ C	13 ⁰ C	9 ⁰ C

Tablo 4.3: Edirne İli Merkezde ortalama dış sıcaklık değerleri (DMİ verilerinden)

ORTALAMA DIŞ SICAKLIK DEĞERLERİ(1975-2006)			
Ekim	Kasım	Aralık	Ocak
14,1 ⁰ C	8,5 ⁰ C	4,2 ⁰ C	2,8 ⁰ C

İzolasyon malzemesi olarak 20 cm. su geçirmezliği yüksek ısı iletim katsayısı düşük olduğu için poliüretan seçilmiştir. Dolgu malzemesi olarak da kum,çakıl, kırma taş karışımı malzeme seçilmiştir.

Poliüretan Isı İletim Katsayısı(k)=0,025 W/m⁰K-h

Dolgu Malzemesi(Kum,çakıl,kırma taş) Isı İletim Katsayısı(k)=0,7 W/m⁰K-h

Çelik Sac Isı İletim Katsayısı= 60 W/m⁰K-h

Toprak Isı İletim Katsayısı= 1,3 W/m⁰K-h

Aralık ayında 1 ay süre ile suyu muhafaza edelim.

Silindirik yüzeyden olan ısı kaybı

$$Q_{\text{kayıp}} = \frac{2\pi.L.\Delta T}{R} \quad (4.24)$$

$$R = \left(\frac{1}{k_{\text{sac}}} \ln \frac{r_2}{r_1} \right) + \left(\frac{1}{k_{\text{poliüretan}}} \ln \frac{r_3}{r_2} \right) + \left(\frac{1}{k_{\text{kum}}} \ln \frac{r_4}{r_3} \right) \quad (4.25)$$

$$R = \left(\frac{1}{60} \ln \frac{0,654}{0,65} \right) + \left(\frac{1}{0,025} \ln \frac{0,854}{0,654} \right) + \left(\frac{1}{0,7} \ln \frac{1,354}{0,854} \right)$$

$$R = (0,0001022 + 10,67295 + 0,65841) \text{ m}^0\text{K-h} / \text{W}$$

$$R = 11,3314 \text{ m}^0\text{K-h} / \text{W}$$

$$Q_{\text{kayıp}} = \frac{2.3,14.1,5.(70-13)}{11,3314} \quad (4.24)$$

$$Q_{\text{kayıp}} = 47,3851 \text{ Wh}$$

Alt ve üst yüzeylerden ısı kaybı;

$$Q_{\text{kayıp}} = K A \Delta T \quad (4.26)$$

$$\frac{1}{K} = \frac{L_1}{k_{\text{sac}}} + \frac{L_2}{k_{\text{poliüretan}}} + \frac{L_3}{k_{\text{dolgu}}} \quad (4.27)$$

$$\frac{1}{K} = \frac{0,004}{60} + \frac{0,2}{0,025} + \frac{0,5}{0,7}$$

$$K = 0,11475 \text{ W/m}^2 \text{ } ^0\text{K}$$

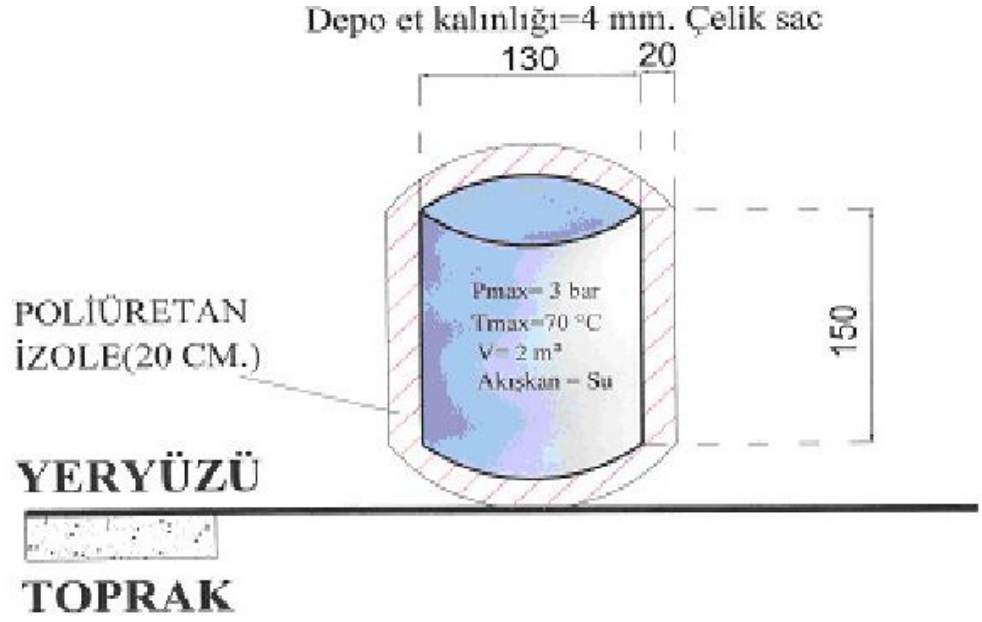
$$Q_{\text{kayıp}} = 0,11475 \cdot 3,14 \cdot (0,65)^2 \cdot (70-13) \quad (4.26)$$

$$Q_{\text{kayıp}} = 8,67753 \text{ Wh} \cdot 2 = 17,355 \text{ Wh}$$

Depolanan ısı enerjisinin yaklaşık yarıya yakınının kaybedildiği tespit edilmiştir. Isı kaybını azaltmak için yalıtımın uygun şekilde yapılması gerekir.

Toprak altında değil de dış ortamda aynı şartlarda ısı enerjisi depolanması durumunun incelenmesi.

