

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sibel DENİZ

**MAGNEZYUM Klorür TABAKALI GÜNEŞ HAVUZUNUN ENERJİ VE
EKSERJİ VERİMLERİNİN İNCELENMESİ**

FİZİK ANABİLİM DALI

ADANA, 2012

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAGNEZYUM KLORÜR TABAKALI GÜNEŞ HAVUZUNUN ENERJİ VE
EKSERJİ VERİMLERİNİN İNCELENMESİ**

Sibel DENİZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

Bu Tez 27/12/2012 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Doç. Dr. Mehmet KARAKILÇIK
DANIŞMAN

.....
Doç. Dr. Cebail GÜMÜŞ
ÜYE

.....
Yrd. Doç. Dr. Güray KILINÇÇEKER
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Fizik Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. Selahattin SERİN
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: FEF2012YL13

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların
kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere
tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MAGNEZYUM KLORÜR TABAKALI GÜNEŞ HAVUZUNUN ENERJİ
VE EKSERJİ VERİMLERİNİN İNCELENMESİ**

Sibel DENİZ

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI**

Danışman :Doç. Dr. Mehmet KARAKILÇIK
Yıl: 2012, Sayfa: 103
Jüri : Doç. Dr. Mehmet KARAKILÇIK
: Doç. Dr. Cebrail GÜMÜŞ
:Yrd. Doç. Dr. Güray KILINÇÇEKER

Bu çalışmada, 0,96 m çapında, 1,10 m derinliğinde, 5 mm kalınlıklı ve yan duvarları 0,08 m ve tabanı 0,10 m yalıtımlı bir güneş havuzu sistemi inşa edildi. Isı almak için enerji depolama bölgesinin içine, 0,01 m çapında ve 11 m uzunluğunda helozonik biçimde bakır ısı eşanjörü yerleştirildi. Güneş havuzunun iç bölgelerinin sıcaklığını ölçmek için 7 adet sıcaklık sensörü kullanıldı. Bir veri toplayıcısı aracılığıyla, tabakaların sıcaklıkları saatlik olarak kaydedildi. İç bölgedeki tabakaların yoğunlukları ise, 11 adet hortum kullanılarak ve bir hidrometre yardımıyla elle ölçüldü. Güneş havuzunun hem yoğunluk hem de sıcaklık dağılım profilleri, elde edilen verilere için, Ağustos 2012' den Kasım 2012' e kadar çıkarıldı. Güneş havuzunun enerji depolama bölgesindeki ani sıcaklık artışına rağmen güneş havuzunun tuz gradyenti kararlı olduğu görüldü. Güneş havuzunun ısı depolama performansını belirlemek için enerji ve ekserji eşitlikleri çıkarıldı. Bu eşitlikler yardımıyla, güneş havuzunun enerji ve ekserji verimleri hesaplandı. Magnezyum klorür güneş havuzunun enerji ve ekserji verimi sırasıyla, Ağustos ayında maksimum % 27,41 ve % 26,04 olarak, Kasım ayında minimum % 12,64 ve % 12,62 olarak bulundu. Bu verimler, yüksek yoğunluklu magnezyum klorür çözeltili güneş havuz için kısa bir süre içinde elde edilmiştir. Çünkü, güneş havuzu iyi yalıtılmış yan duvarlara sahiptir ve tuzlu su çözeltisi temiz ve iyi optik özellikler taşımaktadır. Sonuçlar, uygun boyutlar ve özelliklere sahip bir magnezyum klorür güneş havuzunun, konutlar ve endüstriler için ısı enerjisi üretmek ve depolamak amacıyla kullanabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş havuzu, Isı depolama, Isı transferi, Enerji and Ekserji

ABSTRACT

MSc THESIS

THE INVESTIGATION OF ENERGY AND EXERGY EFFICIENCIES OF THE SOLAR POND STRATIFIED WITH MAGNESIUM CHLORIDE

Sibel DENİZ

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF PHYSIC

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Mehmet KARAKILÇIK
Year: 2012, Pages: 103
Jury : Assoc. Prof. Dr. Mehmet KARAKILÇIK
: Assoc. Prof. Dr. Cebrail GÜMÜŞ
: Assist. Prof. Dr. Güray KILINÇÇEKER

In this work, an insulated solar pond system with a diameter of 0.96 m, a depth of 1.10 m, the thickness of 5 mm and an insulated side and bottom walls thickness of 0.08 m and 0.10 m was constructed. The spiral copper exchanger was constructed with a diameter of 0.01 m and the length of 11 m to extract of heat in the energy storage zone. 7 temperature sensors were used to measure the temperature of the inner zones of the solar pond. The inner zones' temperature was recorded the hourly by a data acquisition system. The density of the inner zones was measured to manual by using the 11 PVC pipes. Both the density and the temperature distribution profiles were obtained from August, 2012 to November, 2012. In spite of sudden temperature increase in the energy storage zone of the solar pond, the salinity gradient of the solar pond has been stable was shown. Furthermore, the energy and exergy balance equations of the magnesium-chloral solar pond were derived to determine the heat storage performance of solar pond. The solar pond's efficiencies were calculated experimentally by using the energy and exergy balance equations. As a result, the energy and exergy efficiencies of the solar pond were found for the maximum as 27.41 % and 26.04 % in August, for the minimum as 12.64 % and 12.62 % in December, respectively. The efficiencies were obtained in a short time for the solar pond which was stratified with high density magnesium chloride solution. Because, the solar pond has a well insulated side walls and the salty water solution is of clean and good optical properties. The results are shown that a magnesium chloride solar pond which has appropriate dimensions and properties for housing or industries can use in order to produce and store heat energy.

Key Words: Solar pond, Heat storage, Heat transfer, Energy and Exergy

TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve akademik kariyerim yolunda bilgi birikimi ve insani değerleri ile yoluma ışık tutan, yapıcı ve yönlendirici danışman hocam Sayın Do. Dr. Mehmet KARAKILIK' a sonsuz teőekkürler.

Tezim süresince çalıőmama katkıda bulunan ve bilgisini benden esirgemeyen Çukurova Üniversitesi Kimya Bölümü öğretim görevlisi Sayın Yrd. Doç. Dr. Güray KILINÇÇEKER ve Doç. Dr. Cebail GÜMÜŞ hocama teőekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans yapmam konusunda beni cesaretlendiren ve beni yalnız bırakmayan Tuncay TURAN' a, tez çalıőmalarım boyunca beni yalnız bırakmayan Harun ORHAN ve Müzzeyyen İLOĞULLARI' na, yaşadığım her zorlukta yanımda olan ve bana karşı inançlarını hiç yitirmeyen tüm aile fertlerime ve adını yazamadığım bu çalışmaya emeği geçen herkese sonsuz teőekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Güneş Havuzları.....	3
1.1.1. Güneş Havuzunun Yapısı.....	4
1.1.2. Güneş Havuzu Uygulamaları.....	5
1.2. Güneş Enerjisi.....	6
1.2.1. Güneşin Hareketi.....	7
1.2.2. Güneş Işığının Doğrultusu.....	9
1.2.3. Havuz Yüzeyine Gelen Güneş Enerjisi.....	11
1.2.4. Güneş Radyasyonu ve Havuz Yüzeyine Gelen Güneş Işını.....	12
1.2.5. Güneş Enerjisinin Tuzlu Suda Soğurulması.....	14
1.2.6. Havuza Gelen Güneş Işınının Derinlikle Azalması.....	15
1.2.7. Güneş Enerjisinin Havuz İçinde Yansması.....	16
1.2.8. Güneş Havuzlarında Yan Duvar Gölgelemesi.....	17
1.4. Havuz İçerisinde Kütle Hareketi.....	18
1.4.1. Osmatik Basınç.....	18
1.4.2. Diffüzyon.....	19
1.5. Tuzlu Suyun Isı Kapasitesi.....	23
1.6. Tuz Yoğunluğunun Sıcaklıkla Değişimi.....	25
1.7. Güneş Havuzlarında Isı Akışı.....	26
1.7.1. Konveksiyon İle Isı Akışı.....	26
1.7.2. Işıma Yoluyla Isı Akışı.....	27
1.7.3. İletim Yoluyla Isı Akışı.....	27

1.7.4. Yüzeyden Buharlaşma Yoluyla Olan Isı Kaybı	28
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	29
2.1. Doğal Güneş Havuzlarının Keşfi	29
2.2. Yapay Güneş Havuzları ve Gelişimi	29
2.3. Türkiye’ de Güneş Havuzu Çalışmaları	36
3. MATERYAL VE METOD	41
3.1. Materyal.....	41
3.1.1. Tabakaları Oluşturmak İçin Kullanılan Malzeme	41
3.1.2. Magnezyum Klorür Tabakalı Güneş Havuzunun Yapısı	43
3.1.3. SMGH da Kullanılan Isı Yalıtım Malzemesi	43
3.1.4. Havuzun Tuz Yoğunluğu Dağılımını Ölçme Sistemi	44
3.1.5. Sıcaklık Dağılımını Ölçme Sistemi	44
3.2. Metod.....	45
3.2.1. Magnezyum Klorür Tabakalarının Oluşturulması.....	45
3.2.2. Tabakaların Eğimini Koruma Sisteminin Çalışma Prensipleri.....	46
3.2.3. Tabakalardan Numune Çekme ve Yoğunluğunu Ölçme.....	49
3.2.4. Buharlaşma Bölgesinin Su Seviyesini Sabit Tutma.....	51
3.2.5. Sıcaklık Dağılımlarını Ölçme Yöntemi.....	52
3.2.6. Hava Sıcaklığının Ölçülmesi	53
3.2.7. Güneş Havuzunun Enerji ve Ekserji Eşitlikleri.....	54
3.2.7.1. Enerji Eşitlikleri.....	54
3.2.7.1.(1). Buharlaşma Bölgesi Enerji Eşitlikleri.....	54
3.2.7.1.(2). Enerji Yalıtım Bölgesi Enerji Eşitlikleri	55
3.2.7.1.(3). Enerji Depolama Bölgesi Enerji Eşitlikleri	56
3.2.7.2. Ekserji.....	57
3.2.7.3. Güneş Radyasyonu Ekserji Analizi	62
3.2.7.4. MKTGH’ nun Ekserji Analizi	63
4.BULGULAR VE TARTIŞMALAR	69
4.1. MKTGH’ nun Ağustos Ayı Yoğunluk ve Deneysel Sıcaklık Dağılımı.....	69
4.2. MKTGH’ nun Eylül Ayı Yoğunluk ve Deneysel Sıcaklık Dağılımı	74
4.3. MKTGH’ nun Ekim Ayı Yoğunluk ve Deneysel Sıcaklık Dağılımı	77

4.4. MKTGH' nun Kasım Ayı Yoğunluk ve Deneysel Sıcaklık Dağılımı	80
4.5. Yan Duvar Gölgelemesi	83
4.6. Ekserji Verimlilikleri	84
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	95
5.1. Verilerin Değerlendirilmesi ve Öneriler.....	95
KAYNAKLAR.....	97
ÖZGEÇMİŞ	103

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1. Tuzun üretici firmasından edinilen malzeme bilgisi	42
Çizelge 3.2. Enerji ve ekserji kavramlarının karşılaştırılması.....	61

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1. Türkiye 2002 – 2010 yılları arası birincil enerji talebi.....	2
Şekil 1.2. Yalıtımlı Silindirik Model Güneş Havuzunun şematik görüntüsü	4
Şekil 1.3. Dünyanın güneş etrafındaki bir yıllık hareketi	8
Şekil 1.4. Yüzeğe gelen güneş ışığının yeryüzünün yatayı ile yaptığı açılar.....	9
Şekil 1.5. γ yüzeyin azimut açısı	10
Şekil 1.6. Havuz yüzeyine gelen güneş ışınının havuz içerisine dağılımı	17
Şekil 1.7. Osmotik Basınç nedeni ile su transferi	19
Şekil 1.8. Güneş havuzlarında kullanılabilen NaCl, MgCl ₂ , NaHCO ₂ , Na ₂ CO ₃ ve Na ₂ SO ₄ tuzlarının sıcaklıkla değişen konsantrasyonları	26
Şekil 3.1. % 47' lik MgCl ₂ içeren malzemenin içerisindeki KCl, NaCl, CaCl ve kristalleşme suyu kütlece yüzdeleri.....	42
Şekil 3.2. Güneş havuzunu oluşturan tabakalar.....	46
Şekil 3.3. Tuz gradyentini koruma sistemi birleşik kaplar ilkesine dayanır	47
Şekil 3.4. Tuzlu su numunelerinin havuzdan alımı ve ölçülmesi.....	50
Şekil 3.5. Yoğunlukları ölçülen tabakaların yükseklik farkı kullanılarak aynı tabakaya aktarılması	51
Şekil 3.6. Buharlaşma bölgesinin tabaka seviyesini sabit tutma	52
Şekil 3.7. Havuzun sıcaklık değerlerini gösteren bilgisayar programı	53
Şekil 3.8. Ekserji akış diyagramı	64
Şekil 4.1. Tabaka 4 ile tabaka 5 arasındaki ara kesit bölgesi	70
Şekil 4.2. Ağustos ayı içerisinde magnezyum klorür tabakalı güneş havuzunun doğal ortamındaki yoğunluk dağılımı	70
Şekil 4.3. Buharlaşma bölgesinin üst yüzeyindeki kirlilik.....	71
Şekil 4.4. Ağustos ayı enerji depolama bölgesinin sıcaklık dağılımı	72
Şekil 4.5. Ağustos ayı enerji yalıtım bölgesinin sıcaklık dağılımı	73
Şekil 4.6. Ağustos ayı buharlaşma bölgesinin ve hava sıcaklığının dağılımları	73
Şekil 4.7. Eylül ayı içerisinde magnezyum klorür tabakalı güneş havuzunun yoğunluk dağılımı.....	75
Şekil 4.8. Eylül ayı enerji depolama bölgesinin sıcaklık dağılımı	75

Şekil 4.9. Eylül ayı enerji yalıtım bölgesinin sıcaklık dağılımı	76
Şekil 4.10. Eylül ayı buharlaşma bölgesinin ve hava sıcaklığının sıcaklık dağılımları.....	76
Şekil 4.11. Ekim ayı içerisinde magnezyum klorür tabakalı güneş havuzunun yoğunluk dağılımı	78
Şekil 4.12. Ekim ayı enerji depolama bölgesinin sıcaklık dağılımı	79
Şekil 4.13. Ekim ayı enerji yalıtım bölgesinin sıcaklık dağılımı	79
Şekil 4.14. Ekim ayı buharlaşma bölgesinin sıcaklık dağılımı	80
Şekil 4.15. Kasım ayı içerisinde magnezyum klorür tabakalı güneş havuzunun yoğunluk dağılımı	80
Şekil 4.16. Kasım ayı enerji depolama bölgesinin sıcaklık dağılımı.....	81
Şekil 4.17. Kasım ayı enerji yalıtım bölgesinin sıcaklık dağılımı.....	82
Şekil 4.18. Kasım ayı buharlaşma bölgesinin sıcaklık dağılımı.....	82
Şekil 4.19. 23.08.2012 Tarihinde depolama bölgesinde yükseklikler arasındaki gölgeleme sonucu oluşan sıcaklık değişimi.....	83
Şekil 4.20. 31.08.2012 tarihinde depolama bölgesinde yükseklikler arasındaki gölgeleme sonucu oluşan sıcaklık değişim.....	84
Şekil 4.21. Havuzun enerji depolama bölgesine gelen net güneş enerjisi ve ekserjisi.....	85
Şekil 4.22. Havuzun enerji yalıtım bölgesine gelen net güneş enerjisi ve ekserjisi ..	86
Şekil 4.23. Havuzun buharlaşma bölgesine gelen net güneş enerjisi ve ekserjisi.....	87
Şekil 4.24. Havuzun enerji depolama bölgesi ekserji akışı ve toplam ekserji kaybı	88
Şekil 4.25. Havuzun enerji yalıtım bölgesi ekserji akışı ve toplam ekserji kaybı.....	88
Şekil 4.26. Havuzun buharlaşma bölgesi ekserji akışı ve toplam ekserji kaybı.....	89
Şekil 4.27. Havuzun enerji depolama bölgesinin enerji ve ekserji verimleri.....	90
Şekil 4.28. Havuzun enerji yalıtım bölgesi enerji ve ekserji verimleri.....	91
Şekil 4.29. Havuzun buharlaşma bölgesi enerji ve ekserji verimleri	91

SİMGELER VE KISALTMALAR

δ_d	: Eğiklik (Denklikasyon) açısı
ϕ	: Enlem açısı
φ	: Dikkate alınan yüzeyin yatay düzlemle yaptığı açı
α	: Yükseklik açısı
z	: Azimut açısı
θ_g	: Güneş ışınının geliş açısı
γ	: Yüzeyin azimut açısı
w_1, w_2	: Güneş saatleri
w_s	: Güneş saat açısı
n	: Yılın günleri
θ_z	: Zenit açısı
G_{on}	: Yılın n . günü yüzeyin normaline gelen enerji
G_{gs}	: Güneş sabiti
E	: Güneş enerjisi
I_0	: Atmosfer dışı yatay yüzeye gelen güneş enerjisi
H_0	: Atmosfer dışı yatay yüzeye gelen güneş enerjisinin saatlik ortalaması
τ_{ii}	: Alan vektörü gelme düzlemine paralel kutuplanmış bir düzlem dalga için enerji transfer katsayısı
τ_l	: Alan vektörü gelme düzlemine dik kutuplanmış bir düzlem dalga için enerji transfer katsayısı
n_{ts}	: Tuzlu suyun kırılma indisi
n_h	: Havanın kırılma indisi
τ	: Ortalama enerji transfer katsayısı
λ	: Dalga boyu
$I_\lambda(x)$: Işık demetinin x derinliğindeki ışık şiddeti
$I_\lambda(0)$: Işığın $x = 0$ ' da ışık şiddeti
δ_λ	: Işık şiddetinin karakteristik soğurulma derinliği
μ_λ	: Işınının soğurulma katsayısı

$E(x)$: Havuz yüzeyine gelen toplam radyasyon akısının günlük ortalama x derinliğindeki yüzeye ulaşan miktarı
E_g	: Havuzun yüzeyine gelen güneş enerjisi
$H(x)$: Soğurulma fonksiyonu
F	: Fresnel katsayısı
μ	: Azaltma katsayısı
$d\mu$: Kimyasal Değişim
δw_{tr}	: İş alış-verişi
f	: Termodinamik kuvvet
μ	: Kimyasal potansiyel
T	: Sıcaklık
a	: Aktiflik katsayısı
J	: Akı
D	: Difüzyon katsayısı
v	: Göçme hızı
t	: Süre
Y	: Kesit yüzeyi
C	: Isı kapasitesi
T	: Sıcaklık
T_ζ	: Çevre sıcaklığı
H	: Entalpi
E_v	: Sistemin iç enerjisi
q_{kon}	: Konveksiyonel ısı kaybı
h_{kon}	: Isı taşınım katsayısı
λ_m	: Kara cisim ışınması ile yayınlanan ışının maksimum dalga boyu
E_r	: Radyasyon sabiti
k_{su}	: Suyun ısı iletim katsayısı
k_y	: Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı
q_{net}	: Net yüzey ısı akışı
q_{gr}	: Yansımadan sonraki net güneş radyasyonu akısı
g_{ar}	: Net atmosferik radyasyon akısı

g_{sr}	: Yüzey suyunun gerisindeki radyasyon akısı
q_b	: Buharlaşma ısı akısı
q_i	: İletimle ısı akısı
Q_{net}	: EYB' de depolanan ısı enerjisi
Q_{alt}	: Alt tabakadan gelecek ısı enerjisi
Q_{duvar}	: Yan duvarlardan ısı kayıpları
Q_{hava}	: BB' den havaya olan ısı kayıpları
β	: Güneş ışınının suya giriş oranı
E	: Havuz yüzeyine gelen toplam güneş enerjisi
A_{BB}	: BB' nin güneş alan yüzey alanı
F	: δ kalınlığında soğurulan güneş enerjisi kısmı
h	: Güneş ışınım oranı
k_{ts}	: Tuzlu suyun ısı iletim katsayısı
A	: Havuzun yüzey alanı
ΔX	: İki tabakanın orta noktalarının arasındaki uzaklık
T_{EYB}	: EYB' nin sıcaklığı
T_{BB}	: BB' in sıcaklığı
U	: Yüzeyden havaya olan ısı kayıpları
k_{tb}	: Tabanın ısı iletim katsayısı
k_{yd}	: Yan duvarların ısı iletim katsayısı
L_{BB}	: BB' nin kalınlığı
$r_{iç}$: Havuzun iç yarıçapı
Q_{EYB}	: EYB tarafından soğurulan ısı enerjisi
Q_{EDB}	: EDB de soğurulan enerji
$Q_{üst}$: Üst tabakadan soğurulan ısı enerjisi
A_{EYB}	: EYB' nin güneş alan yüzey alanı
T_{EDB}	: EDB' nin ortalama sıcaklığı
T_{EYB}	: EYB' nin ortalama sıcaklığı
L_{EYB}	: EYB' nin kalınlığı
L_{EDB}	: EDB' nin kalınlığı
A_{EDB}	: EDB' nin güneş alan yüzey alanı

W_{tr}	: Tersinir iş
W_y	: Yararlı iş
I	: Tersinmezlik
$X_{yok olan}$: Yok olan ekserji
$S_{üretim}$: Hal değişimi sırasında entropi üretimi
$X_{ısı}$: Isı ile ekserji geçişi
$X_{kütle}$: Kütle ekserjisi
ΔX_{sistem}	: Ekserji dengesi
BB	: Buharlaşma Bölgesi
EYB	: Enerji Yalıtım Bölgesi
EDB	: Enerji Depolama Bölgesi
SMGH	: Silindirik Model Güneş Havuzu
MKTGH	: Magnezyum Klorür Tabakalı Güneş Havuzu
$\dot{E}x_{in}$: Sisteme giren ekserji
$\dot{E}x_{out}$: Sistemden çıkan ekserji
$\dot{E}x_{kn}$: Kinetik ekserji
$\dot{E}x_{pt}$: Potansiyel ekserji
$\dot{E}x_{km}$: Kimyasal ekserji
$\dot{E}x_{fz}$: Fiziksel ekserji
h	: Özgül entalpi
s	: Özgül entropi
T_s	: güneş radyasyonunun sıcaklığını
f	: Difüz radyasyonun seyreltme faktörü
Ex_{solar}	: Havuz yüzeyine gelen güneş ekserjisi
$Ex_{g,EYB}$: EYB' den BB' ye gelen ekserji girişi
Ex_a	: BB' nin üst yüzeyinden havaya iletilen ekserji
$Ex_{d,BB}$: BB içinde soğurulan ekserji
Ex_{sw}	: BB tabakasından yan duvarlara olan ekserji kaybı
$Ex_{r,EYB}$: EYB' den BB' ye ekserji girişi
$T_{m,EYB}$: EYB' nin ortam sıcaklığı
T_{BB}	: BB' nin ortalama sıcaklığı

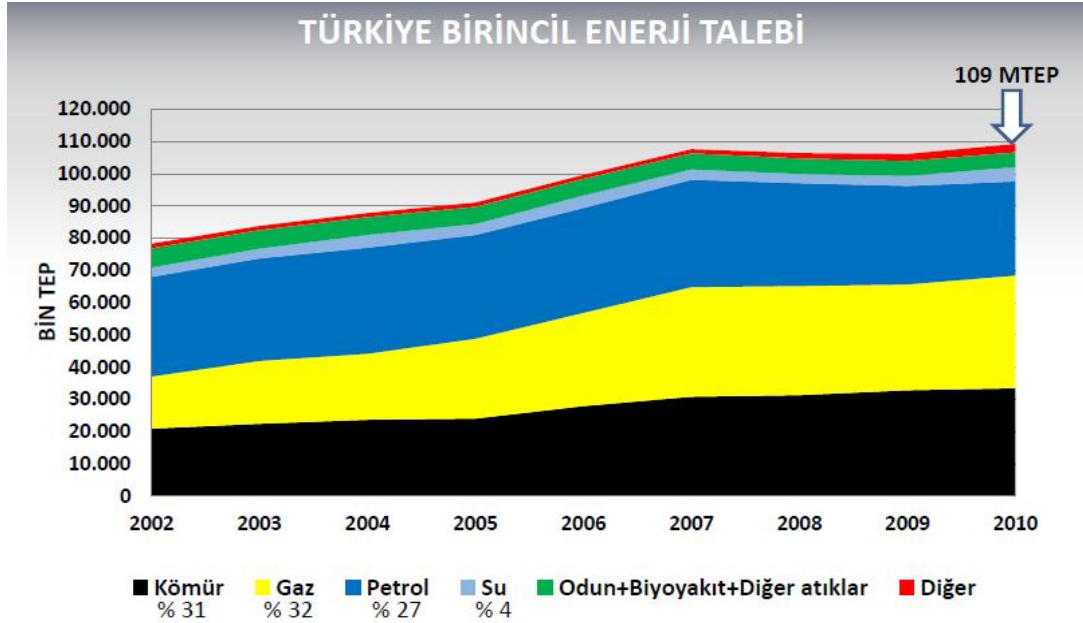
ΔS_{net}	: Entropi değişimi
Ex_{sw}	: Duvar sıcaklığı
Ψ_{BB}	: Ekserji verimi
$Ex_{r,BB}$: BB' den EYB' ye gelen ekserji girişi
$Ex_{g,EDB}$: EDB' den EYB' ye gelen ekserji girişi
$Ex_{r,EYB}$: EDB' den EYB' ye gelen ekserji girişi
$Ex_{b,EDB}$: EDB' den tabana ekserji kaybı

1. GİRİŞ

Enerji, üretimde kullanılması zorunlu bir üretim faktörü ve toplumların yaşam kalitesinin yükselmesi için gerekli bir ihtiyaç kaynağıdır. Günlük yaşamın her aşamasında kullanım alanı bulunmaktadır. Ekonomik anlamda elde edilen enerji kaynakları değişik şekillerde sınıflandırılabilir. En yaygın olarak yapılan sınıflandırma; enerji kaynaklarının kullanılabilirliklerine ve dönüştürülebilirliklerine göre olmaktadır. Kullanılabilirliklerine göre enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak ikiye ayrılırken, dönüştürülebilirliklerine göre enerji kaynakları birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak incelenebilmektedir.