Dış ortam sıcaklığı Aralık ayı için 4,2 °C alınır. (D.M.İ.G.M. verilerinden)



Şekil 4.4: Yer üstünde ısı enerjisi depolama

$$Q_{\text{kayıp}} = \frac{2\pi \cdot L \cdot \Delta T}{R} \quad (4.24)$$

$$R = \left(\frac{1}{k_{\text{sac}}} \ln \frac{r_2}{r_1} \right) + \left(\frac{1}{k_{\text{poliüretan}}} \ln \frac{r_3}{r_2} \right) + \left(\frac{1}{r_3 \cdot h_{\text{dış hava}}} \right) \quad (4.25)$$

$$R = \left(\frac{1}{60} \ln \frac{0,654}{0,65} \right) + \left(\frac{1}{0,025} \ln \frac{0,854}{0,654} \right) + \left(\frac{1}{0,854 \cdot 20} \right)$$

$$R = (0,0001022 + 10,67295 + 0,05854) \text{ m}^0\text{K-h} / \text{W}$$

$$R = 10,7316 \text{ m}^0\text{K-h} / \text{W}$$

$$Q_{\text{kayıp}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot (70-4,2)}{10,7316}$$

$$Q_{\text{kayıp}} = 57,75802 \text{ Wh}$$

Alt ve üst yüzeylerden ısı kaybı;

$$Q_{\text{kayıp}} = K A \Delta T \quad (4.26)$$

$$\frac{1}{K} = \frac{L_1}{k_{\text{sac}}} + \frac{L_2}{k_{\text{poliüretan}}} + \frac{1}{h_{\text{dış hava}}} \quad (4.27)$$

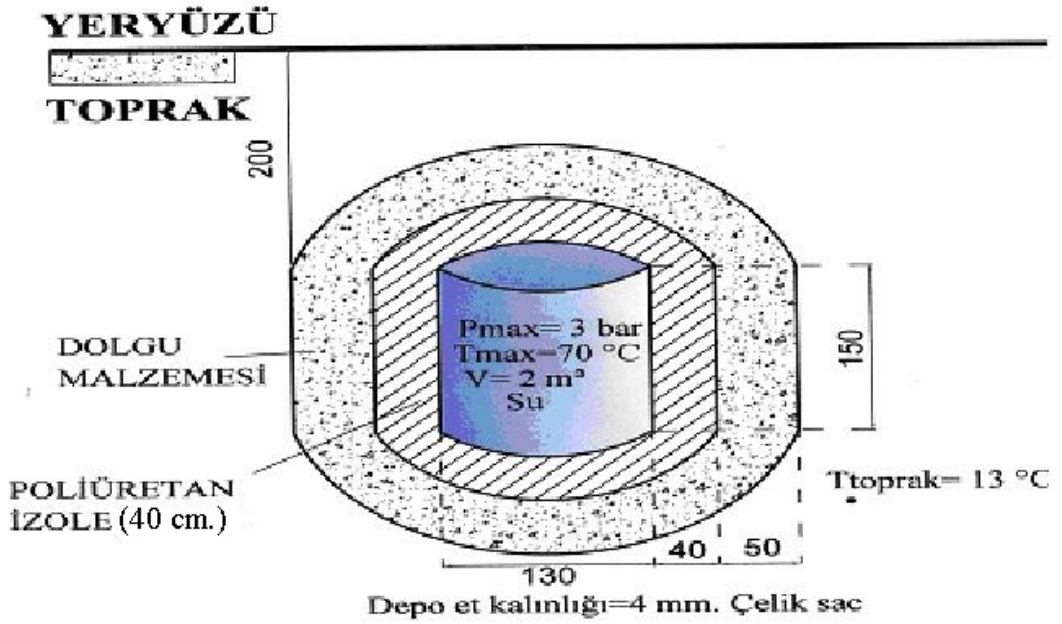
$$\frac{1}{K} = \frac{0,004}{60} + \frac{0,2}{0,025} + \frac{1}{20}$$

$$K = 0,17499 \text{ W/m}^2/\text{°K}$$

$$Q_{\text{kayıp}} = 0,12422 \cdot 3,14 \cdot (0,65)^2 \cdot (70-4,2)$$

$$Q_{\text{kayıp}} = 10,843 \cdot 2 = 21,687 \text{ Wh}$$

Toprak altında izolasyon kalınlığı 40 cm. olarak tespit alındığı durum:



Şekil 4.5: Yerin 2 m. altında 40 cm. izoleli silindirik su deposu

Silindirik yüzeyden olan ısı kaybı

$$Q_{\text{kayıp}} = \frac{2\pi \cdot L \cdot \Delta T}{R} \quad (4.24)$$

$$R = \left(\frac{1}{k_{\text{sac}}} \ln \frac{r_2}{r_1} \right) + \left(\frac{1}{k_{\text{poliüretan}}} \ln \frac{r_3}{r_2} \right) + \left(\frac{1}{k_{\text{kum}}} \ln \frac{r_4}{r_3} \right) \quad (4.25)$$

$$R = \left(\frac{1}{60} \ln \frac{0,654}{0,65} \right) + \left(\frac{1}{0,025} \ln \frac{1,054}{0,654} \right) + \left(\frac{1}{0,7} \ln \frac{1,554}{1,054} \right)$$

$$R = (0,0001022 + 19,089615 + 0,55462) \text{ m}^0\text{K-h / W}$$

$$R = 19,6408 \text{ m}^0\text{K-h / W}$$

$$Q_{\text{kayıp}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot (70-13)}{19,6408} \quad (4.24)$$

$$Q_{\text{kayıp}} = 27,33 \text{ W}$$

Alt ve üst yüzeylerden ısı kaybı;

$$Q_{\text{kayıp}} = K A \Delta T \quad (4.26)$$

$$\frac{1}{K} = \frac{L_1}{k_{\text{sac}}} + \frac{L_2}{k_{\text{poliüretan}}} + \frac{L_3}{k_{\text{dolgu}}} \quad (4.27)$$

$$\frac{1}{K} = \frac{0,004}{60} + \frac{0,4}{0,025} + \frac{0,5}{0,7}$$

$$K = 0,0598 \text{ W/m}^2 \text{ } ^0\text{K}$$

$$Q_{\text{kayıp}} = 0,0598 \cdot 3,14 \cdot (0,65)^2 \cdot (70-13) \quad (4.26)$$

$$Q_{\text{kayıp}} = 4,52 \text{ W/h} \cdot 2 = 9,04 \text{ Wh}$$

Toprak sıcaklık değerlerinin kış ayları boyunca dış hava sıcaklığından yüksek olması ısı enerjisi depolama için avantaj oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen yazın bol olan güneş enerjisinin sürekliliği olmaması, özellikle kış aylarında kesikli olması sebebiyle ısı enerjisinin depolanması ihtiyacı doğmuştur.

4.3. Güneş Enerjisi Destekli Isı Depolama Sisteminin Ekonomik Analizi

Güneş enerjisinin ısı enerjisi olarak depolanması; çalışma sıcaklığı genellikle 100 °C'yi geçmeyen düşük sıcaklıktaki uygulamalar için önemlidir. Düşük sıcaklıkta depolamanın genel özellikleri şunlardır:

- Kısmen veya tamamen atık durumdaki ısıdan etkin olarak yararlanır.
- Güneş ışınımından kazanılan ısı, gündüzden-geceye veya yazdan-kışa olmak üzere kısa veya uzun süre depolanabilir.
- Mevsimlik (uzun süreli) depolama etkinliği %70'den daha yüksek olamazken, günlük (kısa süreli) etkinlik % 90'dan yüksek olabilir.
- Depolanan ısıdan konutlarda veya endüstride sıcak su sağlanması, ısıtma/iklimlendirme ve tarımsal işlerde yararlanılabilir.
- Merkezi güç tesislerinde enerji gereksiniminin az olduğu dönemlerde, enerji gereksiniminin yüksek olduğu durumlarda kullanılmak üzere kısa veya uzun süre için depolanır.

Isı depolama uygulamalarında, atık durumdaki ısı enerjisinden yararlanıldığından ve gereksinim duyulan elektrik enerjisi miktarı azaldığından gerçek verilere dayanarak yapılan simülasyon çalışmasında, 70 m² alanında güneş kolektörü ve boşluk oranı % 50 olan ve 14 m³ hacmindeki kaya yatağından oluşan ısı depolama ünitesi bulunan, bir tek ailenin oturduğu konut için elde edilen sonuçlar Tablo 4.4'de gösterilmektedir. (Dinçer vd.,1996)

Tablo 4.4. Bir Konut için Güneş Enerjisiyle Isıtma Sistemine Ait Sonuçlar(Dinçer ve Arkadaşları, 1996)

Sonuçlar	Isı Depolamalı	Isı Depolamasız
Toplam Isı Gereksinimi(kwh)	26.472	26.472
Ek ısı gereksinimi (kwh)	9.639	22.250
Güneş enerjisinden yararlanma oranı(%)	64	16

Kullanılan kolektörün 1 adedi 2,106 m² olduğuna göre;

Toplam Kollektör Adedi=Toplam Kollektör Yüzeyi / Bir Kollektör Alanı
Toplam Kollektör Adedi= 34

Tablo 4.5. Senelik Isı Gereksinimini Karşılması İçin Kullanılması Gereken Yakıt Miktarları ve Bedelleri

Yakıt Cinsi	Yakıt Alt Isıl Değeri (kwh/m ³)	Senelik Yakıt Miktarı	Yakıt Birim Fiyatı (TL)	Senelik Yakıt Bedeli (TL)
Doğalgaz	8,83 kwh/m ³	2.997,96 m ³	0,624982	1.873,67
LPG	12,79367 kwh/m ³	2.069 m ³	2,061	4.264,21
Kömür(Soma)	6,396836 kwh/kg	4.138,30 kg.	0,36	1.489,78
Fuel-oil (4 nolu)	11.28 kwh/kg	2.346,80 kg.	1,85	4.341,58

Tablo 4.6. Isı Depolamalı Sistem İçin İlk Yatırım Yaklaşık Maliyeti (2010 Yılı Bayındırlık Bakanlığı Birim Fiyatlarıyla)

Malzeme Cinsi	Birimi	Miktar	Birim Fiyatı (TL)	Toplam Fiyat (TL)
Paslanmaz çelik saçtan (AISI 304 Cr-Ni) panelli kollektör	Adet	34	331,50	11.050,00
Sirkülasyon Pompası 0,5-5 m ³ /h, 700-2800 d/d (İkiz tip)	Adet	1	226,50	226,50
Isı Değiştirgeci	m ²	2	2.925,60	2.925,60
Kaya oluşu kazı maliyeti (Patlayıcı kullanmadan)	m ³	14	22,08	309,12
Sirkülasyon Pompası 1-10 m ³ /h, 700-1400 d/d (İkiz tip)	Adet	1	248,65	248,65
Al.Fol.PPR-C Boru	m.	70	5,75	402,50
Boru İzolesi	m.	70	9,05	633,50
Üç yollu vana gövdesi	Adet	1	209,70	209,70
Otomatik hava atma cihazı (su için)	Adet	2	14,05	28,10
Emniyet ventili	Adet	1	20,15	20,15
Oda tipi elektronik sıcaklık duyar elemanı	Adet	1	311	311,00
Oransal kontrollü elektronik sıcak su paneli	Adet	1	966,25	966,25
Servomotor	Adet	1	798,25	798,25
Genleşme Tankı	Adet	1	291,65	291,65
Termometre	Adet	2	17,00	34,00
Manometre	Adet	2	20,80	41,60
Pislik tutucu	Adet	1	15,30	15,30
Selenoid valf	Adet	1	157,90	157,90
Ek ısıtıcı(Sistemde sorun olması durumuna karşılık tam kapasite çalışabilecek şekilde)	Adet	1	1.200,00	1.200,00
TOPLAM MALİYET				19.869,77