Dünyada nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşme olguları, küreselleşme sonucu artan ticaret olanakları doğal kaynaklara ve enerjiye olan talebi giderek artırmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (UEA) tarafından yapılan projeksiyonlar, mevcut enerji politikaları ve enerji arzı tercihlerinin devam etmesi durumunda dünya birincil enerji talebinin 2007-2030 yılları arasında % 40 oranında artacağına işaret etmektedir. Referans senaryo olarak adlandırılan ve yıllık ortalama % 1,5 düzeyinde talep artışına karşılık gelen bu durumda dünya birincil enerji talebi 2007 yılındaki 12 milyar Ton Eşdeğer Petrol (TEP) düzeyinden 2030 yılında 16,8 milyar TEP düzeyine ulaşacaktır (www.enerji.gov.tr).

İnsanoğlunun ihtiyaçlarının giderilmesinde ve gelişmesinin sağlıklı olarak sürdürülmesinde gerekli olan enerji; sanayi, bina-konut, ulaştırma, tarım gibi alanlarda kullanılmaktadır. Günümüzde kullanılan enerjinin büyük bir kısmı, ucuz olması nedeniyle petrol, kömür, doğalgaz gibi fosil kaynaklardan elde edilmektedir. Şekil 1.1' de Türkiye birincil enerji talebi 2002-2010 yılları arasında verilmektedir. Gerek fosil kaynakların rezervlerinin kısıtlı olması, gerekse söz konusu kaynakların yaydığı çeşitli gazların hava kirliliği ve küresel iklim değişikliklerine neden olması; son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarını ön plana çıkarmaktadır.



Şekil 1.1. Türkiye 2002-2010 yılları arası birincil enerji talebi (www.enerji.gov.tr)

Çevre kirliliği sorunlarını azaltmak, küresel ısınma gibi problemleri aşmak, enerji kaynaklarının tükenmesini engellemek için söz konusu mevcut kaynaklara alternatif olabilecek temiz ve yenilenebilir kaynaklar bulmak, bunların mevcut sistemlere katılımını sağlamak ve mevcut kaynakların kullanım ömürlerini uzatmak için tasarruf sağlayıcı sistemler geliştirmek enerji sorununun çözümünde öncelik olarak gösterilebilir.

Yenilenebilir kaynakların başında çevre dostu ve insan ömrü ile kıyaslandığında tükenmeyen güneş enerjisi gelmektedir. Ülkemiz coğrafi konumu itibarı ile güneş potansiyeli açısından oldukça zengin bir ülkedir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü' nün güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti ölçümleri üzerinde EİE tarafından yapılan çalışmaya göre; Türkiye' nin yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat ve ortalama toplam ışınım şiddeti 1,311 kWh/m²yıl olarak hesaplanmıştır (Kılçık, 2008).

Güneş' ten gelen ışık enerjisi, çeşitli güneş enerji sistemleri kullanılarak konutların sıcak su ihtiyacını karşılama, işlem suyu üretme, sera ısıtma, bitki kurutma, damıtma, elektrik ve ısıl enerji üretme, depolama vb. alanlarda kullanılabilir. Bu nedenle, güneş enerjisi ile çalışan sistemlerin geliştirilmesi

ve uygulanabilirliklerinin araştırılması gerekmektedir. Güneş enerjisinden enerji üretme sistemlerinden birisi güneş havuzlarıdır.

Güneş havuzu güneş enerjisini ısı enerji biçiminde toplayan ve uzun süre depolayabilen, maliyeti ucuz, ileri teknoloji gerektirmeyen bir sistemdir. Bu sistem iç ve dış olmak üzere iki farklı bölgeden oluşmaktadır. İç bölge, farklı yoğunluklarda ve farklı kalınlıklarda temiz inorganik tuzlu su tabakalarından, dış bölge de bu bölgeleri çevreleyen dış yalıtım bölgesinden oluşmaktadır. İç bölgenin en üst tabakası, temiz sudan oluşan üst konveksiyonlu bölgesi (ÜKB)' dir. Bu bölgenin hemen altında ise farklı yoğunluklarda tuzlu su tabakasından oluşan Konveksiyonsuz Bölge ya da Yalıtım Bölgesi (YB) denilen bölge vardır. Bu bölgenin altında ise güneş enerjisinin toplandığı ve ısı olarak depolandığı Depolama Bölgesi (DB) vardır (Karakılçık ve ark., 2005). Sistemin dış bölgesi ise farklı kalınlıklarda ve çeşitli yalıtım malzemelerinden oluşturulmaktadır. Enerji depolama bölgesinin dolayısı ile sistemin depolama performansının artırılması en önemli sorunların başında yer almaktadır. Bu nedenle güneş havuzlarında ısıyı uzun süre tutabilmek için sistemin hem iç hem de dış ısı yalıtımı çok önemlidir. Bu çalışmada, bu kayıplar belirlenmeye çalışılarak enerji ve ekserji analizleri yapılmak suretiyle de küçük boyutlu bir güneş havuzunun enerjistik ve ekserjistik verimleri karşılaştırılarak Magnezyumun Klorür Tabakalı Güneş Havuzu (MKTGH)' nun enerji performansı belirlenmeye çalışılmıştır.

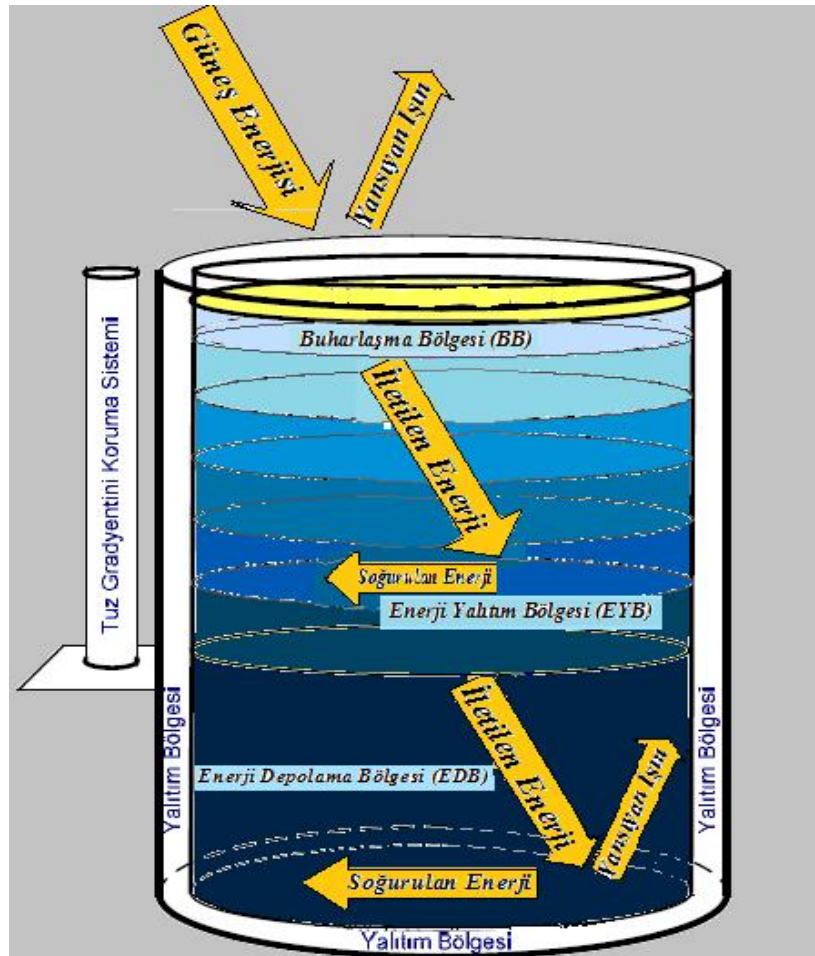
1.1. Güneş Havuzları

Güneş enerjisinden enerji üretme sistemlerinden birisi güneş havuzudur. Güneş havuzu güneş enerjisini ısı enerji biçiminde toplayan ve uzun süre depolayabilen, maliyeti ucuz, ileri teknoloji gerektirmeyen bir sistemdir. Güneş havuzu sistemleri üzerinde yapılan çalışmalarda, havuzun performansının saptanabilmesi önemlidir. Performansı etkileyen faktörlerin belirlenip iyileştirme yoluna gidilebilmesi için güneş havuzlarının yapısı, havuzun yüzeyine gelen güneş ışınının; havuz yüzeyinden itibaren, depolama bölgesinde depolanan enerjinin

kullanım alanına ulaşıncaya kadar geçirdiği fiziksel, termokimyasal ve termofiziksel eşitlikleri göz önüne alınmalıdır.

1.1.1. Güneş Havuzunun Yapısı

Güneş havuzları genellikle yoğunlukları yukarıdan aşağıya doğru artan tuzlu su çözeltisi ile hazırlanan üç bölgeden oluşmaktadır. Şekil 1.2’ de görüldüğü gibi, depolama bölgesi ya da Enerji Depolama Bölgesi (EDB), depolama bölgesinin yalıtıldığı konveksiyonsuz bölge ya da Enerji Yalıtım Bölgesi (EYB) ve üst konveksiyonlu bölge ya da Buharlaşma Bölgesi (BB) olarak adlandırılır.



Şekil 1.2. Yalıtımlı Silindirik Model Güneş Havuzunun şematik görüntüsü

Buharlaştırma bölgesi (BB) temiz su bölgesidir. Havuz yüzeyine gelen ışığın uzun dalga boyuna karşılık gelen kısmı burada soğurulur. Ayrıca bu bölge enerji yalıtım bölgesinin buharlaşmasını engelleyen önemli bir bölgedir. Işığın görünür bölgede kalan kısmı ise, yansımaya, soğurulmaya, saçılmaya uğradıktan sonra geri kalan kısmı enerji yalıtım bölgesine iletilir. EYB’ deki tabakalar havuzun yüzeyine doğru yoğunluğu azalan tabakalardan oluşan bölgedir. EYB’ deki herhangi bir ara tuzlu su tabakası yükselmez çünkü hemen üzerindeki tuzlu su tabakası daha az yoğunluğa sahiptir. Aşağıda inemez çünkü hemen altında daha fazla yoğunluğa sahip tuzlu su tabakası bulunmaktadır. EYB’ den gelen güneş ışını enerji depolama bölgesine ulaşır. EDB çok yoğun tuzlu su çözeltisinden oluşmaktadır ve enerji yalıtım bölgesinden gelen güneş ışınları bu bölgede soğurularak, termal enerji olarak depolanmaktadır. Enerji depolama bölgesinde tutulan ışık enerjisi burada ısı enerjisiye dönüşür ve bu bölgenin sıcaklığı gittikçe artar. Sıcaklık artışı nedeniyle, depolama bölgesinden ısı kayıpları ve difüzyon da artar. EYB’ nin yapısı gereği saydam bir yalıtkan gibi davranır. Güneş ışınının EDB’ ye geçmesine izin verir aynı anda konveksiyonla ısı kayıplarını önler. Böylece EDB’ den konveksiyonla ısı kayıpları sadece iletim yolu ile olur (Karakılçık, 2006).

1.1.2. Güneş Havuzu Uygulamaları

Güneş enerjisinden sıcak işlem suyu ve ısı enerjisi elde etmek amacıyla birçok alanda kullanılabilen sistemlerdir. Bu uygulamalardan bazıları; su ısıtılması, bina ısıtılması, hububat kurutulması, elektrik üretilmesidir.

Güneş havuzlarının sıcak su ısıtması için mükemmel potansiyelleri vardır. Bu uygulama için 2000 m² lik bir güneş havuzu Miamishurg, Ohio’ da inşa edilmiş olup, halen kullanılmaktadır. Bu havuz açık bir yüzme havuzunu ilkbahar ve sonbaharda ısıtmaktadır. Yüzme havuzu ısıtılması, güneş enerjisinin uygulanmasına oldukça uygundur. Çünkü alınan ısı düşük sıcaklıktadır. El Paso, Texas’ da inşa edilmiş bir güneş havuzu da, gıda sanayine sıcak su sağlamaktadır. Güneş havuzunun daha genel uygulaması ise endüstride işlem için (60 °C) sıcak su kaynağı olarak

kullanılmasıdır. Böyle havuzların toplam verimi, bölgenin güneşlenme değerleri ve gereken su sıcaklığına bağlı olarak, % 15-40 arasında değişir.

Isının depolanma kabiliyeti, kışın bina ısıtması olarak havuzların kullanılmasını sağlayabilir. Havuz düşük sıcaklıklarda bir ön ısıtıcı olarak kullanıldığı zaman, daha yüksek verim elde edilir. İstenilen son sıcaklığa ulaşmak için konvansiyonel enerji kaynakları ile birleştirilebilir. ABD ve Portekiz’ de sera ısıtması için güneş havuzları inşa edilmiştir.

Güneş havuzları, ılıman zirai bölgelerde hububatın kurutulması için idealdir. Çünkü güneş havuzu maksimum sıcaklığa yazın sonuna doğru ulaşır ve havuz tahıl kurutma mevsiminin başında enerjisinin çoğunu depolanmış olarak tutar.

İsrail’ de çalışma sıcaklığı maksimum 80-90 °C arasında olan güneş havuzları vardır. Lut gölü bölgesinde, 7500 m², lik bir alana sahip olan elektrik üreten büyük bir havuz bulunmaktadır. İsrail ölü denizde yapılan 250.000 m², lik güneş havuzu 5 MW, Orta Avustralya’ da küçük güneş havuzlu güç istasyonları 20-200 kW aralığında elektrik üretmektedir. Batı Çin’ deki kıraç ve seyrek nüfuslu Oinghai ve Xingiang bölgelerinde de benzer uygulamalar vardır.

Cape Verde adaları gibi, güneşli ve kuru iklimlerde, suyun tuzunun giderilmesi için güneş havuzundan alınan ısı kullanılmaktadır.

Güneş havuzu, tuz yatakları veya tuzlu göllerde maden ayırma çalışmalarında kullanılabilir. Bu çalışmalar, güneş havuzunun en düşük maliyetli kullanımudur. Arjantin’ de, sodyum sülfat kullanan 400 m², lik tuz katmanlı güneş havuzu ticari olarak kullanılmaktadır.

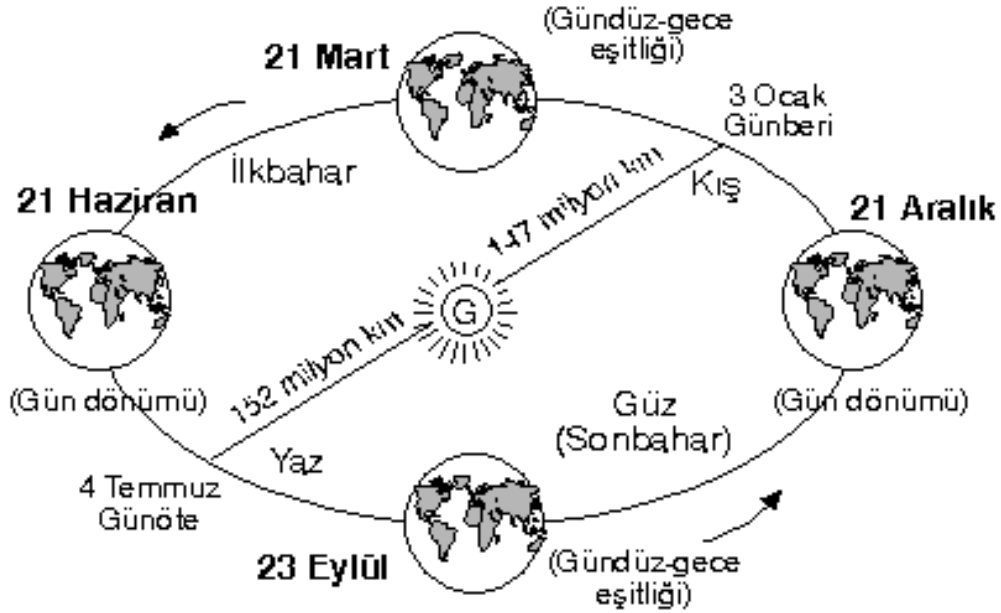
1.2. Güneş Enerjisi

Güneş, oldukça sıcak gaz maddelerden oluşan yarıçapı $1,39 \times 10^9$ m olan bir küredir. Güneşin yeryüzüne uzaklığı yaklaşık $1,5 \times 10^8$ km olup güneş enerjisi ışık hızı ile yeryüzüne 8 dakika 20 saniyede ulaşabilmektedir. Dünyadan bakıldığında güneş dairesi 32 dakikalık bir açı oluşturmaktadır. Bu birçok uygulama için önemlidir. Güneş noktasal olarak düşünülemez. Güneş yüzeyi 5,760 K’ lik etkili bir siyah cisim sıcaklığına sahiptir. Merkeze yaklaştıkça bu sıcaklık çok daha yüksek seviyelere

ulaşmaktadır. Güneş, hidrojeni helyuma dönüştüren devamlı bir füzyon reaktörüdür. Güneşin toplam çıkış enerjisi $3,8 \times 10^{20}$ MW' dır. Buda güneş yüzeyinde 63 MW/m^2 lik enerjiye eşittir. Bu enerji güneşten tüm yönler doğru yayılır. Toplam radyasyonun sadece küçük bir kısmı yeryüzüne ulaşır bu da $1,7 \times 10^{14}$ kW' dır. Buna rağmen güneşten yeryüzüne gelen enerji hesaplandığında 84 dakikada yeryüzüne ulaşan enerji toplamı bir yıllık dünya enerji ihtiyacını karşılayacak kadardır (Kalogirou, 2009).

1.2.1. Güneşin Hareketi

Güneşin gökyüzündeki pozisyonu gün içerisinde her an değişmektedir. Dünyanın güneş etrafındaki hareketi basit değildir, ancak sistematik olduğundan tahmin edilebilmektedir. Dünya güneşin etrafında eliptik yörüngede dönerken aynı zaman da kendi eksenini etrafında döner. Dünya bu dönüşünü eliptik yörüngesi ile $23,45^\circ$ açı yaparak 24 saatte tamamlar. Güneş gün içerisinde gökyüzünde yay şeklinde bir yol izler ve gün ortasında en tepe noktaya ulaşır. Kış, bahar ve yaz olurken güneşin doğuş ve batış noktaları da kuzeye bakan ufuk boyunca yavaş yavaş hareket eder. Kuzey yarım kürede, günler uzar, güneş daha erken doğar, daha geç batar ve güneşin yönü gökyüzünde yükselir. 21 Haziran' da güneş dünyaya göre en kuzeydeki pozisyonunu alır bu yaz gündönümü olarak adlandırılır ve en uzun gündüz yaşanır. Altı ay sonra 21 Aralık' ta güneş en güneydeki pozisyonunu alır ve kış gün dönümü olarak adlandırılır ve en uzun gece yaşanır. Şekil 1.3 dünyanın güneş etrafındaki bir yıllık hareketini göstermektedir.



Şekil 1.3. Dünyanın güneş etrafındaki bir yıllık hareketi (<http://www.delinetciler.net>)

21 Mart ve 21 Ekim tarihlerinde gece – gündüz süreleri eşittir. Bu sırasıyla bahar ve güz gün eşliği (ekinoks) olarak adlandırılır. Yaz ve kış gün dönümleri Güney yarımkürede Kuzey yarımküreninkinin tam tersidir. Yani; Güney yarımkürede 21 Haziran’ da kış gündönümü ve 21 Aralık’ ta ise yaz gündönümü olurken kuzey yarımkürede 21 Haziran’ da yaz gündönümü ve 21 Aralık’ ta kış gündönümü yaşanmaktadır. Bu tarihlerin yaklaşık olarak alındığı ve yıldan yıla azda olsa farklılık gösterebileceği unutulmamalıdır. Güneş enerjisinin birçok uygulamasında güneşin yılın verilen gün ve saatinde gökyüzünde nerede bulunduğunu doğru bir şekilde tahmin etmek oldukça önemlidir. Ptolomaic anlayışa göre, Dünya sabit olarak kabul edilip güneşin hareketi tanımlanmaktadır. Bu durumda güneş gökyüzünde iki açıyla hareket etmektedir. Bu nedenle güneşin pozisyonu dünyadaki gözlemciye bağlı olarak iki astronomik açı vasıtasıyla tamamen tanımlanabilir. Bu açılar güneşin yükseklik açısı (α) ve azimut (z) açısıdır.

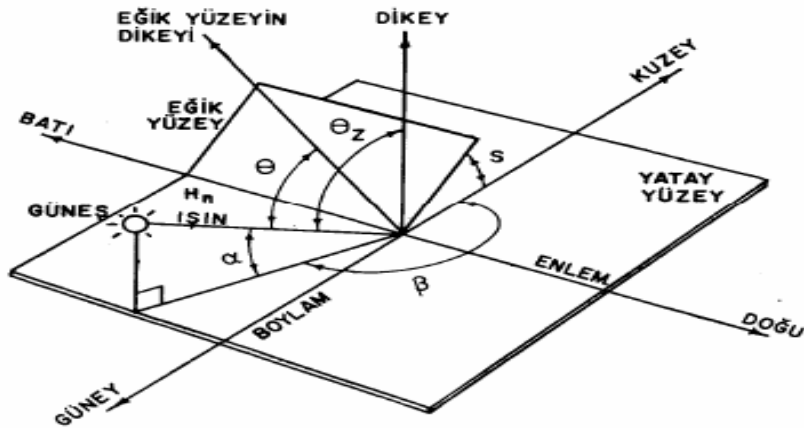
Güneş hareketinin yatay yüzeye düşen güneş enerjisi miktarı üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır. Güneş havuzlarının performansı ve verimi havuz yüzeyine gelen güneş enerjisi miktarına da bağlıdır. Dolayısıyla, havuz yüzeyine gelen enerji miktarının saptanması gerekmektedir.

1.2.2. Güneş Işığının Doğrultusu

Güneş ışığının geliş açısı θ_g , güneşten gelen doğrusal ışın ile dikkate alınan yüzeyin normali arasındaki açıdır. Buna göre,

$$\begin{aligned} \cos q_g = & [\sin(d_d)\sin(f)\cos(j) - \sin(d_d)\cos(f)\sin(j)\cos(g)] \\ & + \cos(d_d)\cos(f)\cos(j)\cos(w_s) \\ & + \cos(d_d)\sin(f)\sin(j)\cos(g)\cos(w_s) \\ & + \cos(d_d)\sin(j)\sin(g)\sin(w_s) \end{aligned} \quad (1.1)$$

eşitliği ile verilir. Eşitlik 1.1' de belirtilen Şekil 1.4 ve Şekil 1.5' de gösterilen açılar;



Şekil 1.4. Yüzeğe gelen güneş ışığının yeryüzünün yatayı ile yaptığı açıları (Kıncay, Güneş enerjisi ders notları II)

Eğiklik (deklınasyon) açısı (δ_d) : Deklınasyon açısı aylara ve mevsimlere göre, güneş ışınlarının dünyaya geliş açılarıdır. Bu açının en büyük değeri yaz ve kış gündönümlerinde, $\pm 23.45^\circ$ 'dir. Bu açının oluşumundan dolayı güneş ışınları kış gündönümünde en düşük değeri 21 Aralık' ta -23.45° güney enlemine, yaz gündönümünde de 21 Haziran'da $+23.45^\circ$ kuzey enlemine diktir.

Güneş deklınasyon açısının yılın herhangi bir günü için yaklaşık olarak değeri Cooper eşitliği ile bulunabilir,

$$d_d = 23,45 \sin \left[360 \left(\frac{284 + n}{365} \right) \right] \quad (1.2)$$

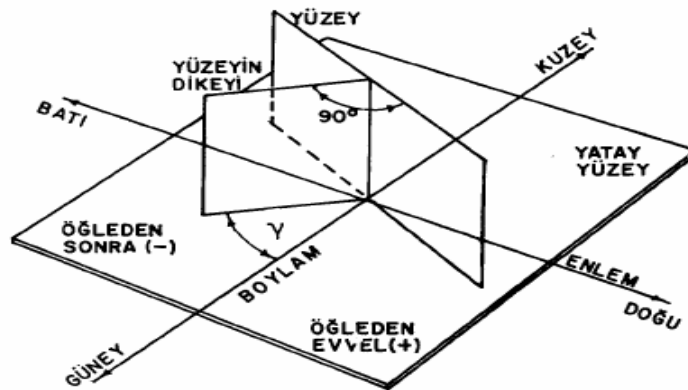
Burada n , yılın herhangi bir günüdür ve $1 \leq n \leq 365$ ' dir (Duffie ve ark., 1980).

Güneş saat açısı (w_s): Bölgesel olarak tepedeyken 0° dir ve her 15° lik boylam 1 saate karşılık gelmektedir. Öğleden sonraki saatler için pozitif, sabah saatleri için negatif alınmaktadır. Saat açısı derece olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$w_s = \pm 0,25 \text{ (dk.)} \quad (1.3)$$

Yüzeyin azimut açısı (γ): Yerel boylamdan yüzey normalinin sapmasıdır ve güneye bakan yüzey için sıfırdır. Şekil 1.5' te gösterilen yüzey azimut açısı, doğu için pozitif, batı için negatif değerler alır. Matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$\sin(\gamma) = \frac{\cos(d_d) \sin(w_s)}{\cos(a)} \quad (1.4)$$



Şekil 1.5. γ yüzeyin azimut açısı (Kıncay, Güneş enerjisi ders notları II)

Zenit açısı (θ_z) : Gelen ışının yatay düzlemin normali ile yaptığı açıdır. Buradan güneşin geliş açısı, yatay yüzey için $\varphi=0$, olduğundan Zenith açısına eşit olup,

$$q_g = q_z = \cos^{-1}[\cos(d_d)\cos(f)\cos(w_s) + \sin(d_d)\sin(f)] \quad (1.5)$$

eşitliğine göre hesaplanır.

Enlem açısı (Φ): Dikkate alınan yüzeyin yatay düzlemle yaptığı eğim açısıdır. $-90 \leq \Phi \leq 90$ güneş yükseklik açısının bulunacağı bölgenin enlem derecesidir ve Kuzey Yarım Küre için (+), Güney Yarım Küre için (-) dir.

1.2.3. Havuz Yüzeyine Gelen Güneş Enerjisi

Duffie ve Beckman (1980), tarafından atmosfer dışındaki yatay bir yüzeye gelen güneş enerjisi;

$$G_{on} = G_{gs} \left[1 + 0.033 \cos\left(360 \frac{n}{365}\right) \right] \quad (1.6)$$

eşitliği ile verilmiştir. Burada G_{gs} güneş sabiti olup, güneş yüzeyinden yayılarak dünya atmosferine kadar ulaşabilen enerji (1353 W/m^2); G_{on} , yılın n. günü yüzeyin normaline gelen enerji (W/m^2); n, yılın günleridir. Yatay yüzeye bir gün boyunca gelen ışınım miktarı;

$$E = \frac{24.360G_{gs}}{p} \left[1 + 0.033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \left[\cos(g)\cos(d_d)\sin(w) + \left(\frac{pw}{180}\right)\sin(g)\sin(d_d) \right] \quad (1.7)$$

Aynı yüzeye gelen güneş enerjisinin atmosfer dışı yatay yüzeye gelen ışınım miktarı J/m^2 cinsinden;

$$I_0 = \left[\frac{24.3600 \cdot G_{gs}}{p} \right] \left[1 + 0.033 \cos \left(360 \frac{n}{365} \right) \right] \left[\cos(f) \cos(d_d) \sin(w_s) \right. \\ \left. + \left(\frac{2pw_d}{360} \right) (w_2 - w_1) \sin(f) \sin(d_d) \right] \quad (1.8)$$

Aynı yüzeye gelen güneş enerjisinin saatlik ortalama değerleri ise,

$$H_o = \left[\frac{12.3600G_{gs}}{p} \right] \left[1 + 0.033 \cos \left(360 \frac{n}{365} \right) \right] \left[\cos(f) \cos(d_d) \sin(w_2 - w_1) \right. \\ \left. + \left(\frac{2\pi w_s}{360} \right) (\omega_2 - \omega_1) \sin(\varphi) \sin(\delta_d) \right] \quad (1.9)$$

burada, w_1 ve w_2 günün saatlerini; n , yılın günlerini ve doğuş ve w , günlük saat açısını ifade eder (Duffie ve Beckman, 1980).

1.2.4. Güneş Radyasyonu ve Havuz Yüzeyine Gelen Güneş Işını

Güneş radyasyonu genel olarak üç gruba ayrılır.

- Işık radyasyonu; güneş radyasyonunun hiçbir noktaya çarpmadan, dünyadaki bir noktaya direkt olarak gelmeleri ışık radyasyonunu oluşturur. Güneşli bir günde bir yüzeye gelen toplam radyasyonun %80 kadarı ışık radyasyonudur.
- Yayılmış ya da dağıtılmış radyasyon; her yönden gelen güneş ışınları, atmosfer ortamında bulunan partiküller, su buharı ve mikroskobik katı cisimlere çarparak dağılmış güneş ışınları, yayılmış radyasyonu oluşturur.

Bulutlu bir günde güneş ışınlarının hemen hemen tamamı yayılmış radyasyondur.

- Parlak yüzeylerin yansıttığı yansıyan radyasyon; cisimlerin ön yüzelerine gelen direkt ya da yayılmış radyasyonun yansıtılmış şeklidir. Yansıtılmış radyasyonun miktarı, yansıyan yüzeylerin renklerine göre değişiklik gösterir.

Güneşten gelen radyasyonun miktarını belirlemek önemlidir. Radyasyon miktarı güneşin hareketi esnasında yüzeye yaptığı açıya bağlı olarak değişiklik gösterir. Güneş ışınlarının gelme açısı yaklaşık dik olduğunda yansıma çok az olacağından içine giren radyasyon miktarı daha fazla olacaktır. Bu nedenle güneş enerjisinden hangi oranlarda yararlanabileceğimizi saptamak için direk, yayılmış, yansıtılmış radyasyon hesaplanmalıdır.

Havuz yüzeyine gelen güneş ışınlarının bir kısmı yüzeyden yansır kalan kısmı suya girer. Hava-su yüzeyinden yansıyan ve içeri giren ışın miktarı gelen ışının normale yaptığı açıya göre değişir. Gelen elektromanyetik dalga gelme düzlemine paralel ve dik elektrik alanlardan oluşmaktadır. Elektrik alan vektörü gelme düzlemine paralel kutuplanmış bir düzlem dalga için enerji transfer katsayısı,

$$t_{11} = 4n_{ts} \cos q_g \cos q_k / (4n_{ts} \cos q_g \cos q_k + (\cos q_g \cos q_k)^2) \quad (1.10)$$

eşitliği ile verilir. Burada n_{ts} , suyun kırılma indisi; θ_g , gelen ışının yüzey normali ile yaptığı açı ve θ_k , kırılan ışının yüzeyin normali ile yaptığı açıdır. Snell yasasına göre bu iki açı arasındaki ilişki;

$$n_h \sin q_g = n_{ts} \sin q_k \quad (1.11)$$

eşitliği ile tanımlanır. Burada n_h , havanın kırılma indisi olup $n_h=1$ dir. Tuzlu suyun kırılma indisi n_{ts} , suyun kırılma indisine eşit alınabilir.

Alan vektörü gelme düzlemine dik kutuplanmış bir düzlem dalga için ise enerji transferi katsayısı,

$$t_i = 4n_{ts} \cos q_g \cos q_k / (n_{ts} \cos q_g + \cos q_k)^2 \quad (1.12)$$

eşitliği ile verilir. Yeryüzüne doğrudan ulaşan güneş ışınları kutuplanmadığı için ortalama transfer katsayısı,

$$t = (t_u + t_i) / 2 \quad (1.13)$$

ile verilir.

1.2.5. Güneş Enerjisinin Tuzlu Suda Soğurulması

Güneş havuzları yapımında kullanılan tuz molekülleri suyun geçirgenliğini yok denecek kadar az etkiler. Bu nedenle havuz içinde bulunan tuz ve su molekülleri yüzeye gelen güneş ışınının çok az miktarının saçılmasına neden olur. Saçılmanın en büyük etkeni havuzun kirlilik oranıdır. Güneş havuzunun kirliliği güneş ışığının saçılmasına neden olur. Bu durum havuzun performansını etkiler. Güneş ışığının derinliğe bağlı olarak su içerisinde soğurulması şöyledir.

Dalga boyu λ olan bir ışık demeti, dalga boyuna ve aldığı yola bağlı olarak soğrulur. Buna göre ışının ''x'' derinliğindeki şiddeti;

$$I_1(x) = I_1(0) \exp\left(\frac{-c}{d_1}\right) \quad (1.14)$$

ifadesi ile verilir. Burada $I_1(x)$, λ dalga boylu ışık demetinin x derinliğindeki şiddetini; $x=0$ 'daki şiddetini; δ_λ , λ dalga boylu gelen ışının karakteristik soğurulma derinliğini verir ve $\mu_\lambda = 1/\delta_\lambda$, λ dalga boylu ışının soğurulma katsayısıdır. Bu ifadeyi (1.14) eşitliğinde yerine yazarsak;

$$I_1(c) = I_1(0) \exp(-m_1 c) \quad (1.15)$$

ifadesi ile verebiliriz.

1.2.6. Havuza Gelen Güneş Işınının Derinlikle Azalması

Güneş havuzuna gelen radyasyon derinlikle azalmaktadır. Havuzun "x" derinliğine ulaşan güneş radyasyonu;

$$E(x) = E_g H(x) \quad (1.16)$$

eşitliği ile verilmektedir (Rabl ve ark., 1975). Burada, E_g , havuz yüzeyinin tam altındaki güneş radyasyonudur. Derinlikle azalma fonksiyonu $H(x)$ sadece "x"e bağlı olmayıp aynı zamanda, θ_k , kırılma açısı ve zamana bağlı bir parametredir. $H(x)$, Rabl ve Nielsen' e (1975) (RN modeli) göre, verilerine eşit olan sekiz parametre yeterlidir. Rabl-Nielsen (RN) modeli;

$$H(x) = \sum_{i=1}^4 h_i \exp(-m_i \sec q_k) \quad (1.17)$$

eşitliği ile açıklanmaktadır. Bryant ve Colbect (1977) iki parametrelili basit bir eşitlik önermektedir. Bu eşitlik,

$$H(x) = a - b \ln(x \sec q_k) \quad (1.18)$$

ile verilir. Buna göre, (1.17) eşitliği, yukarıdaki (1.18) eşitliği ile uyum içindedir. Aynı zamanda Kooi (1979) tarafından örneklerle açıklanan Defant (1961)' in orijinal verilerine gayet iyi bir şekilde uymaktadır. Yukarıdaki (1.17) eşitliğinde Rabl-Nielsen tarafından verilen η_i ve μ_i ya da Bryant-Colbect tarafından deniz suyu için verilen a ve b değerleri sırasıyla 0.36 ve 0.08 dir. Bunlar, Defant' in özellikle belirttiği deniz suyu için geçerlidir (Joshi ve Kishore, 1985). Bu iki eşitlik artık enerji miktarının aşağıya doğru azaldığını ifade eder ve Kooi' in verdiği örneklerle gayet

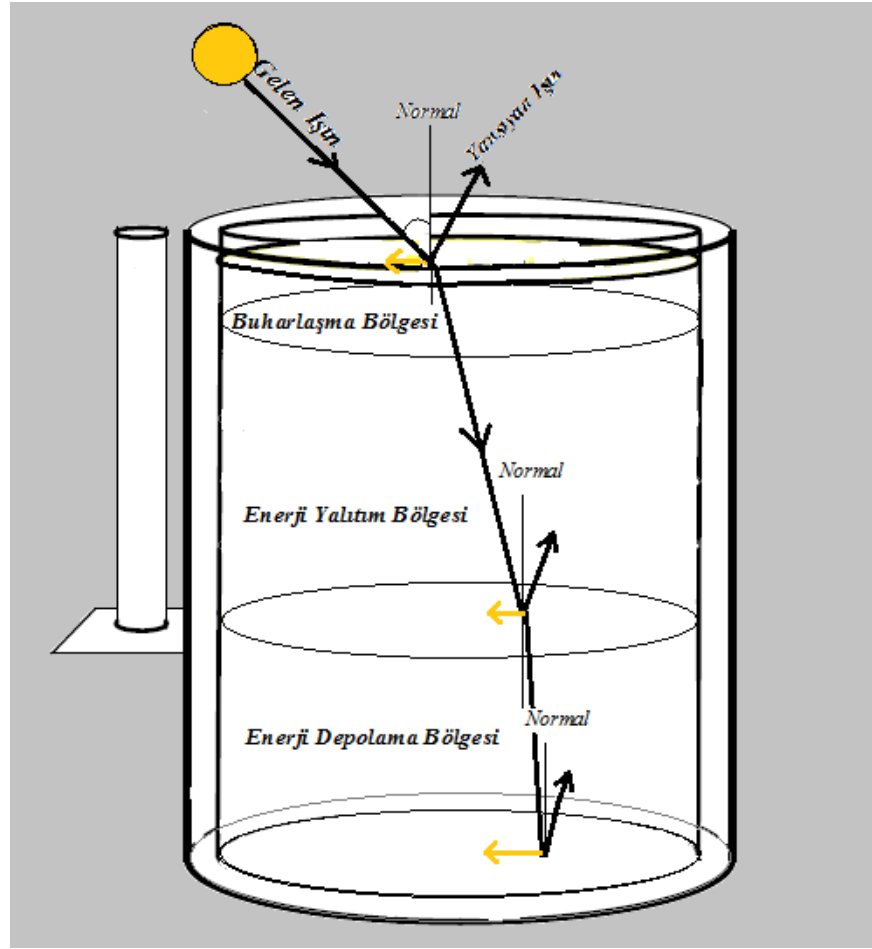
iyi uyumludur. Bu konuda ilk olarak Weinberger (1964), son olarak da Hawlader ve Brinkwort (1981) tarafından HB modeli denilen ve tek parametrelili bir eşitlik önerilmiştir. Bu eşitlik,

$$H(x) = (1 - F) \exp[-m(X - d) \sec q_k] \quad (1.19)$$

ile verilir. Burada, μ , azaltma katsayısının değerleri farklı tuzlar için seçilmektedir. Bu katsayı, temiz ve temiz olmayan sular için 0.32 m^{-1} ve 1 m^{-1} ve F parametresi 0.4 ve δ 'de 0.06 m alınabilir (Joshi ve ark., 1985).

1.2.7. Güneş Enerjisinin Havuz İçinde Yansıması

Güneş havuzunun yüzeyine gelen güneş ışınının bir kısmı havuzun yüzeyinden, bir kısmı EYB' den BB' ye bir kısmı EDB' den EYB' ye ve bir kısmı da havuzun tabanından yansıtılır. Şekil 1.6' da bu yansımalar şematik olarak gösterilmiştir. Srinivasan ve Guha (1987), havuzun tabanında güneş radyasyonunun yansıma etkisi üç bölgeli bir model kullanılarak saptamaya çalışmışlardır. Yapmış oldukları çalışmalarda havuzun taban kirliliğinin depolama bölgesi sıcaklığını azaltmadığı fakat içinde çözünmemiş ve asılı halde duran tuz taneciklerinin havuz tabanından yansımaları arttırdığı ve depolama bölgesinin sıcaklığını azalttığı belirtilmiştir. Bu yüzden, taban yansıma etkilerinin dikkate alınması gerektiği söylenmiştir.



Şekil 1.6. Havuz yüzeyine gelen güneş ışınının havuz içindeki dağılımı

1.2.8. Güneş Havuzlarında Yan Duvar Gölgelemesi

Güneş ışınlarının geliş açısına bağlı olarak güneş havuzlarının yan duvarlarının oluşturduğu gölgelenmeler güneş havuzunun performansını etkilemektedir. Küçük ölçekli güneş havuzlarında güneş enerjisinin toplanmasında havuzun yan duvarlarının etkileri araştırılmış ve bunun küçük ölçekli güneş havuzları için önemli bir faktör olduğu belirtilmiştir (Hassab ve ark., 1991). Düşey yan duvarın havuz içindeki gölge uzunluğu,

$$G = h \tan(q_g)$$

(1.20)

eşitliği ile verilir. Burada G , havuz düşey yan duvarının taban yatay alanı üzerindeki gölgeleme uzunluğu (gölgeleme faktörü); h , düşey yan duvarın tabandan itibaren yüksekliğidir. (1.5) Eşitliği ile verilen ve (1.20) Eşitliğinde yerine yazılırsa gölge uzunluğu aşağıdaki bağıntı ile verilir (Karakılçık, 1998);

$$G = h \tan \left\{ \cos^{-1} [\cos(d_d) \cos(f) \cos(w) + \sin(d_d) \sin(f)] \right\} \quad (1.21)$$

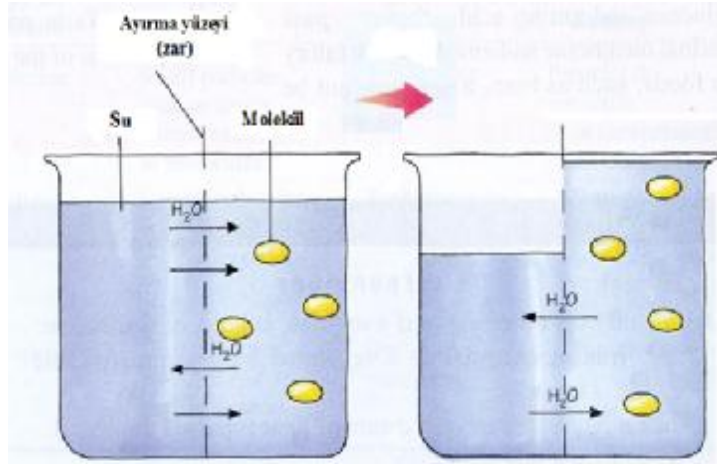
1.4. Havuz İçerisinde Kütle Hareketi

Güneş havuzlarının iç tabakalarının oluşturulması için kullanılan kimyasal bileşiğin suyun optik özelliğini bozmaması ve güneş enerjisini en iyi şekilde depolayabilmesi gerekmektedir. Bu gereksinimi mümkün olduğunca karşılayan kimyasal bileşikler tuz gruplarıdır. Tuz grupları; suda tamamen çözünebilen, çözeltisi elektrolit yani çözelti içerisinde serbest iyon içeren ve elektiriksel iletkenliğe sahip ortam yaratırlar. Tabakalar üst üste yığılmaya başladığı andan itibaren tabakalar arasında yoğunluk farkı ve iyonların karakteristik özelliklerinden dolayı hareketlenmeler oluşur. Tabakalar arasında çözünen madde miktarı farkı nedeni ile osmotik basınç ve kütle transferi (difüzyon) başlar. Sıcaklığın artması ile birlikte osmatik basınç ve difüzyon da sıcaklık artışı ile doğru orantılı olarak artar.