Tablo 4.7. Isı Depolamalı Sistemde Farklı Yakıt Türlerine Göre Yakıt Tasarrufu ve Amortisman Süresi

Yakıt Cinsi	Yakıt Tasarruf Miktarı	Yakıt Tasarruf Bedeli	Amortisman Süresi
Doğalgaz	1.906,342	1.191,43	16,67
LPG	1.315,73	2.711,72	7,33
Kömür (Soma)	2.631,46	947,33	20,97
Fuel-Oil (4 nolu)	1.492,287	2.760,73	7,19

Tablo 4.7’de görüldüğü üzere kömür ve doğalgaz için maliyeti amorti etme süresi oldukça uzun olup, fuel-oil ve kömür kullanımında ısı enerjisi depolama sisteminin avantajlı olduğu görülmektedir. Fakat kömürlü sistemin işletilmesinin maliyeti de göz önüne alındığında amortisman süresinin azalacağı anlaşılmaktadır. 70 m²’lik konut alan için tasarlanan ısıtma sistemi değerlendirilmiş olup; daha büyük alanların ısıtılması için düşünüldüğünde maliyetlerin azalacağı anlaşılmaktadır. Bu nedenle bu sistemlerin daha büyük alanlar için daha avantajlı olacağı ve geri ödeme süresinin daha fazla kısalacağı anlaşılmaktadır. Ayrıca tablo 4.6’da görüldüğü üzere güneş enerjisi panellerinin toplam maliyetteki ağırlığı oldukça fazladır. Ayrıca maliyet kalemlerindeki birim fiyatlar Bayındırlık Bakanlığı verilerinden alınmış olup, bu fiyatların içinde %25 Müteahhit karı da vardır. Dolayısı ile bu maliyetin de azalabileceği değerlendirilmelidir. Güneş enerjisinin kullanımının artması ve bu endüstri alanına ait üretimin artması ile bu maliyet kaleminin de azalacağı düşünülmektedir.

4.4. Yer Altında Metal Sac Depoda Isı Depolanmasının Güneş Enerjisi İle Bütünleşik Bir Sistemde İncelenmesi

Bu konuyla ilgili olarak yapılan deneysel çalışmalarda da güneş enerjisi ile sağlanan enerjinin bir kısmının konutlarda kullanıldığı kalan kısmının ise depolandığı bir sistem incelenmiştir.

Edirne İlinde yapılan deneysel çalışmada güneş enerjisi kolektörlerine toplanan enerjinin bir kısmı kullanım suyu olarak kullanılmış, geri kalan kısmı ise toprak altında bulunan silindirik depoya aktarılmıştır.

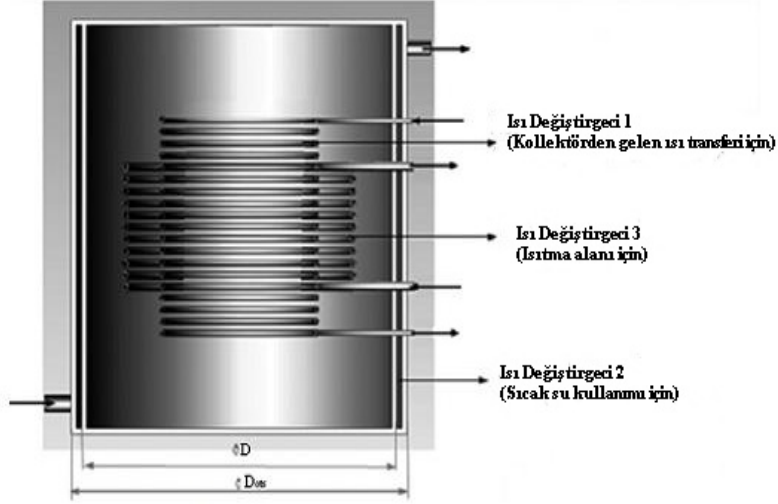


Şekil 4.6: Isı Toplama Üniteleri



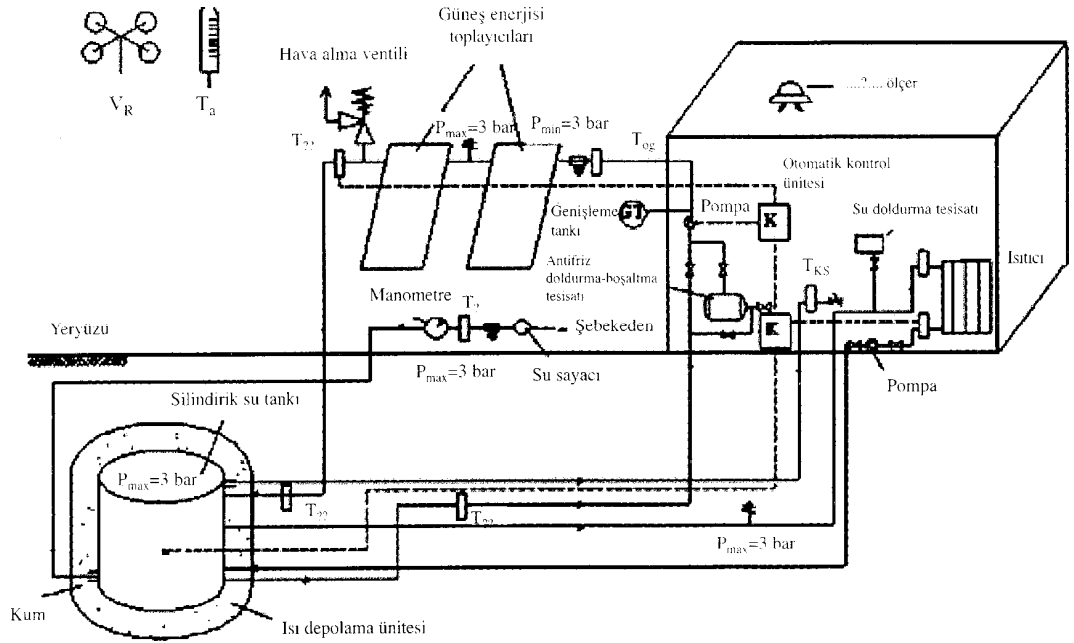
Şekil 4.7: Isıl Enerji Depolamak İçin Silindirik depo

Güneş kolektörlerinde toplanan ısı enerjisi ısı taşıyıcı akışkan vasıtası ile çift cidarlı galvaniz sacdan yapılmış silindirik tank içindeki %25 etilen-glikol, %25 su olan karışıma ısı enerjisini ısı değiştirgeci sayesinde aktarır. Silindirik tank içindeki su sıcaklığı, toplayıcı çıkışındaki su sıcaklığından yüksek olduğu durumlarda otomatik kontrol ünitesi sayesinde devreye girer. Isı enerjisi depodan sağlanır. Bu sayede enerjinin sürekliliği sağlanılmak istenmiştir.



Şekil 4.8: Silindirik Su tankı ve Isı Değiştiricileri

Binanın ısıtılmasında kullanılan ısıtıcı da deponun içindeki su sıcaklığına göre devreye girmektedir. İkinci bir otomatik kontrol ünitesi ile bu durum sağlanmıştır. Isıtıcı çıkış sıcaklığı ile depodaki suyun sıcaklığı arasındaki farka göre devreye girip, devreden çıkar.

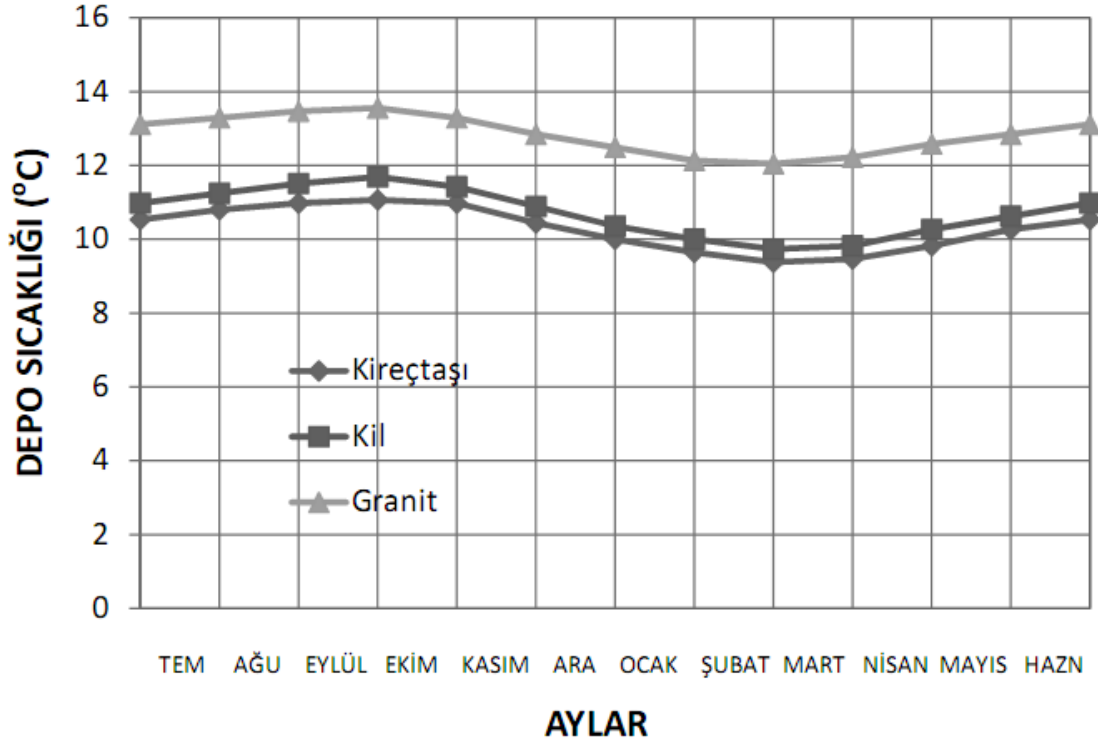


Şekil 4.9: Güneş Enerjisi Takviyeli Yeraltında Isı Enerjisi Depolama Sistemi

Bu sistem kurulduktan sonra 2005-2006 yılları arasında ölçüm aletleri ile yıl boyunca dış hava sıcaklık değerleri, toprak sıcaklık değerleri ve depo içindeki sıcaklık değerleri farklı derinlik ve kısımlardan alınarak kaydedilmiştir. Ölçümler neticesinde elde edilen veriler sonucunda kışın en soğuk olarak geçtiği ocak ayında yer altında bulunan depodaki su sıcaklığı 19°C olduğu görülmüştür. Bu da göstermektedir ki mevsimlik ısı depolama ile sürekli olarak kesintisiz enerji temini mümkün olmaktadır.

Kurulan sistemin bir yıl boyunca test edilmesi neticesinde depolama tankının yer altında kurulması ve etrafının kum ile çevrelenmesi neticesinde güneş enerjili ısıtma sistemi ile birlikte kullanılması durumunda gerek kullanım suyunun ısıtılması, gerekse hacim ısıtılması durumunda ciddi bir enerji tasarrufu sağladığı görülmektedir.