1.4.1. Osmotik Basınç

Osmotik etki şematik olarak Şekil 1.7' de gösterilmiştir. Osmoz hücresinin sol tarafına su, sağ tarafına ise çözelti konulmuştur. Su ve çözelti, sadece su moleküllerinin geçişine izin veren yarı geçirgen bir zarla ayrılmıştır. İlk başta hücrenin her iki tarafındaki sıvı seviyeleri aynıdır. Bir süre sonra çözelti tarafındaki sıvının seviyesinin artmaya başladığı ve daha sonra bu artışın durduğu gözlenir. Bu seçici taşınımaya "osmoz" denir. Su moleküllerinin zardan geçişini durdurmak için çözelti tarafına belli bir basınç uygulanması gerekmektedir. Bu basınç osmotik basınç olarak adlandırılır. Bu basınç, çözeltideki taneciklerin (iyonlaşmamış

moleküller, iyonlar, makromoleküller) sayısına bağlı olarak değişebilir (Tırnaksız, 2009).



Şekil 1.7. Osmotik basınç nedeni ile su transferi

Osmotik basınç π ile gösterilir ve Van't Hoff eşitliği ile verilir.

$$p = iRTC \quad (1.22)$$

burada i , Van't Hoff' a göre m konsantrasyonundaki bir elektrolit çözeltinin gösterdiği osmatik etkinin, aynı konsantrasyonda elektrolit olmayan bir madde çözeltisinin gözlenen osmatik etkisine oranıdır. C molalite (mol/L) , T sıcaklıktır (Üneri. 1988).

1.4.2. Diffüzyon

Moleküller ve iyonlar sabit sıcaklık ve sabit basınçta kimyasal potansiyellerinin büyük olduğu yerden küçük olduğu yere doğru kendiliğinden yayınırlar. Bu yayınma olgusuna difüzyon denir. Tersinir yayınma sırasındaki $d\mu$ kimyasal değişimi $\delta\omega_{tr}$ iş alışverişine eşit alınarak (Sarıkaya, 2008);

$$dw_{ir} = dm = \left(\frac{\partial m}{\partial c} \right)_{T,p} dc = -fdx \quad (1.23)$$

şeklinde yazılabilir. Burada, sabit sıcaklık ve sabit basınçta kimyasal potansiyelin x konum ile değişme hızına termodinamik kuvvet adı verilmektedir. Termodinamik kuvvet;

$$f \equiv - \left(\frac{\partial m}{\partial c} \right)_{T,p} \quad (1.24)$$

şeklinde gösterilmektedir (Sarıkaya, 2008).

Bir çözelti içinde hareket eden partiküllerin aktifliği a ile gösterildiğinde kimyasal potansiyeli:

$$m = m^* + RT \ln a \quad (1.25)$$

şeklinde yazılabilir. Eğer çözelti düzgün değilse yani aktiflik ya da molarite konuma bağlı ise gerçek ve ideal çözeltilerde hareket eden partiküller için termodinamik kuvvetler sırasıyla,

$$f = -RT \left(\frac{\partial \ln a}{\partial x} \right)_{T,p} \quad (1.26)$$

$$f = -RT \left(\frac{\partial \ln c}{\partial c} \right)_{T,p} = - \frac{RT}{c} \left(\frac{\partial c}{\partial c} \right)_{T,p} \quad (1.27)$$

şeklinde verilebilir.

Partiküllerin sürükleyici olan f termodinamik kuvveti Stokes sürtünme kuvvetine eşit olduğunda partiküller sabit değere ulaşan v göçme hızı ile hareket ederler. Partikül akısı J , göçme hızı v , termodinamik kuvvet f ile, f kuvveti ise dc/dx ile orantılıdır. Buna göre, $f-v$, $v-f$ ve dc/dx olduğundan $J-dc/dx$ yazılabilir. Burada birim alandan birim zamanda geçen partiküllerin molar miktarı olarak tanımlanabilen akı için birinci Fick Yasası;

$$J = -D \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right)_t \quad (1.28)$$

şeklinde yazılabilir. Buradaki eksi işareti x ile c 'nin ters yönde değişmesinden kaynaklanmakta, D orantı sabitine ise difüzyon katsayısı adı verilmektedir. Belli bir t süresinde v geçme hızı ile kesiti Y olan bir pencereden geçen, yani molaritesi c olan vY hacmindeki bir çözeltinin içindeki partiküllerin madde miktarı vYc olacaktır. Buradan molar madde akısı için;

$$J = \frac{vYc}{Yt} = vc \quad (1.29)$$

eşitliği yazılabilir. Son iki bağıntının birbirine eşitlenmesiyle göçme hızı için

$$vc = -D \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right)_t \quad (1.30)$$

$$v = -\frac{D}{c} \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right)_t = \frac{D}{RT} f \quad (1.31)$$

eşitliği bulunur.

Kesiti Y olan ince bir yüzeyin d yolunu alarak x konumundan $x+d$ konumuna geldiğini düşünelim. Herhangi bir t zamanında x konumundaki derişim c olsun. Birim zamanda x konumundaki ince yüzeyden partiküllerin molar miktarı JY olur. Bu akım göz önüne alındığında Yd hacminde derişim artacaktır. Buradan derişimin zamanla değişme hızı için $J(x) \equiv J$ alınarak

$$\left(\frac{\partial c}{\partial t}\right)_x = \frac{JY}{Yd} = \frac{J}{d} \quad (1.32)$$

eşitliği yazılabilir. Diğer taraftan $x+d$ konumundaki Y yüzeyinden geçen partiküller Yd hacmindeki derişimin düşmesine neden olacaktır. $J(x+d) \equiv J'$ alınarak derişimin zamanla değişme hızı için

$$\left(\frac{\partial c'}{\partial t}\right)_x = -\frac{J'Y}{Yd} = -\frac{J'}{d} \quad (1.33)$$

eşitliği yazılabilir. Buna göre $(J-J')$ farkından x ile $x+d$ arasında kalan bölmede derişimin zamanla net değişimine geçebilir. Her akı yerine birinci Fick yasasından eşiti yazılarak;

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial c}{\partial t}\right)_x &= -\frac{D}{d}\left(\frac{\partial c}{\partial x}\right)_t + \frac{D}{d}\left(\frac{\partial c'}{\partial x}\right)_t = -\frac{D}{d}\left(\frac{\partial c}{\partial x}\right)_t + \frac{D}{d}\left\{\frac{\partial}{\partial x}\left[c + \left(\frac{\partial c}{\partial x}\right)_t d\right]\right\}_t \\ &= D\left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2}\right) \end{aligned} \quad (1.34)$$

şeklinde Fick'in ikinci yasası bulunur. Derişim hem x hem de t ' nin fonksiyonu olduğundan bir kısmi diferansiyel denklem olan bu yasa;

$$\left(\frac{\partial c}{\partial t}\right)_x = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2}\right)_t \quad (1.35)$$

şeklinde verilir. Parabolik tipte lineer ve homojen bir kısmi diferansiyel denklem olan bu eşitlik sınır koşulları göz önüne alınarak çözülebilir. Bir boyutlu ve üç boyutlu uzaydaki çözümler $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$ olmak üzere sırayla,

$$c = \frac{c_0}{2(pDt)^{1/2}} e^{-x^2/4Dt} \quad (1.36)$$

şeklinde verilmektedir. Yukarıdaki eşitlikte bulunan D difüzyon katsayısı tepkime hız sabiti gibi düşünülerek sıcaklığa bağlılığı için;

$$D = D_0 e^{-E/RT} \quad (1.37)$$

eşitliği yazılır (Sarıkaya, 2008).

1.5. Tuzlu Suyun Isı Kapasitesi

Bir sistemin ısı kapasitesi (C), sistemin sıcaklığını 1 °C artırmak için gerekli ısı miktarı olarak tanımlanabilir. Sistemin ölçülemeyecek kadar küçük bir işlem olduğunu kabul edelim. Bu işlem esnasında ısı sisteme transfer olur, sistem tarafından bir miktar iş yapılır ve iç enerjide bir miktar değişim olur.

$$dq = dE + dW \quad (1.38)$$

İlave olarak prosesin izotermal olmadığı, sıcaklığında dT kadar bir değişim meydana geldiği kabul edilsin. Bu durumda ısı kapasitesini,

$$C = \left(\frac{dq}{dT} \right) \quad (1.39)$$

veya

$$C = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta q}{\Delta T} \right) \quad (1.40)$$

şeklinde tanımlayabiliriz. q değeri bir hal özelliği olmadığından q daki bir değişim tam bir diferansiyelle sunulamaz. Bununla birlikte özel işlem tipleri için ısı kapasitesi tanımlaması yapılarak bu zorluğun üstesinden kolayca gelinebilir. İki tipte ısı kapasitesi arasında tercih yapılabilir. Bunlar sabit basınçtaki ısı kapasitesi (C_p) ve sabit hacimdeki ısı kapasitesi (C_v) olup,

$$C_p = \left(\frac{dq_p}{dT_p} \right) \quad (1.41)$$

ve

$$C_n = \left(\frac{dq_n}{dT_n} \right) \quad (1.42)$$

şeklinde tanımlayabiliriz. Sabit basınçtaki bir proses için,

$$q_p = dH_p \quad (1.43)$$

$$dq = dH_p \quad (1.44)$$

ve benzer şekilde sabit hacimdeki işlem için,

$$q_p = \Delta E_n \quad (1.45)$$

$$dq_n = dE_n \quad (1.46)$$

ifadeleri geçerlidir. Burada E_n , sistemin iç enerjisi; H ise sistemin entalpisidir. Entalpi maddenin yapısında depoladığı her türden enerjilerin toplamıdır. Genel olarak,

$$C_p = \left(\frac{dq}{dT} \right)_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_p \quad (1.47)$$

$$C_n = \left(\frac{dq}{dT} \right)_n = \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_n \quad (1.48)$$

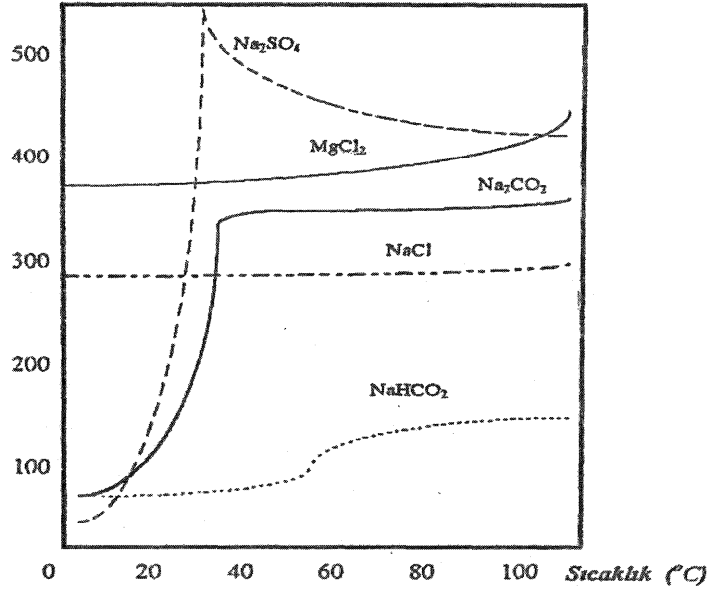
şeklinde ifade edilir. Sabit hacim altında, sıcaklık T_1 den T_2 ye değiştirilirse, meydana gelen entalpi değişimi;

$$\Delta H = H(T_1, P) - H(T_2, P) = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \quad \text{dir.} \quad (1.49)$$

şeklinde gösterilmektedir (Sarıkaya 2008).

1.6. Tuz Yoğunluğunun Sıcaklıkla Değişimi

Güneş havuzlarında NaCl, MgCl₂, NaHCO₂, Na₂CO₃ ve Na₂SO₄ tuzlarından yararlanmak mümkündür. Bu tuzlardan NaCl ve MgCl₂' ün çözünürlüğü sıcaklıkla fazla miktarda değişmez. Bu nedenle güneş havuzlarında kullanımları yaygındır. Şekil 1.8' de güneş havuzlarında kullanılabilen bu tuzların sıcaklığa göre konsantrasyonla değişimleri görülmektedir.

Doğunluk Derişimi (Kg/m³)

Şekil 1.8. Güneş havuzlarında kullanılabilen NaCl, MgCl₂, NaHCO₂, Na₂CO₃ ve Na₂SO₄ tuzlarının sıcaklıkla değişen konsantrasyonları (Demirdöver, 1995).

1.7. Güneş Havuzlarında Isı Akışı

Güneş havuzlarının performansını etkileyen ısı akışı konveksiyon, iletim, ışımaya ve yüzeyden buharlaşma yollarıyla meydana gelmektedir. Bunlar ortadan kaldırıldığında ya da minimuma indirildiğinde güneş havuzunun performansı artmaktadır.

1.7.1. Konveksiyon İle Isı Akışı

Konveksiyon ile meydana gelen ısı kaybı, ısınan moleküllerin akışkan içerisinde bir yerden başka bir yere taşınması yoluyla olur. Kararlı bir tuz yoğunluk eğimi sağlanabilirse, yalıtımlı bölgeden olacak konveksiyonla ısı kaybı tamamen önlenmiş olur. Bu nedenle konveksiyon ile ısı taşınması sadece depolama bölgesinde ve yüzey tabakası arasında meydana gelir. Depolama bölgesinde ısınan su molekülleri yalıtımlı bölgeye gelir ve geri döner. Bu hareket sonucunda, depolama

bölgesinin üst bölümü en dip bölümüne göre bir kaç santigrad derece daha sıcak olur. Konveksiyonla ısı kayıpları en genel olarak (Incropera and Dewitt, 1990),

$$q_{kon} = h_{kon}(T_s - T_ç) \quad (1.50)$$

eşitliği ile verilir. Burada, h_{kon} , ısı taşınım katsayısı (W/m^2K); T_s , suyun sıcaklığı ve $T_ç$ çevre sıcaklığıdır.

1.7.2. Işıma Yoluyla Isı Akışı

Güneş havuzlarında kullanılan çözeltinin kaynama noktası çözeltinin içindeki çözünen maddenin ısı özelliklerine göre değişir. Siyah cisim ışımasıyla yayınlanan ışın, kızıl ötesi bölgededir ve dalga boyu Wien yer değiştirme yasasına göre,

$$\lambda_m T = E_r \quad (1.51)$$

bulunur. Burada, λ_m , kara cisim ışıması yoluyla yayınlanan ışının maksimum dalga boyu; T , cismin sıcaklığı ve E_r , radyasyon sabitidir ve değeri $2897.8 \mu m \cdot ^\circ K$ dir. Yapılan hesaplamalar sonucunda kızıl ötesi ışınlarla kaybedilecek enerjinin iletimle kaybolacak ısı kayıpları ile kıyaslanmayacak kadar az olduğu görülür (Karakılçık,1998).

1.7.3. İletim Yoluyla Isı Akışı

Güneş havuzlarında ısı alışverişi havuz ile havuzu çevreleyen bölgeler arasındaki sıcaklık farkı nedeniyle iletim yoluyla her yönde olmaktadır. Havuz içi ve dışı farklı kalınlıklarda su ve yalıtımlı tabakalardan meydana geldiği için en yakın iki tabaka arasındaki iletim yoluyla ısı akışı en genel olarak su ve yalıtım malzemeleri için aşağıdaki denklemler verilir,

$$\Delta Q = k_{su} A \left(\frac{\Delta T}{\Delta x} \right) \Delta t \quad (1.52)$$

$$\Delta Q = k_y A \left(\frac{\Delta T}{\Delta x} \right) \Delta t \quad (1.53)$$

eşitlikleri ile verilir. Burada, k_{su} , suyun ısı iletim katsayısını; k_y , yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısını; A , iki tabaka arasındaki yüzeyin alanını; ΔT , tabakalar arasındaki sıcaklık farkını; Δx , iki tabakanın komşu noktaları arasındaki uzaklığı ve Δt , belirli bir zaman aralığını gösterir.

1.7.4. Yüzeyden Buharlaşma Yoluyla Olan Isı Kaybı

Güneş havuzunun üst yüzeyinden buharlaşma yoluyla ısı kaybı meydana gelir. Buharlaşmanın meydana gelmesi ile BB' in tuz yoğunluğu artmaya başlar. Bu nedenle buharlaşmanın en aza indirilmesi için SMGH sistemimizin üzeri cam ile kaplanmıştır. Havuzun üst yüzeyinden net ısı akışı,

$$q_{net} = q_{gr} + g_{ar} + g_{sr} + q_b + q_i \quad (1.54)$$

eşitliği ile verilir (Keren ve ark., 1993).

Burada q_{net} , net yüzey ısı akışı; q_{gr} , yansımadan sonraki net güneş radyasyonu akışı; g_{ar} , net atmosferik radyasyon akışı, g_{sr} , yüzey suyunun gerisindeki radyasyon akışı; q_b , buharlaşma ısı akışı ve q_i , iletimle ısı akısıdır. Bu akı bileşenlerinin her biri Atkinson ve Harleman (1983) tarafından tartışılmıştır. Güneş ve atmosferik radyasyon akışı sadece meteorolojik koşullara bağlıdır. q_{sr} sadece tabaka sıcaklığına bağlı, q_b ve q_i 'nin her ikisi de çevredeki hava ve yüzey tabaka koşullarına bağlıdır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, doğal güneş havuzlarının keşfi ve daha sonra bu doğal benzerliklerden esinlenerek oluşturulan yapay güneş havuzlarının deneysel ve teorik çalışmaları ve bu çalışmalardan ortaya çıkan sorunların çözülmesi ile ilgili çalışmalar verilecektir.

2.1. Doğal Güneş Havuzlarının Keşfi

Güneş havuzları ilk kez Kalecsinsky tarafından ortaya çıkarılmıştır. Macaristan'ın Karpat dağlarının eteklerindeki doğal göllerde kış aylarında sıcaklığın 65°C olduğunu gözlemiştir. Bu göllerde ilk kez tuz yoğunluğu ölçümleri yapılmış ve bunun nedenleri araştırılmıştır. Ölçümler sonucunda gölün derişiminin yukarıdan aşağıya doğru arttığını saptamıştır. Bu yoğunluk eğiminin konveksiyonla ısı kaybını önlemesi nedeniyle yaz aylarında gölün 1,32 m derinliğinde sıcaklığın 70°C ' ye kadar çıktığı, ilkbahar aylarında ise en düşük sıcaklığın 26°C olduğunu gözlemiştir. Anderson, 2 m derinlikli, Orovillve' de (Washington) yaz aylarında sıcaklığı 50°C ' ye ulaşan bir gölü rapor etmiştir. Wilson ve Wellman, Antartika' daki Vanda Gölünün buz ile örtülü ve çevre sıcaklığının -20°C olmasına rağmen taban sıcaklığının 25°C olduğunu tespit etmişlerdir. Por ve arkadaşları daha sonra Cohen tarafından rapor edilen İsrail' de Eliat yakınındaki 300 yıldır var olan doğal bir güneş gölcüğü bulmuş ve bunu 1967' de bir güneş havuzu olarak tanımlamıştır (Tabor, 1981).

2.2. Yapay Güneş Havuzları ve Gelişimi

Yapay güneş havuzlarının keşfinden sonra, ilk öncü çalışma 1950' nin sonlarında, Tabor tarafından Ulusal İsrail Fizik laboratuvarında başlatılmıştır. Bu süreçte, Tabor ve arkadaşları güneş gölcüklerinde araştırmalar yapmıştır. Küçük yataklarda sıcaklığın en yüksek 103°C olduğunu ve toplayıcı verim oranının % 15 olduğunu kaydetmişlerdir. Laboratuar ortamında suni oluşturulan güneş gölcükleri

teorik ve deneysel gözlemlerle olduğu kadar fiziksel olarak da anlaşılmasını sağlamıştır. Gölcüklerin anlaşılmasını sağlama konusundaki çalışmalar, Weinberger, Eleta ve Lavin, Tabor ve Matz ve Hirschmann tarafından yapılmıştır (Gar, 1985).

Güneş havuzları çoğunlukla büyük boyutlu düzlemsel güneş enerjisi toplayıcılarıdır. Büyük miktarda enerjiyi ucuz maliyetle sağlayabilme avantajı havuzun en büyük özelliğidir. Bu güne kadar yapılan çalışmalarda geliştirilen güneş havuzları, tiplerine göre yaklaşık olarak beş gruba ayrılır. Bunlar tuz gradientli güneş havuzları, zar örtülü güneş havuzları, petek örtülü güneş havuzları, jel örtülü güneş havuzları ve sığ güneş havuzlarıdır. Bu güneş havuzlarında güneş enerjisi su tarafından doğrudan soğurulur. Derin olmayan, yani sığ güneş havuzlarında depolanan enerji anında kullanılırken, diğer dört güneş havuzunda depolanan enerji uzun süre depolanıp daha sonra da kullanılabilir (Sokolov ve ark., 1990).

Magnezyum Klorür kullanılarak yapılan deneysel doymuş bir güneş havuzunun sıcaklık ve yoğunluk dağılımları incelenmiştir (Subhakar ve ark., 1991).

Güneş havuzunun yüzeyine gelen güneş enerjisinin yaklaşık olarak % 21' i yüzeyden havaya konveksiyonla % 22' si havuzun üst kısmından suyun buharlaşmasıyla, % 16' sı yansıma yoluyla, % 31' i havaya yaydığı uzun dalga boylu radyasyon ile ve % 3,7' si DB (depolama bölgesi) altındaki yere olan ısı akışı ile kaybolur. Sadece gelen ışınımın % 6,42' si havuzda depo edilir. Bunun dışında sadece DB (depolama bölgesi) içinde depolanan güneş enerjisinin bir kısmı kullanılabilir enerji olarak havuzdan alınabilir. Konveksiyon ve buharlaşma yoluyla olan ısı kayıpları yaklaşık olarak birbirine eşittirler. Işımayla olan ısı kaybı havuzun enerji depolama kabiliyeti üzerinde önemli bir rol oynar. Toprağa olan ısı kaybı o kadar önemli değildir. Bu nedenle, bütün çalışmalar konveksiyon yoluyla olan ısı kaybını durdurma ve buharlaşmayı azaltma ile yüzeyden olacak olan ısı kayıplarını azaltmak için alınacak tedbirler üzerine yoğunlaştırılmalıdır. Bir büyük problem de kış boyunca havuzda toplanacak olan ısıdan daha fazlasının çevreye kaybolacak olmasıdır. Bu da yaz boyunca toplanan ısının bir kısmının kış boyunca çevreye kaybolacağını gösterir (Subhakar ve ark., 1993).