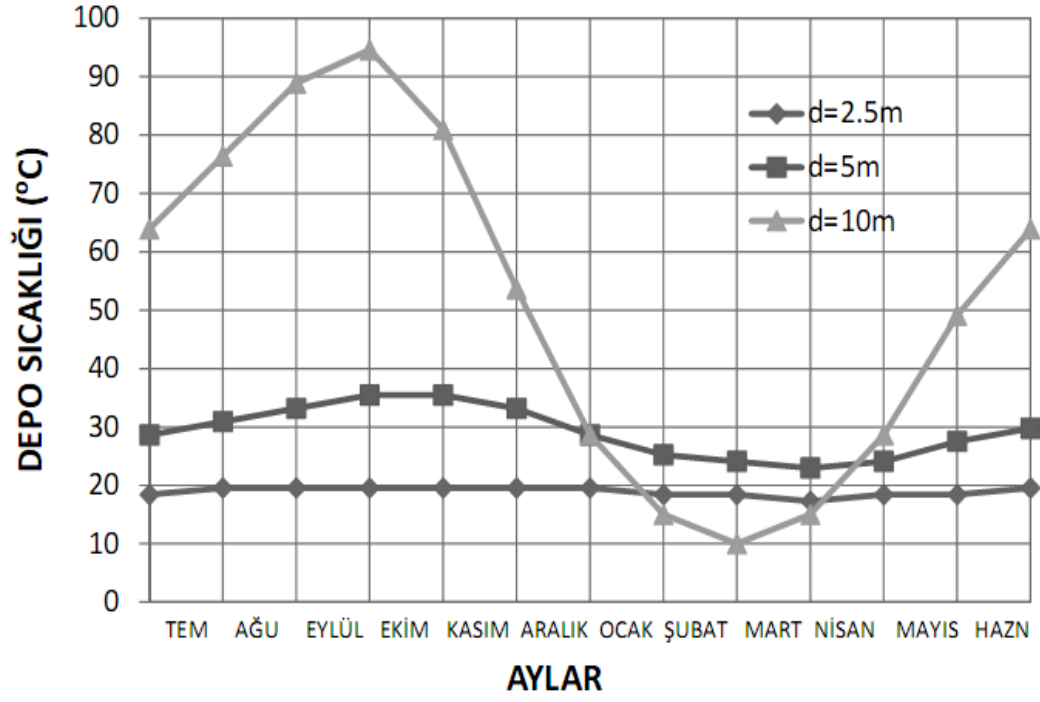
Duyulur ısı depolanması ve güneş enerjisi desteğinin sistem ısı performansını önemli ölçüde artırdığı anlaşılmaktadır. Ayrıca farklı jeolojik yapılarda farklı sonuçlar elde edilmektedir. Bu da yalıtımla ilgili bir özelliktir. Şekil 4.10'da 3 farklı jeolojik yapı için yıllık depo sıcaklığı değişimi gösterilmektedir. Güneş enerjisi takviyeli sistemlerde yıllık ortalama depo sıcaklığının ilerleyen yıllarda yükseldiği görülmüştür. Bu nedenle ısı pompalı ısıtma sisteminin Etkinlik Katsayısı (COP=coefficient of performance) değeri her yıl artacaktır. Sistemin ısı verimi yıllara göre değişeceğinden optimal sistem tasarımı ısı sistemin ekonomik ömrü boyunca elde edilecek toplam verim göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.



Şekil 4.10: Farklı jeolojik yapılarda depo sıcaklık değişimi

Güneş enerjisi desteği olmayan bir sistemde, yıllık ortalama depo sıcaklığı 3 farklı jeolojik yapı (kireçtaşı, kil, granit) için şekil gösterilmiştir. Buradan toprağın özelliğinin de depolamada önemli olduğunu görmekteyiz. Toprağın ısı iletim katsayısı geniş bir aralıkta değişmektedir. ($k=0,06-3 \text{ W/m}^0\text{K}$) Ayrıca topraktaki sıcaklığı etkileyen nem gibi faktörler de depolanmada etkindir. Topraktaki nem oranı arttıkça ısı iletimlik katsayısı da artmaktadır. Şekilden anlaşıldığı üzere ısı pompalı bir sistemde depo sıcaklığı ortalama derin toprak sıcaklığı olan $15 \text{ }^0\text{C}$ den düşüktür. Bu nedenle bu sistem kurulduğu andan itibaren her yıl Etkinlik Katsayısı değeri azalacaktır. Bunu önlemek için ısı pompalı ısıtma sistemleri güneş enerjisi destekli kurulmasında yarar vardır.

Güneş enerjisi takviyeli sistemde yıllık ortalama depo sıcaklığının değişimi 3 farklı çaptaki depo için şekil 4.11'de gösterilmiştir. Çok büyük ve çok küçük depo çapları arasında optimal sistem Etkinlik Katsayısı değerini verebilecek bir çap olduğu anlaşılmaktadır. Optimal depo çapının hem ısıl verimin hem de sistem ekonomisinin iyileştirilmesi hedeflenerek tespit edilmesi uygulamalar açısından çok önemlidir.



Şekil 4.11: Üç Farklı Çapta Deponun Sıcaklık Değerlerinin Değişimi

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Toprak sıcaklık değerlerinin özellikle kış aylarında dış hava sıcaklık değerlerinden yüksek olması, toprağın da bir nevi izolasyon malzemesi görevi görmesi nedeniyle, depoya uygun yalıtım yapılması durumunda yer altında ısı enerjisi depolamanın, enerji kayıplarına rağmen önemli kısmının kullanılabilir durumda depolanabileceği anlaşılmaktadır. Burada ısıyı ne kadar süre ile ne kadar miktarda depolamak istememiz önemlidir. Ayrıca iklim şartları ve toprağın jeolojik durumu da önemlidir. Buna uygun depo kapasitesi seçilerek ve uygun yalıtım malzemesi kalınlığı seçilir.

Güneş enerjisi ile elde edilen enerjinin depolanması, kayıpların karşılanabilmesi ve ısının daha uzun süreli kullanılabilmesi açısından önemlidir. Bu nedenle yer altında ısı depolamasını güneş enerji sistemi ile entegre olarak kullanmak, güneş enerjisinin etkili olduğu yaz aylarında enerji depolayarak yetersiz olduğu kış aylarında kullanmaya imkan verdiği için daha uygulanabilir. Isı depolama sistemlerini güneş enerjisi sistemleri ile entegre kullanmakta fayda vardır.