Subhakar ve ark., (1994), tarafından inşa edilen doymamış güneş havuzlarında yoğunluk farklılıkları nedeniyle alt tabakalardan üst tabakalara doğru

tuz difüzyonunun olduğu belirtilmiştir. Tuz difüzyonunun meydana getirdiği bozulan tuz gradyentinin korunmasının tuz gradyentli güneş havuzlarının en önemli problemlerinden biri olduğu söylenmiştir (Subhakar ve ark., 1994).

Güneş havuzlarının performansını etkileyen birçok parametre vardır. Bunlardan biri de tuz gradyentininin zamanla değişik etkilerle bozulmasıdır. Büyük öneme sahip olan bu konu üzerinde birçok araştırmacı çalışmıştır. Bu araştırmacılar konveksiyonsuz bölgelerde değişik nedenlerle zamanla oluşan bozulmaların havuzun performansı üzerine etkisini inceleyen kapsamlı bir teorik çalışma yapmışlardır (Sreenivas ve ark., 1995).

Al-Jamal ve ark., (1998), tarafından güneş havuzlarının performansına yüklenen ısının çekilmesinin etkisi araştırılmıştır. Oluşturulan eşitliklerin çözümünde sonlu farklar yöntemi kullanılmıştır. Çekilen ısı miktarına bağlı olarak konveksiyonsuz bölgenin kalınlığı bulunmuştur. Sırasıyla 30 ve 10 W/m² arasında ısı çekilmesi halinde bu kalınlığın 0,91 ve 1,18 m olması gerektiği bulunmuştur.

Alkhalailah ve ark., (1999), tarafından yapılan çalışmada bir güneş havuzu zemin ısıtma sistemi analizi ve simülasyon modellemesi geliştirilmiştir. Ürdün' de ki iklim koşulları altında kullanılabilir potansiyelde çalışacak bir sistem için geliştirilen bilgisayar simülasyonu kullanılmıştır. Ürdün' de kış mevsiminin en az iki ayı için % 80-100 oranında güneş ışınından güneş havuzu ısıtma sistemi ile ısı ihtiyacının karşılanacağı bulunmuştur.

Tahat ve ark., (2000), tarafından yapılan deneysel çalışmada 32° kuzey enleminde bulunan Ürdün Bilim ve Teknoloji Üniversitesine mini bir güneş havuzu yerleştirilmiştir. Havuzun duvarları yatay ile 45° açı yapmaktadır. Havuz 1 m² dairesel yüzey alanlı ve 500 mm derinliğinde galvaniz kaplı çelik (1,44 mm kalınlıklı) kullanılarak inşa edilmiştir.

Kurt ve ark., (2000), tarafından yapılan çalışmada tuz gradyentli güneş havuzunun ısıl performansını önceden belirleyebilmek için bir boyutlu süreksiz matematiksel bir model geliştirilmiştir.

Jaefarzadeh (2000), tarafından yapılan çalışmada laboratuvar ölçeklerinde tuz gradyentli bir güneş havuzunun performansı tanımlanmıştır. Farklı metotlar ile alt tabakalara tuz enjeksiyonu, derinliğin bir fonksiyonu olarak sıcaklık ve

konsantrasyon profillerinin uyum içinde olduğu gözden geçirilmiş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Li ve ark., (2001), tarafından bir güneş havuzunun gradyentli bölgesindeki erozyonu incelemek için küçük bir güneş havuzu kullanılarak deneysel bir çalışma yapılmıştır. Isı koruma tabakasındaki ısı akışının gözlenmesi vasıtasıyla bu tabakadaki dikey sıcaklık farklarının doğal bir sonucu olarak ortaya çıkan konveksiyon tarafından gradyentli bölgede erozyonun oluşturulduğu görülmüştür.

Husain ve ark., (2003a), tarafından yapılan çalışmada tuz gradyentli güneş havuzunun ısıl davranışının bilgisayar simülasyonu birkaç matematiksel yöntem kullanılarak araştırılmıştır. Temel eşitlik Crank-Nicholsen metodu ile sonlu farklar yöntemi kullanılarak konvektif olmayan bölgede ısı akışı için çözüldü.

Husain ve ark., (2003b), tarafından tuz gradyentli güneş havuzlarının önemli ısınma süresi ile uzun süreli ısı depolama sistemlerinden biri olduğunu ve havuz istenilen sıcaklığa çabuk ulaştığı ve maksimum ısıya geri erişilebildiğinde verimli bir sistem olduğu belirtilmiştir.

Ouni ve ark., (2003), tarafından Tunus'un güneyinde tuz gradyentli bir güneş havuzunun modellenmesi ve kontrolü üzerinde çalışılmıştır. Kapalı döngü tuz gradyentli güneş havuzu için bir yıl boyunca çalışmasının başarılı olduğundan emin olunan bir model geliştirilmiştir.

Murthy ve ark., (2003), tarafından yapılan çalışmada deneysel olarak potasyum klorür ile oluşturulan bir güneş havuzunun simüle edilmiş koşullar altında, özellikle alt konvektif bölge sıcaklığını korumak ve ısı girişini değiştirmek için bir güneş havuzu simülasyonu geliştirilmiştir. Farklı sıcaklık rejimlerinde ve alt konvektif bölge sıcaklıklarında tuzsuz, sodyum klorür ve potasyum klorür ile oluşturulmuş güneş havuzlarının performansı sıcaklık ve yoğunluk profilleri açısından çalışılmıştır.

Angeli ve ark., (2004), tarafından yapılan çalışmada güneş havuzlarında yoğunluk eğiminin kararlılığı ve tuz difüzyonu çalışması için bir boyutlu matematiksel model kullanılmıştır. Tuz difüzyonu denklemlerini çözmek için sonlu farklar yöntemi ile sıcaklık ve tuz yoğunluğuna bağlı olarak difüzyon katsayısı kullanılmıştır. Tuz eğimi olan tabakanın kalınlığının depolama bölgesinde depo

edilen kullanılabilir enerjiye etkisi analiz edilmiştir. Güneş havuzuna enjekte edilen yoğun tuzlu suyun yükselme hızı incelendi. Sistemin kararlılığını araştırmak için Rayleigh analizi yapılmıştır.

Bardan ve ark., (2004), tarafından güneş kolektörleri ile zemin ısıtmaları için teorik ve deneysel bir çalışma yapılmıştır. Aynı zamanda aynı bölgesel koşullarda güneş havuzları kullanılarak benzer bir sistem için araştırma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar güneş kolektörlerinin güneş havuzlarından % 7 daha verimli olduğunu gösterilmiştir.

Husain ve ark., (2004), tarafından yapılan çalışmada güneş havuzlarında belirli derinliklerde net uygun radyasyonun tahmin edilebilmesi için iki basit formülasyon önerilmiştir.

Jaefarzadeh (2004), tarafından yapılan çalışmada küçük boyutlardaki tuz gradyentli güneş havuzlarının ısı davranışı araştırılmıştır. Isı iletim eşitlikleri konveksiyonsuz bölge için üst konvektif bölge ve alt konvektif bölge sınır koşulları ile nümerik olarak çözülmüştür. Güneş radyasyonunun yıl boyunca değişimi ve havuzun derinliğine göre azalması tartışılmıştır. Yapılan birkaç örnek uygulamalar havuzun performansının % 10 olduğunu göstermektedir.

Angeli ve ark., (2004), tuz gradyentli bir güneş havuzunda tuz difüzyonunun tek boyutlu nümerik bir çalışmasını yapmışlardır. Bir güneş havuzunda yoğunluk eğiminin kararlılığı ve tuz difüzyonu araştırması için tek boyutlu süreksiz matematiksel model kullanmışlardır. Tuz difüzyon denklemini çözmek için sıcaklık ve tuz konsantrasyonunun her ikisine bağımlı bir difüzyon katsayısı ile sonsuz fark yöntemi kullanmışlardır. Güneş havuzunun alt tabakasından çekilen enerji üzerindeki, tuz eğiminin etkisini analiz etmişlerdir. Modelleri için elde edilen denklem sonsuz fark yöntemini kullanarak nümerik olarak çözmüşlerdir.

Angeli ve ark., (2006), tarafından yapılan çalışmada güneş havuzlarında tuz konsantrasyon profilini geliştirme problemi sıcaklığın difüzyona katkısı da göz önünde bulundurularak bir boyutlu matematiksel modellemesi ve sonlu farklar yöntemi ile incelenmiştir. Güneş havuzlarından ısı çekme ve iki boyutlu sayısal akış dinamiği simülasyonu başlangıç olarak araştırılmıştır.

Jaefarzadeh (2006), tarafından yapılan çalışmada tuz gradyentli güneş havuzundan ısı enerjisi çekme konusu araştırılmıştır. Küçük güneş havuzunun boyutları 4 m² alana ve 1,1 m derinliğe sahiptir. Düşük konvektif bölgeye yerleştirilen iç ısı değiştirici sistemin içinde taze su dolaşmakta ve ısı enerjisini dış ısı değiştirici sisteme transfer etmektedir. Bu çalışmada, kışın iki ay için ve yazın bir hafta için yükleme yapılmıştır. Depolama bölgesi, yüzey bölgesi, çevre sıcaklığı, iç ısı değiştirici sistemin giriş ve çıkış sıcaklıkları değişimi günlük olduğu gibi saatlik olarak ölçüldü ve analiz edilmiştir. Sınırlı bir zaman için geçiş aşamasında yüksek ısı verimliliği ile havuzun ısı verebileceği görülmüştür. Aynı zamanda düşük verimlilik ile sürekli olarak yararlanılabilir. Küçük bir havuzun verimliliği son durumda % 10 civarında olabilecektir.

Bansal ve ark., (2007), tuz dağılımının ilk halini için basamak fonksiyonu kullanarak bir yığın güneş havuzundaki tuzun difüzyonunun kinetiğini ve tuz konsantrasyonu için kapalı form çözümünü uygulamalı bir güneş havuzunun sınır koşullarıyla elde etmişlerdir.

Bezir ve ark., (2008), tarafından yapılan çalışmada 3,5 m² yüzey alanlı ve 2 m derinliğinde bir güneş havuzu inşa edilmiştir. Güneş havuzunun yüzeyine açılır kapanır kapak sistemi yerleştirilmiştir. Bu kapak sistemi geceleri ısı kayıplarını önlerken gündüzleri yansıtıcı yüzeyleri sayesinde havuzun yüzeyine daha fazla enerji gelmesi için tasarlanmıştır. Yansıtıcı yüzeyler elektrikli motor ile istenilen açılara ayarlanabilmektedir. Yapılan modelleme ile yalıtımlı ve yalıtımsız farklı boyutlardaki güneş havuzlarının kapaklı ve kapaksız performansları hesaplanmıştır. Sonuç olarak yansıtıcı yüzeylerin güneş havuzlarının performansını % 25 arttırdığı belirlenmiştir. Deneysel ve nümerik hesaplamaların uyum içinde olduğu görülmüştür.

Karim ve ark., (2010), tarafından yapılan çalışmada küçük boyutlu güneş havuzlarının gradyentli bölgesinin kararlı tutulmasında gözenekli tabaka kullanımının araştırılması için iki farklı deney yapılmıştır. İlk deney laboratuvar koşullarında gerçekleştirilmiştir. İkinci deneyde ise iki küçük güneş havuzu kurulmuştur. Bu havuzların gradyentli bölgesinin davranışı deneylerle izlenmiş ve gradyentli bölgenin

alt kısmına gözenekli bir malzemenin yerleştirilmesinin difüzyon sonucu meydana gelecek bozulmaları azalttığı görülmüştür.

Tundee ve ark., (2010), tarafından yapılan çalışmada güneş havuzu için tasarlanan ısı çekme sistemi deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Deneysel güneş havuzu olarak 7 m² yüzey alanlı ve 1,5 m derinlikli bir havuz kullanılmıştır. Isı değiştirici sistem kullanılarak havuzun depolama bölgesinde başarılı bir şekilde ısı çekilmiştir. Sistemin teorik olarak modellenmesi yapıldı ve nümerik metotlar kullanılarak çözülmüştür. Isı değiştirici sistemin performansı incelenmiştir. Elde edilen sonuçların deneysel verilerle uyum içinde olduğu görülmüştür.

Dah ve ark., (2010), tarafından yapılan çalışmada küçük bir güneş havuzunun performansı ve kararlılığı deneysel ve nümerik olarak analiz edilmiştir. Deneysel sonuçlar havuzun günlük ortalama sıcaklığının yirmi gün içerisinde 54 °C' ye kadar hızlı bir şekilde yükseldiğini göstermektedir. Güneş havuzunun sıcaklık ve yoğunluğunu önceden belirleyebilmek için bir boyutlu nümerik bir model geliştirilmiştir. Nümerik olarak yapılan hesaplamalar ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmış ve uyum içinde olduğu görülmüştür.

Li ve ark., (2010), tarafından yapılan çalışmada tuz kaynağı olarak deniz suyunun kullanıldığı güneş havuzlarına bulanıklığın azaltılması için bir dizi deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler bulanıklığın difüzyon ile üst tabakalara çıkmadığını göstermiştir. Aynı zamanda güneş havuzlarını yağmurun olumsuz etkilerinden korumak için ekonomik bir yöntem önerilmiştir.

Nie ve ark., (2011), tarafından yapılan çalışmada, doğal tuz kaynağı olarak Tibet'te bulunan Zabuye tuz gölünün kullanıldığı tuz gradyentli bir güneş havuzu yapılmıştır. Havuz 2500 m² yüzey alanlı ve 1,9 m derinliğinde tasarlanmıştır. Güneş havuzu ilkbaharda hava sıcaklığının düşük olduğu günlerde çalıştırılmaya başlanmış ve 105 gün ısı depolamaya devam etmiştir. Deneysel çalışmalar süresince depolama bölgesinin sıcaklığı maksimum 39,1 °C' ye ulaşmıştır.

El-Sebaai ve ark., (2011), tarafından yapılan çalışmada, güneş havuzunun tarihi gelişimi araştırılmış, literatürlerde bulunan farklı tiplerde güneş havuzları tartışılmıştır. Ayrıca güneş havuzlarının ısı performansını etkileyen faktörler, ısı çekme ve uygulamaları ile ilgili araştırmalar incelenmiştir.

2.3. Türkiye’ de Güneş Havuzu Çalışmaları

Ülkemizde güneş havuzları ile ilgili yapılan çalışmalar yetersizdir. Güneş havuzları üzerine ilk araştırmalar 1978 yılında Çukurova Üniversitesi Fizik Bölümünde yapılmaya başlanmıştır. Kayalı (1980), tarafından 4,5 m x 4,5 m x 1,5 m boyutların bir güneş havuzu yapılmış ve verimliliğinin % 16 olduğu görülmüştür. Daha sonra, 1984 yılında 2,6 m x 2,6 m x 1,6 m boyutlarında bir güneş havuzu Özek (1985) tarafından kurulmuştur. Yapılan ölçümler sonucunda sıcaklığın yazın en fazla 54,4 °C’ ye ve kışın ise en düşük 29 °C’ ye düştüğü görülmüştür. Kayalı (1986) tarafından 1984 yılında Çukurova Üniversitesi’ nde bir seranın ısıtılması için 10 m x 10 m x 2,5 m boyutlarında bir güneş havuzu yapılmıştır. Bu havuz üzerinde Kurt (1989) tarafından yapılan çalışmalarda havuzun sıcaklığının kışın en düşük 28 °C ve Ağustos ayında en yüksek 64 °C olduğu görülmüştür. Karakılçık (1992) tarafından sürdürülen ölçümlerde Ağustos 1991’ de depolama bölgesinin sıcaklığının 64 °C’ ye çıktığı, Aralık 1991’ de 24 °C olduğu görülmüştür. Kış aylarında havuza gelen güneş enerjisinin azalması, havuzun gradyentli bölgesi (konveksiyonsuz bölgesi)’ nin zamanla bozulması, havuzun tabanından sızıntıların meydana gelmesi, biyolojik ve kimyasal kirlenmeler sebebiyle kış aylarında sıcaklık düşüşü olduğu belirtilmiştir (Karakılçık, 1992).

Karakılçık (1998), tarafından Çukurova Üniversitesi Kampusu’ nde 2 m x 2 m x 1,5 m boyutlarında yalıtımlı prototip model bir güneş havuzu inşa edilmiştir. Sıcaklık dağılımlarını ölçmek için 32 kanallı bir bilgisayarlı otomasyon sistemi geliştirilerek sıcaklık dağılımları saatlik olarak ölçülmüştür. Yalıtımlı prototip model bir güneş havuzundan kuramsal ve deneysel çalışmalarla elde edilen havuz içi ve dışının sıcaklık profilleri karşılaştırılmış ve uyum içinde oldukları görülmüştür. Bu sonuçlar boyutları ve yapım parametreleri bilinen bir güneş havuzundaki sıcaklık dağılımlarının nasıl olacağını önceden doğru bir şekilde tahmin edebilme olanağını ortaya koymaktadır.

Kayalı ve ark., (1998), tarafından yapılan çalışmada 10 m x 10 m x 2.5 m boyutlarında bir güneş havuzunun deneysel ve teorik çalışmalar yapılmıştır. Havuzun herhangi bir zamandaki iç veya dış sıcaklık dağılımını verebilen teorik bir model

geliştirilmiştir. Sonlu farklar yönteminde, tuzlu su ve toprak için yazılan bir ve iki boyutlu ısı denklemleri kullanılmıştır. Bu simülasyon eşitlikleri bir bilgisayar programı kullanılarak bölgesel sıcaklık değerleri için çözülmüştür. Yapılan modelleme deneysel olarak yapılan güneş havuzu sıcaklık profilleri ile karşılaştırılmıştır. Modelde ulaşılan sıcaklık profilleri ile deneysel verilerin uyum içinde olduğu görülmüştür.

Güneş enerjisi potansiyeli bakımından Çukurova bölgesi uygun bir konuma sahiptir. Bu nedenle, güneş havuzları konusunda Çukurova Üniversitesi'nde 1978 yılında başlayan çalışmalar geliştirilerek devam etmektedir. Kayalı (1985), Kurt (1989), Karakılçık (1992) tarafından da deneysel ve teorik çalışmalar yapılmıştır.

Karakılçık (1998) tarafından 2 m x 2 m x 1.5 m boyutlarında yalıtımlı bir güneş havuzunun deneysel ve teorik modellemesi yapılmıştır. Model bir güneş havuzunun yılın herhangi bir anında sıcaklık dağılımını veren matematiksel model, PASCAL dilinde yazılmış bir bilgisayar programı kullanılarak hassasiyetle elde edilebildiği görülmüştür.

Bozkurt (2006), tarafından yalıtımlı ve üstü kapalı silindirik model bir güneş havuzunun performansı incelenmiştir.

Karakılçık ve ark., (2006a), tarafından yapılan çalışmada yalıtımlı bir güneş havuzunun gündüz ve gece saatlerinde sıcaklık dağılımı deneysel ve teorik olarak araştırılmıştır. Birçok sıcaklık sensörü içerde dikey ve havuzun tabanına, yalıtımlı yan duvarlarda ise dikey ve yatay olarak sıcaklık değişimlerini zamana ve konuma bağlı ölçmek için belirli konumlara yerleştirilmiştir. Bununla birlikte teorik olarak sıcaklık dağılımını hesaplamak için havuzun modellemesi yapılmıştır. Deneysel ve teorik ölçümler karşılaştırılarak uyum içinde oldukları görülmüştür. Gece ve gündüz arasında sıcaklık farklarına bağlı olarak büyük miktarda ısı kaybı olduğu görülmüştür. Bu kayıplar enerji tasarrufu ve depolaması için büyük bir potansiyel oluşturmaktadır. Ocak, Mayıs ve Ağustos ayları boyunca havuzun iç yüzeyinden, tabanından ve yan duvarlarından toplam ısı kayıpları sıcaklık farklarının bir fonksiyonu olarak 227,76 MJ olarak hesaplanmıştır. Bu kayıpların % 84,94' ü iç yüzeyden, % 3,93' ü tabandan ve % 11,13' ü yan duvarlardan kaynaklanmaktadır.

Karakılçık ve ark., (2006b), tarafından yapılan çalışma hem teorik hem de deneysel bölümlerden oluşmaktadır. Havuzun deneysel performansını belirlemek için Çukurova Üniversitesi Adana Türkiye’ de 4 m² yüzey alanlı ve 1,5 m derinliğinde yalıtımlı bir güneş havuzu inşa edilmiştir. Sistem tuzlu su ile oluşturulan üç bölgeden (Üst Konveksiyonlu Bölge, Konveksiyonsuz Bölge ve Isı Depolama Bölgesi) meydana gelmektedir. Havuzun farklı bölgelerinde (altında ve içinde dik olarak, yalıtımlı duvarların içinde yatay ve dikey olarak) Ocak, Mayıs ve Ağustos ayları için veri depolama sistemi kullanılarak sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Teorik çalışmada, havuzun ve havuzu oluşturan çeşitli bölgelerin verimini hesaplamak için bir performans modeli geliştirilmiştir. Sıcaklık farklılıklarının ısı transferinde önemli bir kuvvet olduğu görülmüştür. Beklenildiği gibi en yüksek ısı verimliliği Ağustos ayı için elde edilmiştir. Havuzun farklı bölgelerinin verimliliği sırasıyla, Üst Konvektif Bölge için % 4,5, konveksiyonsuz bölge için % 13,8 ve depolama bölgesi için % 28,1 olarak elde edilmiştir.

Karakılçık ve ark., (2008), tarafından yapılan çalışmada bir güneş havuzunun ekserjistik performansı deneysel ve teorik olarak araştırılmıştır. Sistem üst konvektif (konveksiyonlu) bölge, konveksiyonsuz bölge ve ısı depolama bölgesi olmak üzere üç tabakadan oluşturulmuştur. Veri toplama sistemi havuzun farklı bölgelerinden saatlik sıcaklık ölçümleri yapmak için kullanılmıştır. Havuzun ekserjistik performansını belirlemek için bir ekserji modeli geliştirilmiş ve üç bölge için ekserji verimlilikleri ayrı ayrı belirlenmiştir. Daha sonra enerji verimlilikleri ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Ekserji analizi için referans çevre sıcaklıkları yılın her bir ayı için ortalama olarak belirtilmiştir. Böylece, en yüksek enerji ve ekserji verimlilikleri Ağustos ayında sırasıyla; üst konvektif bölge için % 4,22 ve % 3,02 konveksiyonsuz bölge için % 13,80 ve % 12,64 ısı depolama bölgesi için % 28,11 ve % 27,16 olarak belirlenmiştir. Beklenildiği gibi, ekserji verimlilikleri her bir tabaka için enerji verimliliklerinden biraz az çıkmıştır. Havuzun performansını arttırmak için kayıpların doğru hesaplanması çok önemlidir.