Yer altında ısı depolamasının özellikle güneş enerjisi ile birlikte kullanılmasının enerji tasarrufu sağladığı görülmektedir. Güneş enerjisi ve toprağın ısısından faydalanılan bir sisteme yer altı deposu da monte edilirse bu sistemin kullanılması ciddi enerji tasarrufu sağlar.

Farklı geometrilere olan çok sayıda değişik yeraltı duyu enerji depolama sistem geometri ve bu sistemlerin geçici rejim ısı performanslarının deneysel yöntemlerle belirlenmesi hem çok pahalı hem de çok uzun yıllar boyunca yapılan deneyler gerektirdiği için bu bilimsel alanda kuramsal araştırmaların yapılması önem taşımaktadır .

Hollanda, Almanya gibi ülkelerde Türkiye'ye göre tahmini olarak üçte bir oranında güneş ışınımı almalarına rağmen güneş enerjisinden çok daha fazla yararlanmakta, enerji ihtiyacının büyük kısmını güneş enerjisinden sağlamaktadırlar. Türkiye de, güneş enerjisinden faydalanma açısından devletin her hangi bir teşvik veya desteği olmamasına rağmen ekonomik olarak çok cazip olduğu için, bu sektör kendiliğinden gelişmiştir. Kıt enerji kaynaklarının etkin kullanılması ve enerji tasarrufunu arttırmak için bu sistemlerin yaygınlaşması hususunda ülkemizde teşvikler uygulanmalıdır.

Güneş enerjisi takviyeli ısı depolama sistemlerinin büyük alanların ısıtılmasında kullanılması yatırım maliyetini karşılama süresinin kısılması bakımından önemlidir. Ayrıca hem ısıtma hem de soğutmanın birlikte yapılabileceği ve ısı pompalarıyla birlikte kullanılabilen karma sistemlerde verimin yüksek olacağı anlaşılmaktadır. Güneş enerjisi destekli ısı depolama sistemlerinin yaygınlaşması ile maliyeti oluşturan özellikle güneş kolektör ve panelleri gibi imalat kalemlerinin maliyetinin de düşeceği düşünülmektedir.

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 iştirak edilmeli, devlet tarafından mali olarak desteklenmelidir. Üniversitelerin eğitim programlarında yer verilmeli, kamuoyuna tanıtılmalı, Ar-Ge çalışmaları geliştirilmeli, yerli teknolojinin yeterli olmadığı alanlarda bilinçli teknoloji transferleri yapılmalıdır. Uygulamalar için yasal mevzuat düzenlenmelidir.

Bu konu ile ilgili olarak sempozyumlar düzenlenmeli yatırımcıların, uygulamacıların bu konuya dikkati çekilmelidir. Ayrıca toprak içinde enerji depolanması için yerleştirilecek olan depo ve toprak kaynaklı ısı pompası uygulamaları için toprağa boru döşenmesi gibi kazı işlemlerinin sonradan yapılmasının maliyeti arttıracak olması nedeniyle yapılacak kazı maliyetlerini azaltmak için bina yapımına başlamadan temel aşamasında bu tür sistemlerin projelendirilerek ve yer altına monte edilmesi önemlidir.

KAYNAKLAR

- [1] İnallı ,M., (1998) “Mühendis ve Makina Dergisi, 463, pp 22-27
- [2] Ünsal ,M., Yumrutaş R., (2008), “Yer altı Isı Depolama Sistemlerinin Kuramsal Analizi”, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES’2008, İstanbul
- [3] Bankston ,C.A., (1988), ” The Status and Potential of Central Solar Heating Plants with Seasonal Storage”, A International Report, In Advavances in Solar Energy 4, (K.W.Boer, ed.)
- [4] Can, A., Karaçavuş B., (2007) “ Mevsimlik Depolamalı Güneş Enerjili Isıtma Sistemi ile Deneysel Çalışmalar”, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 97: 30- 37.
- [5] Can, A., Karaçavuş, B., (2006) “ Güneş Enerjisinin Duyulur Isı Olarak Depolanabilirliği”, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 92: 23- 28.
- [6] Yılmaz, M.Ö., (2005), “Yeraltı Termal Enerji Depolamada Kullanılan Farklı Dolgu Maddelerinin Termal Özelliklerinin Araştırılması”, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi ,64
- [7] Günerhan, H., (2008), “Duyulur Isı Depolama Bazalt Taşı”, TMMOB Dergisi,makale
- [8] Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü İnternet sitesi , <http://www.dmi.gov.tr>
- [9] Çınar, M.A., (2008), “Güneş Enerjisinin Odaklı Kolektör ile toplanıp Yeraltında Depolama Sistemi”, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES, İstanbul”
- [10] Bulut, H., (2009), “Temiz Enerji Teknolojileri Kursu Notları”, Gaziantep
- [11] Burunstorm, C. And Hillström, C.G., (1987), “The Lyckebo Project, Solar District Heating with Seasonal Storage in a Rock Cavern-Evaluation and Operational Experienc”, Swedish Council for Building Research, D20
- [12] Üçgül, İ., Selbaş, R.,Şenol, R.,Kızılkın, Ö., (2003), “Güneş Güç Sistemlerinin Heliostat Alan Düzenlemesi ve Termodinamik Analizleri”, 14. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi Bildiri Kitabı, Isparta.