Bozkurt (2012), Güneş enerjisi hem ülkemizde hem de dünyada enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü sağlayabilecek potansiyele sahiptir. Bu önemli enerji kaynağından faydalanmak için kullanılan sistemlerin başında güneş enerjisi

sistemleri gelmektedir. Güneş enerjisi ile çalışan sistemler, güneş ışınlarını ısı veya elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Güneş enerjisinden ısı enerjisinin üretilmesi ve depolanması güneş enerjisi uygulamalarının en önemli konularından birisidir. Binaların ısıtılması, soğutulması, işlem suyu üretilmesi, bitkilerin kurutulması ve elektrik üretimi güneş enerjisinin yaygın olarak kullanıldığı alanlardır. Güneş enerjisi ile çalışabilen ısı sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanabilirliklerinin araştırılması gerekmektedir. Bu sistemlerin en başında güneş toplacıları ve güneş havuzları gelmektedir. Fakat bu sistemler tek tek düşünüldüğünde düşük verimli sistemlerdir.

Aynı zamanda, silindirik model güneş havuzunun termodinamik özellikleri İskender (2010), iç bölgelerindeki enerji dağılımları Heat 2 programı yardımıyla teorik olarak Mantar (2010), kirliliğin havuzun ısı depolama performansındaki etkileri belirlemek için görünür bölgede (400-700 nm) optik özellikleri Atız (2011), entegre bir güneş havuzunun verim analizi ise Bozkurt (2011) tarafından incelenmiştir.

Bugüne kadar yapılan bu çalışmalar ışığında, tasarımı ve yapımı gerçekleştirilen güneş havuzlarının tamamına yakını sodyum klorür tabakalı güneş havuzlarıdır. İnorganik tuzlar grubundan biri olan magnezyum elementi kullanılarak yapılan magnezyum klorür tabakalı güneş havuzları ise hemen hemen hiç yok denecek kadardır. Bu çalışmalardan elde edilen bilimsel sonuçlara göre, güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştürebilen çeşitli sistemlerden biri olan güneş havuzlarında termal enerji üretmek ve depolamak güneş havuzlarının en temel görevi olduğu anlaşılmıştır. Güneş havuzu, üç bölgeden oluşmaktadır. Bunlar; üst konveksiyonlu bölge, konveksiyonsuz bölge ve depolama bölgesidir. Üst konveksiyonlu bölge temiz su bölgesidir. Havuz yüzeyine gelen ışığın uzun dalga boyuna karşılık gelen kısmı burada soğurur. Işığın görünür bölgede kalan kısmı ise, yansımaya, soğurulmaya, saçılmaya uğradıktan sonra geri kalan kısmı konveksiyonlu bölgeye oradan da depolama bölgesine ulaşır. Depolama bölgesinde tutulan ışık enerjisi burada ısı enerjisiye dönüşür ve bu bölgenin sıcaklığı gittikçe artar. Sıcaklık artışı nedeniyle, depolama bölgesinden ısı kayıpları ve difüzyon da artar. Bu kayıplar güneş havuzunun verimini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu çalışmada, bu kayıplar

belirlenmeye çalışılarak enerji ve ekserji analizleri yapılmak suretiyle de küçük boyutlu bir güneş havuzunun enerji ve ekserji verimleri karşılaştırılarak Magnezyumun Klorür Tabakalı Güneş Havuzunun enerji performansı ve iç enerji kayıpları belirlenmeye çalışılmıştır.

3. MATERYAL VE METOD

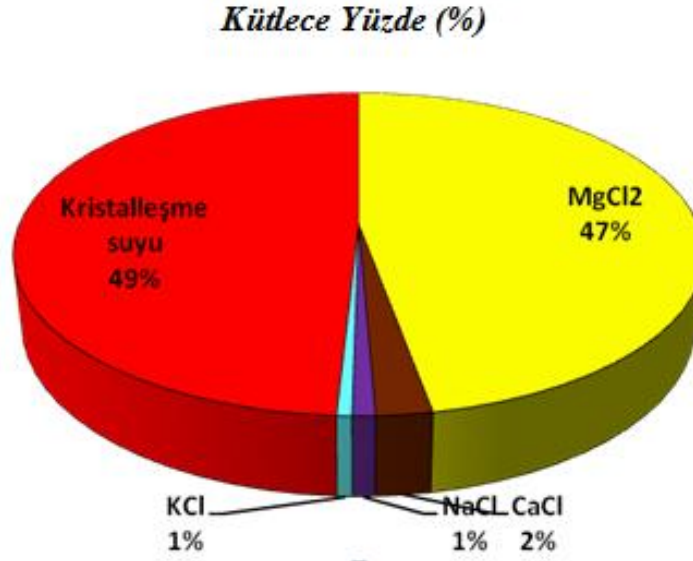
3. 1. Materyal

Bu araştırmada Güneş Havuzu yapımında en önemli faktör olan çözeltilin; havuzun enerji depolama performansı üzerindeki etkileri, kimyasal ve fiziksel özellikleri temel alınmıştır. Güneş havuzunun yapım amacına uygun malzeme olarak kütlece % 47' lik $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ tuzu tercih edilmiştir.

Güneş havuzlarının ısıl performansı üzerinde yalıtımın çok önemli bir rol oynadığı ve yalıtımla ilgili en küçük bir ayrıntının bile gözden kaçırılmaması gerektiği saptanmıştır. Özellikle iç bölgeler ile havuzu çevreleyen yan duvarlar iyi yalıtılmalıdır (Mantar, 2010). Yan duvarların çevre ile ısı alış-verişi dikkate alınarak ısı kayıplarının minimize edilebilmesi için dış yalıtımına özen gösterilmiştir.

3.1.1. Tabakaları Oluşturmak İçin Kullanılan Malzeme

Güneş havuzlarının ısı toplama ve depolama performansı üzerinde en önemli etkenler sistemin iç ve dış bölgelerinde kullanılan malzemenin yapısıdır. İç bölgede, tabakaların yapısı ve tabakaları oluşturan çözeltide kullanılan kimyasal bileşiğin termofiziksel ve termokimyasal özelliklerinin, dış bölgede ise, ısı yalıtım özellikleri iyi olan malzemeler seçilmelidir. Bu nedenle bu çalışmada, yoğunlaştırıcı olarak termofiziksel ve kimyasal özellikleri iyi olan % 47' lik magnezyum klorür heksahidrat ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$), ışık enerjisini tutmak, ısıl enerji üretmek ve depolamak için kullanıldı. Kullanılan malzemenin içeriğinde $MgCl_2$, $CaCl$, $NaCl$, KCl , ve kristalleştirme suyu H_2O bileşikleri vardır. Bu bileşiklerin sırası ile kütlece yüzdeleri Şekil 3.1' de, % 47, % 2.2, % 0.9, % 0.6, % 49 olarak görölmektedir.



Şekil 3.1. % 47' lik MgCl₂ içeren malzemenin içerisindeki KCl, NaCl, CaCl ve kristalleşme suyu kütlece yüzdeleri

Hazırlanan çözelti içerisinde bulunan iyonlar Mg⁺², Cl⁻, Ca⁺, K⁻ ve Na⁻ iyonlarıdır. Ca⁺, K⁻ ve Na⁻ iyonlarının çözelti içerisindeki molariteleri çok düşük olduğundan ihmal edilebilir boyuttadır. Sistem üzerinde aktif rol oynayan Mg⁺² ve Cl⁻ iyonlarıdır.

Çizelge 3.1. Tuzun üretici firmasından edinilen malzeme bilgisi

Özellik	Değer	Birim
Erime Sıcaklığı	118	°C
Doymuş Yoğunluğu	1,6 (20°C)	g/cm ³
pH	8,2 (% 10 luk çözeltisi)	
Suda Çözünürlüğü	167g	g/100g H ₂ O
Ekolojik Etkisi	Deniz suyu bileşeni	

Çizelge 3.1' de kütlece % 47' lik MgCl₂.6H₂O' nun Termo-Fiziksel özellikleri verilmiştir. Buna ek olarak magnezyum klorit heksahidratın ısı kapasitesini (C_p) katı hal için 1,72 kJ/kg°C, sıvı hal için 2,82 kJ/kg°C olarak ölçmüştür (Abhat 1983).

3.1.2. Magnezyum Klorür Tabakalı Güneş Havuzunun (MKTGH) Yapısı

Bu çalışmada, Çukurova Üniversitesi Uzay ve Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi (UZAYMER)' de olan silindirik model bir güneş havuzu (SMGH) inşa edilmiştir. Model havuz 0,96 m çapında 1,10 m yüksekliğinde ve et kalınlığı 5 mm olan plastik tanktan oluşmaktadır. Plastik tank, toprak zeminin eğimi ortadan kaldırılarak zemin üzerinden 20 cm yüksekliğinde tahta blok üzerine yerleştirilmiştir. Tahta blok ile toprak zemin arasına köpük sıkılarak güneş havuzunun zemininin gece-gündüz arasındaki sıcaklık farkından dolayı kaynaklanacak ısı kayıplarının azaltılması amaçlanmıştır. Havuzun gövdesini oluşturan iç yüzey siyah, mat, ısıya dayanıklı epoksi içerikli boya ile boyanmıştır. Tankın dış kısmı (yan duvarları) 0,08 m kalınlığında cam yünü ile yalıtılmıştır. Cam yününün yağmur, rüzgar vs. gibi dış etkenlere karşı korumak için dış bölgesine ince galvanizli sacdan yapılmış kılıf geçirilmiştir.

3.1.3. MKTGH da Kullanılan Isı Yalıtım Malzemesi

Yapı endüstrisinde yalıtım malzemeleri sıkça kullanılan bir üründür. Isı yalıtım malzemelerinin en temel özelliği ısı iletim katsayılarının düşük olmasıdır. Isı yalıtım malzemelerinde uygulama alanına göre aranması gereken özellikler:

- Isı İletim Katsayısı (W/mK)
- Yoğunluk (kg/m^3)
- Yangın Sınıfı (DIN 4102, BS476)
- Sıcaklık Dayanımı ($^{\circ}\text{C}$)
- Mekanik Dayanım (kPa)
- Buhar Difüzyon Direnci
- Su Emme
- Boyutsal Kararlılık

MKTGH da kullanılan ısı yalıtım malzemesi, cam yünü olarak seçilmiştir. Bu madde, inorganik hammadde olan silis kumunun 1200 °C–1250 °C’ de eritilerek elyaf haline getirilmesi sonucu oluşan ısı yalıtım malzemesidir. Silte ve levha halinde kullanılabilir. Her türlü ahsap oturtma çatıda, metal çatılarda, sandviç çatılarda, tavuk çiftliklerinde, hayvan barınaklarında ve güneş enerjisi toplayıcı sistemlerinde ısı yalıtımı amacıyla kullanılır.

(<http://www.izocam.com.tr/izocam/Urunler/Cam-Yunu.aspx>). Cam Yününün Teknik Özellikleri ise: Isı iletkenlik beyan değeri $1 \leq 0.040 \text{ W/mK}$ ’ dır. Su buharı difüzyon direnç faktörü $m = 1$ ’ dır. Kullanım sıcaklığı $-50/+250 \text{ °C}$ aralığındadır. Bağlayıcısız cam yünü ürünler 500 °C ’ ye kadar kullanılabilir. Ayrıca $-200 - +400 \text{ °C}$ aralığında kullanılan özel cam yünü ürünler de üretilebilir. Alman Normu olan DIN 4102’ ye ve Türk Standardı TS EN 13501-1’ e göre ”yanmaz malzemeler” A sınıfındadır.

3.1.4. Havuzun Tuz Yoğunluğu Dağılımını Ölçme Sistemi

Güneş havuzlarının iç bölgeleri farklı yoğunluklu tabakalardan meydana gelmektedir. Tabaklar arasındaki bu yoğunluk farkları havuzun performansı için çok önemlidir. Bu nedenle havuzu oluşturan bu tabakaların yoğunluklarının sürekli takip edilmesi gerekmektedir. İç bölgelerin yoğunluklarını ölçmek için havuzun. 1,10 m boyunda 3 x 4,5 cm kalınlığında bir tahta direk üzerine 7 mm çapında 11 adet şeffaf plastik hortum; kroşelerle 10’ ar cm ara ile tutturulmuştur. Üzerinde hortumlar bulunan direk düşey doğrultuda havuz içine yerleştirilmiştir. Diğer uçları havuzun dışında bırakılarak istenilen periyotta ölçüm alabilmek için havuz kenarına sabitlenmiştir.

3.1.5. Sıcaklık Dağılımını Ölçme Sistemi

Güneş havuzunun performansının saptanabilmesi için güneş havuzunun sıcaklık dağılımının iyi belirlenmesi gerekmektedir. MKTGH’ un sıcaklık ölçümlerini yapabilmek için J tipi ısı çiftleri ve bilgisayara takılan 16 kanallı

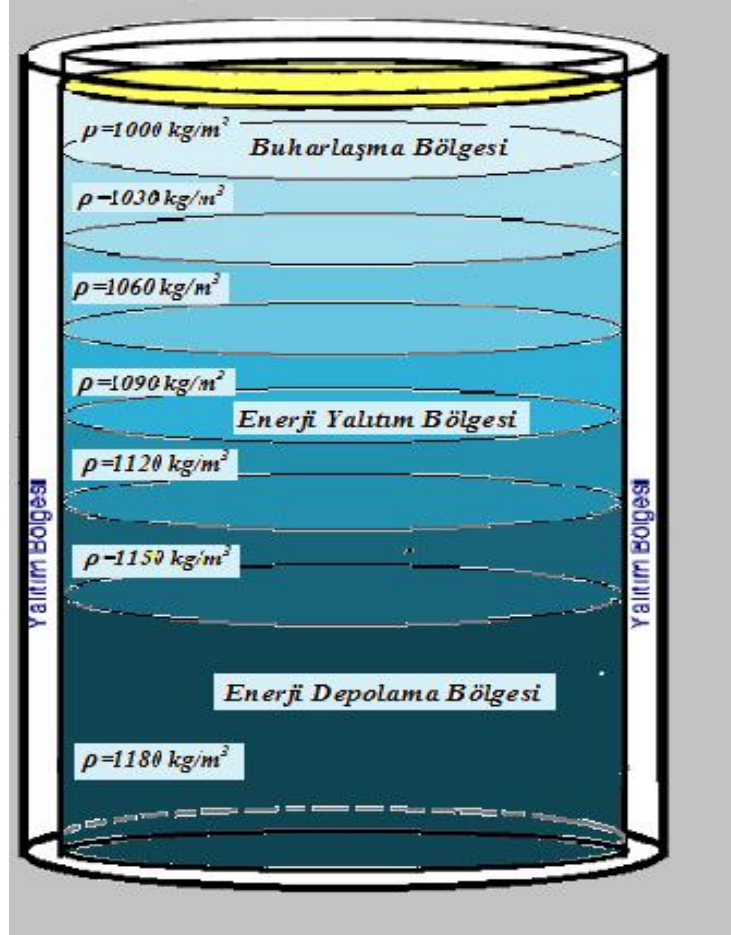
dönüştürücü kart kullanılarak geliştirilen bir ölçüm sistemi kullanılmıştır. Sensörlerin tuzlu sudan etkilenmemesi için önce sensör bacaları makaron ile yalıtılmış ve üzeri seffaf silikon ile kaplanmıştır. Böylece sensörlerin tuzlu suyun etkilerinden kaynaklanacak bozulmaların önlenebileceği düşünülmektedir. Sensör, sıcaklığa karşı lineer olarak değişen gerilim sinyaller üretmektedir. Ölçme sistemi, sensörlerden gelen gerilim sinyalleri sıcaklığı verecek şekilde kalibre edilmiştir. Havuzun içine yerleştirilen sensörler tarafından üretilen sinyaller, bilgisayara takılan 16 kanallı dönüştürücü bir kart ile istenilen zaman aralıklarında okunup GeniDaQ ile yazılan program yardımı ile sıcaklığa dönüştürülerek bilgisayara kaydedilmiştir. Elde edilen sıcaklık verileri ile MKTGH' in sıcaklık dağılım profilleri çıkarılmıştır.

3.2. Metod

3.2.1. Magnezyum Klorür Tabakalarının Oluşturulması

Güneş havuzlarında tuz gradyanının oluşturulması önem arz etmektedir. Yani seçilen tuzun özellikleri, gradyentli bölgelerin oluşturulması için çok önemli bir role sahiptir. Ön araştırmalar sonucunda güneş havuzu için uygun görülen $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ tuzu MKTGH' nin iç bölgelerini oluşturmak amacıyla önceden belirlenen yoğunluklarda Şekil 3.2' deki gibi tuzlu su çözeltileri hazırlanmıştır. Çözeltiler hazırlandıktan sonra dinlenmeye bırakılmış ve bu çözeltiler bir dalgiç motoru ve hortum vasıtasıyla havuza aktarılmıştır. Tabakalar üst üste yığılırken sarsıntı ile farklı yoğunluklu tabakaların birbirine karışmasını önlemek için havuzun içinde yüzebilen ince bir pvc plastik levha yerleştirilmiştir ve çözeltiler bu levha üzerine yavaş yavaş boşaltılmıştır. EDB için hazırlanan 1180 kg/m^3 yoğunluğundaki tuzlu su çözeltisi tabandan itibaren 50 cm yüksekliğe kadar havuz içerisine aktarılmıştır. Güneş havuzunun EYB' si yani konveksiyonsuz bölge, yoğunlukları EDB' nin üst kısmından itibaren yukarıya doğru 1150 kg/m^3 , 1120 kg/m^3 , 1090 kg/m^3 , 1060 kg/m^3 , 1030 kg/m^3 yoğunluklu magnezyum klorür çözeltileri 0,10' ar m kalınlıklı tabakalar halinde üst üste yığılarak yalıtım bölgesi oluşturulmuştur. Daha

sonra EYB' in üzerine 0,10 m kalınlığında çeşme suyu doldurularak buharlaşma bölgesi oluşturulmuştur.

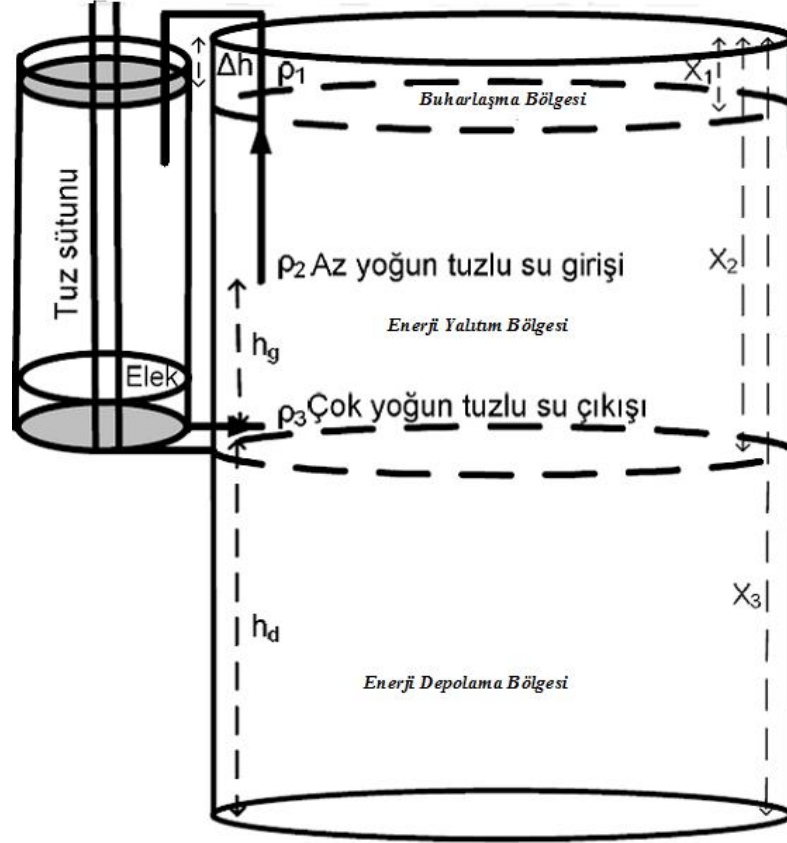


Şekil 3.2. Güneş havuzunu oluşturan tabakalar

3.2.2. Tabakaların Eğimini Koruma Sisteminin Çalışma Prensibi

Farklı yoğunluklar ile oluşturulan suyun doğal sirkülasyonuna bağlı olarak, güneş havuzları içinde tuzun tekrar oluşturulması için pasif bir metot Akbarzadeh ve arkadaşı tarafından önerilmiştir. Seçilmiş bir derinlikteki su, bu sisteme göre güneş havuzunda tuzluluk oranının çok olduğu güneş havuzunun taban bölgesine gönderilmeden önce, bitişik tanktaki bir tuz yatağından geçirilir. Dışa çıkacak ve içe girecek noktalardaki yoğunluk farkını, güneş havuzunun sürücü kuvveti sağlamaktadır. Tuz gradiyentli güneş havuzlarında üst difüzyonu karşılamak için

havuzun dip bölgesine yeteri kadar tuz transferini bu başarılı sistem dizaynının sağlayacağı düşünülmüştür (Abarzadeh ve ark., 1982).



Şekil 3.3. Tuz gradyentini koruma sistemi birleşik kaplar ilkesine dayanır

Magnezyum klorür tabakaların gradyentini koruma sistemi birleşik kaplar ilkesine göre çalışmaktadır. Şekil 3.3' de görüldüğü gibi konveksiyonsuz bölgeden bir plastik hortum vasıtasıyla düşük yoğunluklu tuzlu su yan duvardaki silindirik kabın içine akması sağlanır. Silindirik kabın içinde katı magnezyum klorür bulunmaktadır. Az yoğunluklu magnezyum klorür çözeltisi kaptaki magnezyumun üzerine yükseklik ve yoğunluk farkı yaratmak suretiyle akıtılır. Katı magnezyum parçaları içinden geçen az yoğunluklu tuzlu su buradan yoğunluğu artmış olarak yeniden depolama bölgesinin üst kısmına "O" biçimli plastik çift yayıcılı boru vasıtasıyla akıtılır. Yayıcılı 7 mm çapında 100 adet delikten oluşmaktadır. Yoğunlaşan çözelti bu delikler aracılığıyla akmaktadır. Bu akış doğal yolla olmaktadır. Doğal akışı her iki sistemim arasındaki yükseklik farkına ve tuzlu su yoğunluklarına bağlı olarak

değişmektedir. Uygun yükseklik farkı yaratıldığı takdirde doğal akış gerçekleşir. Bunun için uygun yükseklik farkının hesaplanması gerekmektedir. Bu yükseklik farkının hesabı için önce havuz tabanından h_d yükseklikteki bir noktada ortalama basıncın hesaplanması gerekir; Bu basınç,

$$P_{ort} = \left(\frac{r_3 + r_2}{2} \right) h_g + \left(\frac{r_2 + r_1}{2} \right) (X_2 - h_g) \quad (3.1)$$

eşitliğinden bulunur. Burada; yoğunluklar 1-2-3, X_2 ve h_g ' de yüksekliktir. Tuz bulunan kaptaki çözelti h_s seviyesinde ise meydana getirdiği basınç,

$$P_s = r h_s \quad (3.2)$$

eşitliğinden hesaplanır. Burada r , az yoğun olarak tuz gradyentini koruma kabına giren ve buradaki tuz sütunundan geçerek çok yoğun hale geldikten sonra yeniden havuza giren çözeltinin yoğunluğudur. Sistemin dengede olması için,

$$P_{ort} = P_s \quad (3.3)$$

şartı sağlanırsa,

$$h_s = \left(\frac{\rho_3 + \rho_2}{2\rho} \right) h_g + \left(\frac{\rho_2 + \rho_1}{2\rho} \right) (X_2 - h_g) \quad (3.4)$$

yüksekliği elde edilir. Buradan koruyucu sistemin içindeki su seviyesinin denge noktasına göre yüksekliği h_s olduğuna göre, iki kaptaki su seviyeleri arasındaki fark,

$$Dh = X_2 - h_s \quad (3.5)$$

olup, sistemin çalışması için yeterlidir. Şekil 3.3' de belirtilen yoğunluk ve yüksekliklere göre (3.4) ve (3.5) eşitlikleri kullanılarak küçük boyutlu silindirik

model yalıtımlı bir güneş havuzu için hesaplanan yükseklik farkını saptanır. Önce h_s yüksekliği, olarak bulunur. Çözeltinin doğal devir-dayımı için gerekli yükseklik farkının,

$$Dh = 60 - 53 = 7 \text{ cm}$$

olması yeterlidir. Bu fark sayesinde, bozulmaların ilk önce başlayacağı depolama bölgesinin üst kısmı magnezyum klorür ile beslenecek ve güneş havuzlarında zamanla bozulmaya yüz tutan magnezyum yoğunluklu tabakalar yeniden düzenlenebilecektir. Böylece, başlangıçta havuzda oluşturulan magnezyum klorürlü tabakaların gradyenti büyük ölçüde korunabilmektedir.

3.2.3. Tabakalardan Numune Çekme ve Yoğunluğunu Ölçme

Güneş havuzlarının iç bölgeleri farklı yoğunluklu tabakalardan meydana gelmektedir. Tabaklar arasındaki bu yoğunluk farkları havuzun performansı için çok önemlidir. Bu nedenle havuzu oluşturan bu tabakaların yoğunluklarının sürekli takip edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla havuz içerisine yerleştirilen ve materyal kısmında anlatılan havuzun tuz yoğunluğunu ölçüm sisteminde bulunan hortumlar Şekil 3.4' de görüldüğü gibi sifonlanmak suretiyle tuzlu su numuneleri alınmaktadır.



Şekil 3.4. Tuzlu su numunelerinin havuzdan alımı ve ölçülmesi

İstenilen zaman aralıklarında havuzun belirlenen derinliklerinden bir miktar tuzlu su çekilerek 250 ml ölçekli bir behere konulup yoğunlukları, yoğunluk ölçme aralıkları, 1000 - 1100 ve 1100 - 1200 kg/m³ arasında değişen hidrometreler yardımıyla yapılmaktadır. Yoğunlukları ölçülen çözeltiler Şekil 3.5' de görüldüğü gibi yükseklik farkı kullanılarak aynı tabakaya aktarılması sağlandı.



Şekil 3.5. Yoğunlukları ölçülen tabakaların yükseklik farkı kullanılarak aynı tabakaya aktarılması

3.2.4. Buharlaşma Bölgesinin Su Seviyesini Sabit Tutma

Güneş havuzlarının enerji kayıplarından biride buharlaşma ile olan ısı kayıplarıdır. Bu kayıpları azaltma yollarından biri havuz üzerine cam kapak yerleştirmektir. Çalışmasını yürüttüğümüz MKTGH kapaksız olarak dizayn edilmiştir. Şekil 3.6' da görüldüğü gibi buharlaşma ile olan ısı kaybını gidermek için düzenli olarak sistem kontrol edilmiş ve pvc platform üzerinden sarsıntı ile karışmaları önlemek için su kontrollü olarak aktararak buharlaşma bölgesinin tabaka seviyesi sabit tutulmaya çalışılmıştır.



Şekil 3.6. Buharlaşma bölgesinin tabaka seviyesini sabit tutma

3.2.5. Sıcaklık Dağılımlarını Ölçme Yöntemi

Güneş havuzu sisteminin performansının saptanabilmesi için önemli parametrelerden biride sıcaklık dağılımının iyi bir şekilde belirlenmesidir. Sistemin sıcaklık ölçümlerini yapabilmek için J tipi ısı çiftleri, dönüştürücü kart ve bilgisayardan oluşan ölçüm sistemi kullanılmıştır. Şekil 3.7’ de her tabakanın orta noktasına yerleştirilen ısı çiftlerinin sıcaklık değerlerini gösteren bilgisayar programının fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 3.7. Havuzun sıcaklık değerlerini gösteren bilgisayar programı

Sıcaklık sensörlerinden gelen gerilim değerleri, dönüştürücü kart ve yazılan program yardımı ile sıcaklık değerlerine dönüştürülmektedir. Bu sıcaklık değerlerinin anlık grafikleri bilgisayar ekranında her an görülmekte ve istenilen zaman aralıklarında bu veriler depolama dosyasına kaydedilmektedir. Kayıt altına alınan sıcaklık değerleri saatlik ve günlük ortalamaları alınarak çizelgeler oluşturulmuştur.

3.2.6. Hava Sıcaklığının Ölçülmesi

Hava sıcaklığında ki değişimler güneş havuzunun ısıl davranışını etkiler. Bu nedenle hava sıcaklığının sürekli takip edilmesi gerekmektedir. Hava sıcaklığının sürekli takip edilebilmesi için güneş havuzun biraz yukarısına yerleştirilen LM35 sensörler kullanılmıştır. Buradan alınan sinyaller kablo ile PCL813 karta iletilmiş ve bilgisayar yardımı ile sıcaklık değerine dönüştürülerek kaydedilmiştir. Daha sonra elde edilen veriler ile hava sıcaklık dağılımı çıkarılmıştır (Bozkurt, 2004). Kayalı (1986) tarafından Çukurova bölgesi sıcaklık değerlerini veren bir ampirik bir denklem geliştirilmiştir. Deneysel olarak ölçtüğümüz sıcaklık değerleri ile Kayalı (1986) tarafından verilen denklem kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu denklem,

$$T_{sh} = 20 + 8 \sin\left(\frac{360n}{365} - 103\right) + 5 \sin\left(\frac{360}{24}t\right) \quad (3.6)$$

ile verilmektedir ve bununla yılın herhangi bir gününün herhangi bir saatinde hava sıcaklığını ± 5 °C civarında bir sapmayla saptamak mümkün olabilmektedir. Burada n; yılın günü, t ise saattir ve bir gün için 1-24 arasında değişmektedir.

3.2.7. Güneş Havuzunun Enerji ve Ekserji Eşitlikleri

Bir sistemin enerji ekserji verimliliğinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Güneş enerjisi sistemlerinin enerji verimliliği yanında aynı zamanda ekserji veriminin de bilinmesi sistem bileşenlerinin performansı hakkında bize en doğru bilgi vermesi bakımında büyük önem arz etmektedir. Böylece bir güneş havuzunun hem enerji hem de ekserji verimlerinin hesaplanabilmesi için önceki bölümde belirtilen yalıtımlı silindirik model bir Magnezyum Klorür güneş havuzunun enerji ve ekserjilerini veren enerji ve ekserji eşitlikleri yazılacaktır.

3.2.7.1. Enerji Eşitlikleri

Güneş havuzunu oluşturan her bölge için (BB, EYB ve EDB) ayrı ayrı yazıldı.

3.2.7.1.(1). Buharlaşma Bölgesi' nin Enerji Eşitlikleri

Güneş havuzunun yüzeyine gelen güneş enerjisinin bir kısmı havuzun yüzeyinden yansır bir kısmı BB tarafından soğurular kalanı ise BB' den EYB' ye geçer. EYB' de depolanan ısı enerjisi Q_{net} , BB tarafından soğurulan ısı enerjisi Q_{BB} , BB' in hemen altındaki tabaka daha sıcak olacağından alt tabakadan gelecek ısı enerjisi Q_{alt} , BB' yi saran yan duvarlardan ısı kayıpları Q_{duvar} , BB' den havaya olan ısı kayıpları da Q_{hava} olarak gösterilirse BB için genel enerji eşitliği aşağıda ki gibi yazılır;

$$Q_{net} = Q_{BB} + Q_{alt} - Q_{duvar} - Q_{hava} \quad (3.7)$$

eşitliği daha açık bir şekilde aşağıdaki gibi yazılır;

$$Q_{net} = bEA_{BB} [1 - (1 - F)h(X_1 - d)] + \left(\frac{k_{ts} A}{\Delta X} \right) (T_{EYB} - T_{BB}) - UA(T_{BB} - T_h) - \frac{k_{yt} 2pL_{BB} r_{iç}}{\Delta X_{yd}} (T_{BB} - T_h) \quad (3.8)$$

β , güneş ışınının suya giriş oranı; E , havuz yüzeyine gelen toplam güneş enerjisi (MJ/m^2); A_{BB} , BB' nin güneş alan yüzey alanı (m^2); F , δ -kalınlığında soğrulan güneş enerji kısmı; h , güneş ışınım oranı; U , yüzeyden havaya olan ısı kayıpları (J); A , ise havuzun yüzey alanı (m^2); T_h , havuz çevresindeki hava sıcaklığı; k_{ts} , k_{tb} ve k_{yd} sırasıyla tuzlu suyun, tabanın ve yan duvarların ısı iletim katsayısı ($\text{J/m}^\circ\text{Ch}$), L_{EDB} enerji depolama bölgesinin kalınlığı (X_1) (m), $r_{iç}$ havuzun iç yarıçapı (m).

3.2.7.1.(2). Enerji Yalıtım Bölgesi (EYB) Enerji Eşitlikleri

EYB' ye ulaşan enerjinin bir kısmı burada soğurular kalanı EDB' ne iletilir. EYB' de soğurulan enerji, temasta buldukları yüzeylerden gelen ve kaybolan enerjiler kullanılarak EYB için enerji eşitliği aşağıdaki gibi yazılır;

$$Q_{net} = Q_{EYB} + Q_{alt} - Q_{üst} - Q_{duvar} \quad (3.9)$$

burada Q_{net} EYB' de depolanan enerjiyi, Q_{EYB} EYB' ye ulaşan güneş enerjisini, Q_{alt} EYB' in hemen altındaki tabaka daha sıcak olacağından alt tabakadan gelecek ısı enerjisini, $Q_{üst}$ hemen üst tabakaya olan ısı kayıplarını, Q_{duvar} duvardan ısı kayıplarını göstermektedir. EYB için enerji eşitliğini daha açık olarak aşağıdaki gibi yazabiliriz:

$$\begin{aligned}
Q_{net} = & bEA_{EYB} [(1-F)h(X_2 - d)] + \frac{k_{ts}A}{\Delta X} (T_{EDB} - T_{EYB}) \\
& + \left(\frac{k_{ts}A}{\Delta X} \right) [T_{EYB} - T_{BB}] - \left(\frac{k_{yd} 2pL_{EYB} r_{i\zeta}}{\Delta X} \right) [T_{EYB} - T_h]
\end{aligned} \quad (3.10)$$

burada A_{EYB} , EYB' nin güneş alan yüzey alanı (m^2); T_{EYB} , EYB' nin ortalama sıcaklığı; T_{BB} , BB' nin ortalama sıcaklığı; L_{EYB} , EYB' nin kalınlığı ($X_2 - X_1$) (m).

3.2.7.1.(3). Enerji Depolama Bölgesi (EDB)' in Enerji Eşitlikleri

EDB' ne gelen enerjinin büyük bir kısmı burada soğurulur. Çok az bir kısmı ise havuzun tabanından yansır. EDB' in temasta buldukları yüzeylerden kaybolan enerjilerde kullanılarak EDB için enerji eşitliği aşağıdaki gibi yazılır:

$$Q_{net} = Q_{EDB} - Q_{taban} - Q_{üst} - Q_{duvar} \quad (3.11)$$

burada Q_{net} EDB' de depolanan enerjiyi, Q_{EDB} EDB' de soğurulan enerjiyi, Q_{taban} havuzun tabanından olan ısı kayıplarını, Q_{duvar} duvardan olan ısı kayıplarını göstermektedir. EDB için enerji eşitliğini daha açık olarak aşağıda ki gibi yazabiliriz:

$$\begin{aligned}
Q_{net} = & bEA_{EDB} [(1-F)h(X_3 - d)] - \frac{k_{tb}A}{\Delta X_{tb}} [T_{taban} - T_h] \\
& - \left(\frac{k_{ts}A}{\Delta X} \right) [T_{EDB} - T_{EYB}] + \frac{k_{yd} 2pL_{EDB} r_{i\zeta}}{\Delta X_{yd}} [T_{EDB} - T_h]
\end{aligned} \quad (3.12)$$

burada A_{EDB} , EDB' nin güneş alan yüzey alanı (m^2); T_{EYB} , EDB' nin ortalama sıcaklığı; T_{EYB} , EYB' nin ortalama sıcaklığı; L_{EDB} , EDB' nin kalınlığı ($X_3 - X_2$) (m).

3.2.7.2. Ekserji

Bir enerji şeklinin ya da maddenin ekserjisi, onun çevre üzerinde değişim yapabilme potansiyeli, kalitesi ya da kullanılabilirliğinin bir ölçüsüdür (Dincer, 2002).

Termodinamik problemlerin çözümü için sadece I. kanun yeterli olmadığından, ekserji kavramını içeren II. kanunun da kullanılmalıdır. Hesaplama kolaylığı, daha sağlıklı sonuçlar verme gibi nedenler, ekserji analizinin tercih edilme sebepleri olarak gösterilebilir. Ekserji kavramı, bazı bilim adamları tarafından aşağıdaki şekillerde tanımlanmıştır (Öztürk ve ark., 2011):

- Belirli bir haldeki sistemin yapabileceği en çok iş (Cengel, 1996).
- Bir termodinamik sistemin ekserjisi, sistemin sadece çevresiyle etkileşimi durumunda, sistemin çevresiyle tümüyle termodinamik denge haline gelirken, elde edilebilecek maksimum teorik yararlı iş (mekanik veya elektrik işi) olarak tanımlanır (Tsatsaronis, 2008).
- Bir enerji şeklinin ya da maddenin ekserjisi, onun çevre üzerinde değişim yapabilme potansiyeli, kalitesi ya da kullanılabilirliğinin bir ölçüsüdür (Dincer, 2002).
- Ekserji, gazlarda, sıvılarda ya da bir kütlede, herhangi bir referans ortama göre var olan dengesizliğin neden olduğu iş potansiyelidir (Ahem, 1980).

Ekserji, sistem ve çevrenin halleri ile ilişkili bir özelliktir. Çevresi ile denge halinde olan bir sistemin ekserjisi sıfırdır ve bu duruma ölü hal denir. Sistemin ölü halde olması, çevresi ile termodinamik dengede bulunması anlamına gelir. Ölü haldeki bir sistem, çevresi ile ısı ve mekanik dengededir ve çevresi ile tepkimeye girmez (kimyasal olarak korunmuştur). Bir sistemin ölü haldeki kullanırlığı sıfırdır (Cengel, 1996).

Tersinir iş W_{tr} , bir sistem belirli bir başlangıç hali ve son hal arasında bir hal değişimi geçirdiğinde, üretilebilen yararlı işin en fazla miktarı olarak tanımlanır. Son hal ölü hal olduğunda, tersinir iş ekserjiye eşittir.

Tersinir iş W_{tr} ve yararlı iş W_y arasındaki fark, hal değişimi sırasındaki mevcut tersinmezliklerden kaynaklanır ve bu fark, tersinmezlik (I) olarak adlandırılır. Tersinmezlik, ekserji yok oluşu ile eşdeğerdir ve aşağıda verildiği gibi ifade edilir:

$$I = X_{yok\ olan} = T_0 S_{\text{üretim}} = W_{tr,\text{çıkta}} - W_{y,\text{çıkta}} = W_{y,\text{giren}} - W_{tr,\text{giren}} \quad (3.13)$$

burada $S_{\text{üretim}}$, hal değişimi sırasındaki entropi üretimidir. Entropi, bir sistemin düzensizliğinin ölçüsüdür. Ekserji yok oluşu, kayıp iş potansiyelini gösterir ve ayrıca harcanmış iş veya kayıp iş olarakta bilinir.

İkinci yasa verimliliği en genel ifadesi ile sistemden elde edilen yararlı iş çıktısının, elde edilebilecek en çok (tersinir) iş çıktısına oranı olarak tanımlanabilir:

$$h_{ii} = \frac{W_y}{W_{tr}} \quad (3.14)$$

İkinci yasa verimini tanımlamaktaki amaç tersinir hal değişimlerine hangi ölçüde yaklaşıldığını belirlemektir. Bu bakımdan ikinci yasa veriminin değeri en kötü durumda sıfır (ekserjinin tamamen yok oluşu), en iyi durumda bir (ekserjinin tümüyle korunması) olacaktır. Bu yaklaşımla ikinci yasa verimi aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\eta_{ii} = \frac{\text{Elde edilen ekserji}}{\text{Sağlanan ekserji}} = 1 - \frac{\text{Ekserji yok oluşu}}{\text{Sağlanan ekserji}} \quad (3.15)$$

Ekserji geçişi; ısı, iş ve kütle akışı ile olabilir. Isı, iş ve kütle geçişi ile beraber olan ekserji geçişi aşağıda verildiği gibi ifade edilebilir:

Isı ile ekserji geçişi:

$$X_{\text{ısı}} = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) Q \quad (3.16)$$

$T > T_0$ olduğu zaman, ekserji ve ısı geçişi aynı yöndedir. Yani, ısı geçişinin olduğu ortamın hem ekserjisi hem de enerjisi artmaktadır. Fakat $T_0 > T$ (soğuk ortam) olduğunda ekserji ve ısı geçişi ters yöndedir.

Kütle, enerji ve entropi yanında ekserji de içerir ve bir sistemin ekserjisi, enerji ve entropi içeriği kütle orantılıdır. Aynı zamanda, sistemin içine veya dışına taşınabilen ekserji, entropi ve enerji miktarları, kütle akış miktarı ile orantılıdır. Kütle akışı, sistemin içine veya dışına olan ekserji, entropi ve enerji taşınımının bir mekanizmasıdır. m miktarındaki kütle bir sisteme girdiğinde veya sistemden ayrıldığında, $\Psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) + V^2/2 + gz$ için $m\Psi$ miktarındaki ekserji ona eşlik eder. Kütlenin ekserjisi aşağıda verildiği gibi yazılabilir:

$$X_{\text{kütle}} = m\Psi \quad (3.17)$$

Herhangi bir hal değişimine uğrayan herhangi bir sistemin ekserji dengesi:

$$X_{\text{giren}} - X_{\text{çıkta}} - X_{\text{yokolan}} = \Delta X_{\text{sistem}} \quad (3.18)$$

veya birim zaman için aşağıda verildiği gibi yazılır:

$$\dot{X}_{\text{giren}} - \dot{X}_{\text{çıkta}} - \dot{X}_{\text{yok olan}} = dX_{\text{sistem}} / dt \quad (3.19)$$

burada ısı, iş ve kütle tarafından yapılan ekserji geçişi sırasıyla;

$$X_{isi}^{\&} = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) Q^{\&} \quad (3.20)$$

$$X_{iş}^{\&} = W_{yararlı}^{\&} \quad (3.21)$$

ve

$$X_{kütle}^{\&} = m^{\&} y \quad (3.22)$$

olarak yazılabilir.

Ekserji analizlerini içeren hesaplamalarda kolaylık sağlaması bakımından aşağıda verilen bazı kabuller ve basitleştirmelerin yapılması gerekebilmektedir (Öztürk ve ark., 2011).

- Ü Herhangi bir sistem, bir çevre ortamı içinde çalışır.
- Ü Ekserji hesaplamalarında, çevrenin öneminin yanında, çevre ile sistem arasındaki sınırın belirlenmesi de büyük önem taşır.
- Ü Buna göre çevre basitçe, sistem içerisinde olmayan diğer her şey olarak tanımlanabilir.
- Ü İncelemeye alınan işe bağlı tersinmezliklerin nicel olarak hesaplanması önemlidir.

Ekserji ve enerji kavramları Çizelge 3.2' de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.2. Enerji ve ekserji kavramlarının karşılaştırılması (I. Dincer, 2002)

Enerji	Ekserji
Çevresel değişkenlere değil, sadece madde veya enerji akış değişkenine bağlıdır.	Madde ve enerji akımının her ikisine de bağlıdır.
Sıfırdan farklı değere sahiptir.(Einstein' nın $E=mc^2$ bağıntısına göre).	Sıfıra sahip değeri vardır (Çevre ile dengede olduğu ölü durumda sıfırdır).
Tüm proseslerde termodinamiğin I. kanunu ile ifade edilir.	Sadece tersinir işler için termodinamiğin I. Kanunuyla gösterilir. Tersinmez işler kısmen veya tamamen yok olur.
Hareket veya hareketi üretme kabiliyetidir.	İş ya da iş üretme kabiliyetidir.
Bir proste her zaman korunur. Yoktan var ya da vardan yok olmaz.	Tersinir proseslerde her zaman korunur. Tersinmez proseslerde ise her zaman tüketilir.
Niceliğin (miktarın) bir ölçüsüdür.	Niceliğin ve entropi nedeniyle niteliğin (kalitenin) bir ölçüsüdür.

Ekserji dengesi; enerji kaynaklarının atıklarının gerçek büyüklüğünü, türünü ve meydana geldiği yerin tespit edilmesinde kullanılabilir ve bundan dolayı da ekserji dengesi, etkin yakıt kullanımı için geliştirilen stratejiler içinde önemli bir rol oynar. Ekserji analizinde, sisteme giren ($\dot{E}x_{in}$) ve sistemden çıkan ($\dot{E}x_{out}$) ekserji akımları birbirine eşittir ve bu eşitlikten yararlanılarak ekserji analizine başlanır.

$$\dot{E}x_{in} = \dot{E}x_{out} \quad (3.23)$$

Birim kütle için toplam ekserji miktarı, kinetik, potansiyel, fiziksel ve kimyasal ekserjilerinin toplamından oluşur.

$$\dot{E}x = \dot{E}x_{kn} + \dot{E}x_{pt} + \dot{E}x_{fz} + \dot{E}x_{km} \quad (3.24)$$

burada; $\dot{E}_{x_{kn}}$, kinetik ekserjii, $\dot{E}_{x_{pt}}$, potansiyel ekserjii, $\dot{E}_{x_{fz}}$, fiziksel ekserjii ve $\dot{E}_{x_{km}}$ kimyasal ekserjii belirtmektedir. Kimyasal ekserjinin akış ekserjisinin içerisinde bulunabilmesi için akış sırasında sistemde bir kimyasal tepkime doğması gerekir. Akış halindeki ekserji; potansiyel, kinetik, fiziksel ve kimyasal (fiziksel ve kimyasal ekserji aynı zamanda termal ekserji olarak da adlandırılır) ekserji olarak 4' e ayrılır. Termodinamik sistem veya koşullara bağlı olarak, ekserji eşitliği olan eşitlik (3.26)' da verilen bileşenlerin tamamı veya bazıları incelemesi yapılan sisteme uygulanabilir. Normal olarak, kimyasal bileşimde olduğu gibi, kinetik ve potansiyel enerjilerde de herhangi bir değişiklik olmaması durumunda, sadece fiziksel ekserji aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\dot{E}_{x_{fz}} = [(h - h_0) - T_0(s - s_0)] \quad (3.25)$$

burada h özgül entalpiyi, s özgül entropiyi ve T sıcaklığı göstermektedir. Alt indis olarak belirtilen o , referans çevre koşullarını belirtmektedir. Çevre, farklı sistemlerin belirlenen en yüksek iş potansiyeli (ekserji) için doğal-referans bir ortam oluşturur. Ekserji, sürekli olarak referans ortam koşulları ile karşılaştırılarak değerlendirilir. Referans ortam, kararlı halde-denge durumundadır. Durağan bir sistemin, çevre ile ısıl ve mekanik olarak dengede olduğu durumu belirten referans ortam, sonsuz bir sistem gibi davranır. Referans ortam, sıcaklık (T_o), basınç (P_o) ve kimyasal potansiyel (μ_{joo}) gibi belirli özellikler ile tanımlanır (Dincer ve ark., 2004).