- [13] Bağcı, E.,(2009), “Mühendis ve Makina Dergisi, 593, 31-32
- [14] Dincer, İ., (2002), "Thermal energy storage and phase-change materials", Course on Porous Media, Evora, Portugal.
- [15] Kumlutaş, D., Tavman İ.,(2003) “ Alüminyum Oksit Tane Katkılı Polietilen Matriksli Kompozitlerin Isı İletim Katsayıları”, Fen ve Mühendislik Dergisi, 2: 23- 28.
- [16] Kumlutaş, D., (2010), “Soğuk Çatılarda Çatı Arası Yalıtım Malzemesi Olarak Uçucu Kül ve Polistren Köpük Katkılı Yapı Malzemesi Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, V. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu, İzmir
- [17] Twidell, J., (1990), London, “Renewable Energy Resources”
- [18] Mahir, N., (1985), “Güneş Hücreleri”,İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi ,1-4, İstanbul
- [19] Kreider, J., (1982), “Solar Heating & Cooling, Active & Passive Design”,Hemisphere Publishing Corporation, London
- [20] Yet, M.E., (1998), “Güneş Enerjili Sıcak Su Sistemlerinin Tasarım için Modellenmesi ve Simülasyonu”, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- [21] Kılıç, A., Öztürk, A., (1984), “Güneş Işınımı ve Düz Toplayıcılar”,Sınai Araştırma ve Geliştirme Genel Merkezi Müdürlüğü yayınları, Ankara
- [22] Tol, H.İ., Ataş, S., (2008), “Isı Depolama Sisteminin Detaylı Tasarımı” TSAD, Proje Raporu, TÜBİTAK-MAM, Kocaeli
- [23] Kuzgun, Ö., (1997), “Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin İncelenmesi”, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- [24] Göktun, S., (1983), “Güneş Enerjisinin Depolanması”, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul
- [25] Gemici, Z., (2008), “Termal Enerji Depolama Sistemlerinde Kullanılan ve Faz Değişimi Yapan Kapsüllerde Isı Transferinin İncelenmesi”, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul
- [26] Börekçi, İ.,(1991), “Thermal Energy Storages”, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

- [27] Sarıbek, B., (1995), “Tavandan Soğutmalı Güneş Enerjili Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi”, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- [28] Derbentli, T., Uras, A., Sayın, C., (1983), “Güneş Toplayıcı Bir Konut Isıtma Sisteminin Simülasyonu”, 4.Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, İstanbul, s:221-232
- [29] Arınç, Ü.D., (1985), “Güneşli Su Isıtıcılarının Projelendirilmesi”, 5.Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, İstanbul, s:479-489
- [30] Wang, H., Chengying, Q., Wang, E., Jun, Z., (2009), A case study of underground thermal storage in a solar-ground coupled heat pump system for residential buildings”, *Renewable Energy*, 34, 307-314
- [31] Uçar, A., İnallı, M., (2008), “A finite element model of solar heating system with underground storage”, *International Journal of Thermal Sciences*, 47, 1639–1646
- [32] Uçar, A., İnallı, M., (2005), “Thermal and economical analysis of a central solar heating system with underground seasonal storage in Turkey”, *Renewable Energy*, 30, 1005–1019
- [33] İnallı, M., Ünsal, M., Tanyıldızı, V., (1997), A Computational Model Of A Domestic Solar Heating System With Underground Spherical Thermal Storage”, *Energy Vol. 22, No. 12, pp. 1163-1172*
- [34] Can, A., Karaçavuş, B., (2009), “Thermal and economical analysis of an underground seasonal storage heating system in Thrace”, *Energy and Buildings*, 41, 1–10
- [35] İnallı, M., (1998), “Design Parameters For A Solar Heating System With An Underground Cylindrical Tank”, *Energy Vol., 23, No. 12, pp. 1015–1027*
- [36] Sanner, B., Karystas, C., Mendrinis, D., Rybach, L., (2003), “Current status of ground source heat pumps and underground thermal energy storage in Europe”, *Geothermics*, 32, 579–588
- [37] Goswami, D.Y., Vijayaraghavan, S., Lu, S., Tamm, G., (2004), “New and emerging developments in solar energy”, *Solar Energy*, 76, 33–43
- [38] Dinçer, İ., Hepbaşlı, A., (2006), “Kanada’nın En Büyük Kuyu İçi Isıl Enerji Depolama Sistemi: Bir Uygulama”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, Sayı:93, S:65-78

- [39] Öztürk, H., (2008), “Isı Depolama Tekniği”, Teknik Yayınevi, Ankara
- [40] Akçalı, Ü., (2010), “2010 Yılı İnşaat Birim Fiyat Analizleri”, Ankara
- [41] Mazman, M., (2006), “Gizli Isı Depolaması ve Uygulamaları”, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Adana
- [42] Paksoy, H.Ö., Gürbüz, Z., Turgut, B., Dikici, D. and ve Evliya, H., (2004), “Aquifer Thermal Energy Storage (ATES) for air conditioning of a supermarket in Turkey”, Renewable Energy, Vol. 29, pp.1991–1996. CO2 mitigation with thermal energy storage 17

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmamın baőından sonuna kadar engin bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren, ulusal ve uluslar arası yaptığı çalıőmalarla bilim dünyasında saygın bir yeri olan, tanımaktan büyük onur duyduğum Hocam ve danışmanım Sayın Prof.Dr.-İng. Ahmet CAN'a tüm katkılarından ve desteğinden dolayı teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca her zaman yanımda olan ve beni çalıőmalarımda cesaretlendiren sevgili eşim Nurdan UZUN'a da teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Hakan UZUN 1974 yılında Pınarhisar'da doğdu. İlkokul ve Ortaokulu Pınarhisar'da, Liseyi İstanbul'da Kabataş Erkek Lisesinde tamamladı. 1994 yılında girdiği Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden 1998 yılında mezun oldu. Aynı yıl makina tesisat alanında faaliyet gösteren bir firmada proje mühendisi olarak çalışma hayatına başladı. 2000 yılında Edirne PTT Başmüdürlüğünde Mühendis kadrosunda göreve başladı. 2008 yılında Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2008 yılından beri İstanbul PTT Başmüdürlüğü Yapı ve Teknik İşler Müdürlüğünde Mühendis kadrosunda çalışmaktadır.