3.2.7.3. Güneş Radyasyonu Ekserji Analizi

Güneş radyasyonunun ekserjisinin değerlendirilmesi için üç farklı yaklaşım eşitlik (3.29) ile (3.31) arasında verilmiştir. Eşitlik (3.29), S.M. Jeter (1981), tarafından geliştirilen güneş sıcaklığında ısı akışı olarak kabul edilen güneş enerjisinin ekserjisini değerlendirmek için kullanılan en basit yaklaşımı göstermektedir. Denklem (3.30)' de P. Petela 2003 tarafından geliştirilen diğer bir yaklaşım verilmiştir. Bu yaklaşımda güneş radyasyonunun ekserjisi güneş

sıcaklığında termal radyasyon olarak değerlendirilmiştir. Direkt (I_{be}) ve difüz (I_{dif}) bileşenleri ile güneş radyasyonunun ekserjisi Eşitlik (3.30) ile verilmiştir (Onyegegbu ve ark., 1993).

$$Ex_{solar} = \left(1 - \frac{T_a}{T_s}\right) x I_s \quad (3.26)$$

$$Ex_{solar} = \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_a}{T_s}\right)^4 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_a}{T_s}\right)\right] x I_s \quad (3.27)$$

$$Ex_{solar} = I_{be} x \left(1 - \frac{4T_a}{3T_s}\right) + I_{dif} \left(1 - \frac{4T_a}{3T_s^*}\right) \quad (3.28)$$

burada T_s güneş radyasyonunun sıcaklığını göstermektedir (5777 K). T_s^* ise aşağıda verilmiştir:

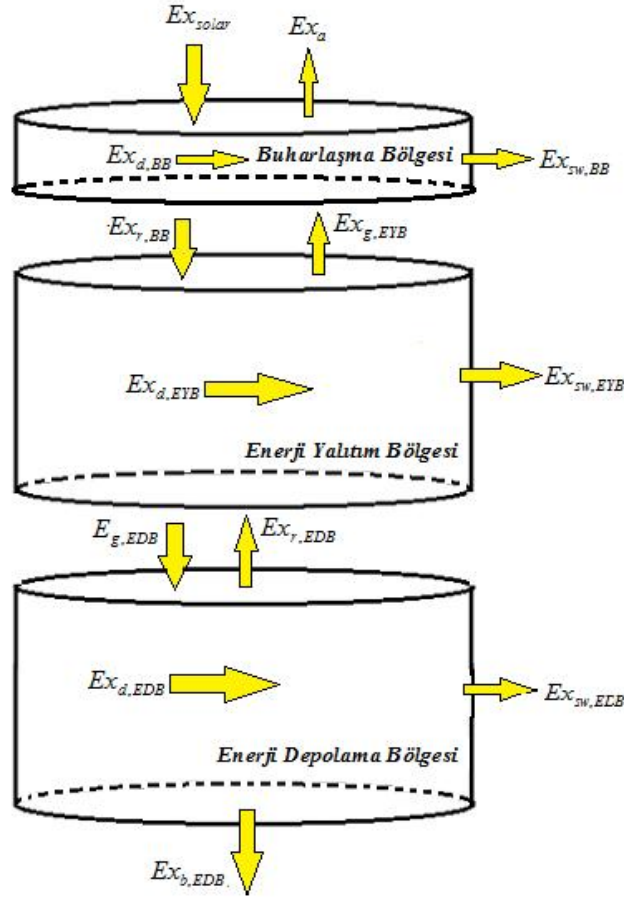
$$\frac{T_s}{T_s^*} = 0.9562 + 0.2777 \ln\left(\frac{1}{f}\right) + 0.0511f \quad (3.29)$$

burada f , diffüze radyasyonun seyreltme faktörüdür (S.O. Onyegegbu, J. Morhenne, 1993).

3.2.7.4. MKTGH' nun Ekserji Eşitlikleri

Bir termodinamik sistemin ekserjisi, sistemin sadece çevresiyle etkileşimi durumunda, sistemin çevresiyle tümüyle termodinamik denge haline gelirken, elde edilebilecek maksimum teorik yararlı iş (mekanik veya elektrik işi) olarak tanımlanır (Tsatsaronis, 2008). Bu nedenle ekserji analizi yapılırken havuzun çevresi ve

tabakaları arasındaki ekserji geçişlerini belirlemek ve eşitliklerini doğru analiz etmek gereklidir. Şekil 3.8’ de görüldüğü gibi ekserji akışına göre ekserji eşitlikleri yazılmaktadır (Karakılıç ve Dincer, 2006).



Şekil 3.8. Ekserji akış diyagramı

Buharlaşma bölgesinin ekserji eşitlikleri;

Şekil 3.8 'de havuzun ekserji akış diyagramı gösterilmiştir. Buna göre BB' nin ekserji eşitliği aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$Ex_{solar} + Ex_{g,EYB} = Ex_{r,EYB} + Ex_{d,BB} + Ex_a + Ex_{sw,BB} \quad (3.30)$$

Ex_{solar} , havuz yüzeyine gelen güneş ekserjisi, $Ex_{g,EYB}$, EYB' den BB' ye gelen ekserji girişidir. Bu iki ekserji girişinin toplamı; BB' nin üst yüzeyinden havaya iletilen ekserji Ex_a , BB içinde soğurulan ekserji $Ex_{d,BB}$, BB tabakasının yan duvardan olan ekserji kaybı Ex_{sw} , ve $Ex_{r,EYB}$ EYB' den BB' ye ekserji girişinin toplamlarına eşittir. Havuz için Ex_{solar} aşağıdaki eşitlik ile verilir.

$$Ex_{solar} = E_{net} \left[1 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_0}{T} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{T_0}{T} \right)^4 \right] A_{BB} \quad (3.31)$$

burada A_{BB} havuz yüzeyi, T_0 güneşin yüzey sıcaklığı (6000 K, Petela, 2003) dır.

EYB' den BB'ye gelen ekserji girişi ise;

$$Ex_{g,EYB} = m_{EYB} Cp_{EYB} \left[(T_{m,EYB} - T_{BB}) - T_0 \left(\ln \frac{T_{m,EYB}}{T_{BB}} \right) \right] \quad (3.32)$$

burada m_{EYB} , EYB' nin kütesidir ve EYB' nin yoğunluğu ρ_{EYB} ile hacmin V_{EYB} ' nin çarpımından kolaylıkla elde edilebilir. $T_{m,EYB}$, EYB' nin ortam sıcaklığı, T_{BB} , BB' nin ortalama sıcaklığıdır.

$$m_{EYB} = \rho_{EYB} V_{EYB} \quad (3.33)$$

EYB' den BB' ye gelen ekserji girişi ise:

$$Ex_{r,EYB} = Ex_{total} - Ex_{i,total} = (Ex_{solar} + Ex_{g,BB}) - (Ex_{d,BB} + Ex_a + Ex_{sw,BB}) \quad (3.34)$$

ile ifade edilir. Burada Ex_{total} , EYB' sine gelen toplam ekserji, $Ex_{l,total}$ ise EYB üzerinden kaybedilen toplam ekserji çıkışıdır.

$$Ex_{d,BB} = T_0 (\Delta s_{net}) \quad (3.35)$$

$$\Delta s_{net} = \Delta s_{sys} + \Delta s_{swrr} \quad (3.36)$$

burada Δs_{net} , entropi değişimidir.

$$Ex_{d,BB} = T_0 \left[m_{BB} Cp_{BB} \ln \left(\frac{T_{BB}}{T_0} \right) - \left(\frac{Q_{wa}}{T_{BB}} + \frac{Q_{sw,BB}}{T_0} \right) + \left(\frac{Q_{g,EYB}}{T_{EYB}} + \frac{Q_{sw,BB}}{T_0} \right) \right] \quad (3.37)$$

$$Ex_{a,BB} = m_{BB} Cp_{BB} \left[(T_{BB} - T_a) - T_0 \left(\ln \left(\frac{T_{BB}}{T_a} \right) \right) \right] \quad (3.38)$$

$$Ex_{sw,BB} = m_{BB} Cp_{sw} \left[(T_{BB} - T_{sw,BB}) - T_0 \left(\ln \left(\frac{T_{BB}}{T_{sw,BB}} \right) \right) \right] \quad (3.39)$$

$$m_{BB} = r_{BB} V_{BB} \quad (3.40)$$

BB için ekserji verimliliği;

$$\Psi_{BB} = \frac{Ex_{r,BB}}{Ex_{total}} = 1 - \frac{Ex_{d,BB} + Ex_a + Ex_{sw,BB}}{Ex_{solar} + Ex_{g,BB}} \quad (3.41)$$

Enerji yalıtım bölgesinin eşitlikleri:

$$Ex_{r, BB} + E_{g, EDB} = Ex_{r, EYB} + Ex_{d, EYB} + Ex_{l, EYB} + Ex_{sw, EYB} \quad (3.42)$$

burada $Ex_{r, BB}$, buharlaşma bölgesinden enerji yalıtım bölgesine gelen ekserji,

$E_{g, EDB}$, EDB'den EYB' ye gelen ekserji girişi,

$$Ex_{r, EYB} = Ex_{total} - Ex_{d, EYB} = (Ex_{r, BB} + E_{g, EDB}) - (Ex_{d, EYB} + Ex_{l, EYB} + Ex_{sw, EYB}) \quad (3.43)$$

Ex_{solar} , havuz yüzeyine gelen güneş ekserjisi, $Ex_{g, EYB}$, EYB' den BB' ye gelen ekserji giriştir. Bu iki ekserji girişi BB' nin üst yüzeyinden havaya iletilen Ex_a , BB içinde soğurulan $Ex_{d, BB}$, BB tabakasının yan duvarlardan kaybı $Ex_{sw, BB}$ ve $Ex_{r, EYB}$ EYB' den ekserji girişinin toplamına eşittir. EYB' den enerji kaybı $Ex_{d, EYB}$ ise,

$$Ex_{d, EYB} = T_0 (\Delta s_{net, EYB})$$

$$Ex_{g, EDB} = m_{EDB} Cp_{EDB} \left[(T_{EDB} - T_{EYB}) - T_0 \left(\ln \frac{T_{EDB}}{T_{EYB}} \right) \right] \quad (3.44)$$

$$m_{EDB} = r_{EDB} V_{EDB} \quad (3.45)$$

$$Ex_{l, EYB} = m_{EYB} Cp_{EYB} \left[(T_{EYB} - T_{BB}) - T_0 \left(\ln \left(\frac{T_{EYB}}{T_{BB}} \right) \right) \right] \quad (3.46)$$

$$Ex_{sw,EYB} = m_{EYB} Cp_{sw} \left[(T_{EYB} - T_{sw,EYB}) - T_0 \left(\ln \left(\frac{T_{EYB}}{T_{sw,EYB}} \right) \right) \right] \quad (3.47)$$

Enerji yalıtım bölgesinin ekserji verimi:

$$\Psi_{EYB} = \frac{Ex_{r,EYB}}{Ex_{total}} = 1 - \frac{Ex_{d,EYB} + Ex_{l,EYB} + Ex_{sw,EYB}}{Ex_{r,BB} + Ex_{g,EDB}} \quad (3.48)$$

Enerji depolama bölgesinin ekserji eşitlikleri:

$$Ex_{r,EYB} - (Ex_{d,EDB} + Ex_{l,EDB} + Ex_{sw,EDB} + Ex_{b,EDB}) = \Delta Ex_{st} \quad (3.49)$$

$$Ex_{d,EDB} = T_0 (\Delta s_{net,EDB}) \quad (3.50)$$

$$\Delta s_{net,EDB} = \Delta s_{sys} + \Delta s_{wsrr} \quad (3.51)$$

$$Ex_{d,EDB} = T_0 \left[m_{EDB} Cp_{EDB} \ln \left(\frac{T_{EDB}}{T_0} \right) - \left(\frac{Q_{g,EDB}}{T_{EDB}} + \frac{Q_{sw,EDB}}{T_0} \right) + \left(\frac{Q_{g,EYB}}{T_{EYB}} + \frac{Q_b}{T_0} \right) \right] \quad (3.52)$$

$$Ex_{r,EYB} = m_{EDB} Cp_{EDB} \left[(T_{m,EDB} - T_{m,EYB}) - T_0 \left(\ln \frac{T_{EYB}}{T_{m,EYB}} \right) \right] \quad (3.53)$$

$$Ex_{sw,EDB} = m_{EDB} Cp_{sw} \left[(T_{EDB} - T_{sw,EYB}) - T_0 \left(\ln \frac{T_{EDB}}{T_{sw,EDB}} \right) \right] \quad (3.54)$$

Havuzun tabanından ekserji kaybı, $Ex_{b,EDB}$ aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$Ex_{b,EDB} = Ex_{sw,EDB} \quad (3.55)$$

EDB için ekserji verimliliği;

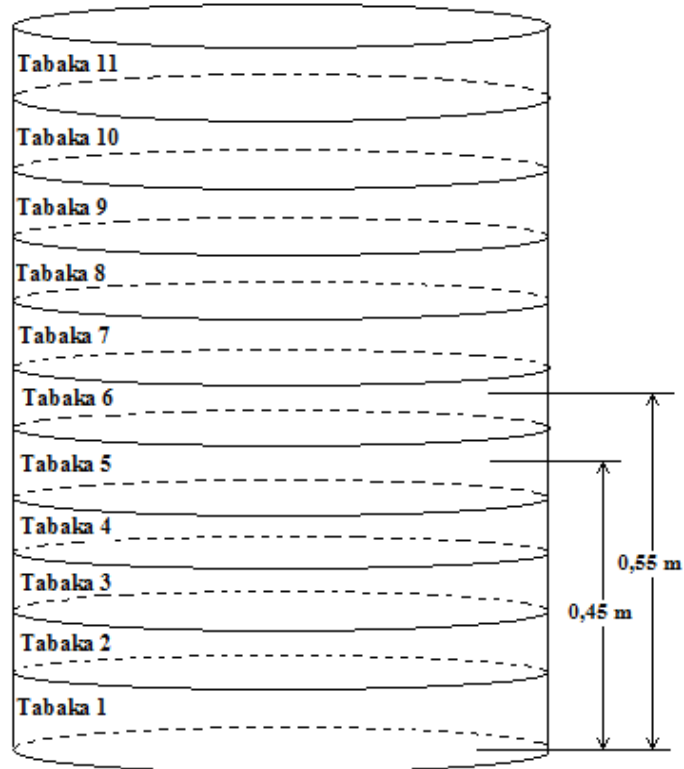
$$\Psi_{EDB} = \frac{\Delta Ex_{st}}{Ex_{r,EYD}} = 1 - \frac{Ex_{d,EDB} + Ex_{l,EDB} + Ex_{sw,EDB} + Ex_{b,EDB}}{Ex_{r,EYB}} \quad (3.56)$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

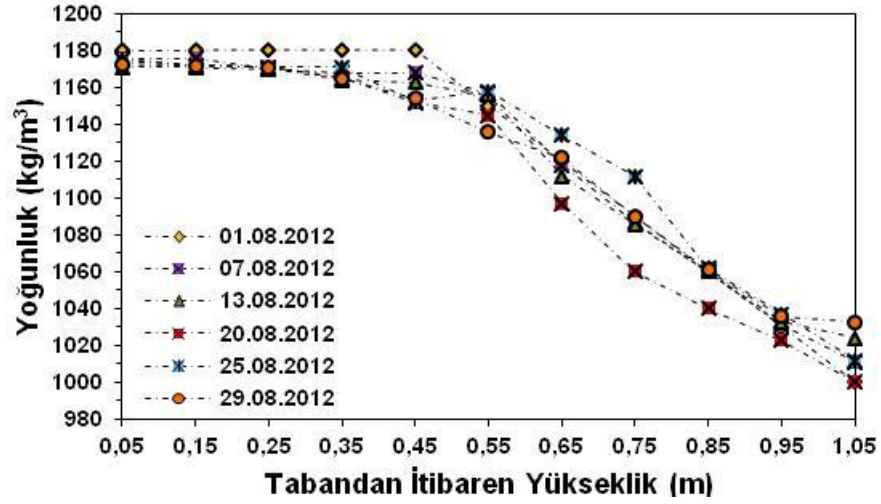
Bu bölümde, Magnezyum Klorür tabakalarından oluşan yalıtımlı silindirik model küçük boyutlu bir güneş havuzunun iç bölgelerinin farklı derinliklerindeki yoğunluk, sıcaklık, gelen enerji ve ekserji dağılımlarını gösteren profilleri verilmektedir. Deneysel olarak yapılan ölçümlerden elde edilen değerler, Bölüm 3’de verilen enerji ve ekserji eşitliklerinde kullanılarak, iç bölgelerin enerji ve ekserji verimleri hesaplandı. Bu hesaplardan çıkarılan sonuçlar tartışılarak ve Magnezyum Klorür Tabakalı Güneş Havuzu (MKTGH)’ nun performansı belirlenmeye çalışılacaktır.

4.1. MKTGH’ nun Ağustos Ayı Yoğunluk ve Deneysel Sıcaklık Dağılımı

Güneş havuzlarının yoğunluk gradyentini koruma sistemi havuz sistemine dahil edilmeden önce havuz kendi doğal ortamına bırakılarak tabakalar arasındaki değişim gözlenmiştir. yoğunluğu 1180 kg/m^3 olarak hazırlanan enerji depolama bölgesinin (EDB) üst yüzeyinden itibaren 0,45 m (Tabaka 5)’ den enerji yalıtım bölgesine (EYB) göç eden moleküller ilk olarak EDB’ nin bu bölgesinde bozulmalara neden olmuştur. Madde kaybı ile yoğunluğu azalan bu bölge daha sonra Şekil 4.1’ de gösterildiği gibi, ara kesit (geçiş bölgesi) gibi davranır. Bu oluşan ara kesitin yoğunluğunun azalması ile EDB’ nin ara kesit altında kalan daha yoğun bölgelerdeki moleküller yukarı doğru çıkarken, aynı anda ara kesitten de EYB’ ye göçler devam eder. Bunun sonucu olarak da EDB bölgesinden yukarıdan aşağıya doğru bir yoğunluk azalması oluşurken, EYB de aşağıdan yukarıya doğru yoğunluk artışı gözlenir. Sıcaklığın artması ile bu süreç hız kazanır. Şekil 4.2’ de görüldüğü gibi, 01.08.2012 tarihinde 1180 kg/m^3 olarak hazırlanan 0,50 m yüksekliğindeki EDB, havuz sisteminin sıcaklığının artışı ile 29.08.2012 tarihinde tabandan itibaren 0,05 m (Tabaka 1) de 1173 kg/m^3 ölçülürken aynı tarihte ara kesit (Tabaka 5) olarak kabul ettiğimiz 0,45 m de 1165 kg/m^3 olarak gözlenmiştir.



Şekil 4.1. Tabaka 4 ile tabaka 5 arasındaki ara kesit bölgesi



Şekil 4.2. Ağustos ayı içerisinde magnezyum klorür tabakalı güneş havuzunun doğal ortamındaki yoğunluk dağılımı

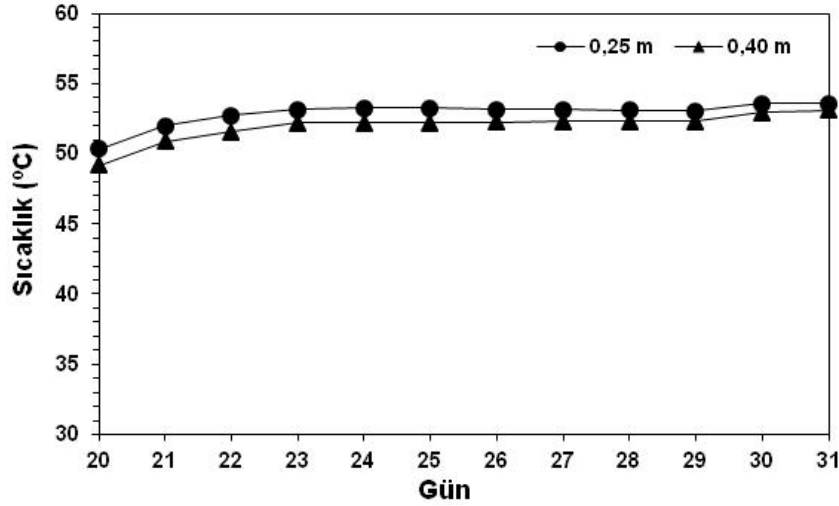


Şekil 4.3. Buharlaştırma bölgesinin üst yüzeyindeki kirlilik

Çalışma süresi boyunca, havuzun buharlaştırma bölgesinin üst yüzeyi çevre koşullarından kaynaklanan toz, yaprak, böcek v.b gibi kirlenici maddeler ile Şekil 4.3' de görüldüğü gibi kirlenmiş bir tabaka ile kaplandığı görülmektedir. Buharlaştırmanın etkisi yüzünden BB' de ve EYB' de yoğunluk artışı belirlenmiştir. Buharlaştırma ile olan yoğunluk artışının ve kirlenicilerin güneş enerjisi girişine etkilerini azaltmak için havuzun buharlaştırma bölgesi sürekli yıkanarak bu bölge mümkün olduğu kadar temiz tutulmaya çalışılmıştır. Üst tabakanın alınıp yerine sıcaklığı alınan tabakadan daha düşük sıcaklıktaki temiz su eklenmesi ile EDB' nin gradyentinde düzensizlik oluşmuştur. Bu düzensizlik sıcaklığın artması ve difüzyonun etkisi ile üst tabakalara madde geçişi yeniden sağlanmış ve düzenlenmiştir. Eğer üst bölge temiz tutulabilirse, bunun etkisi ile havuza giren güneş enerjisi miktarındaki azalmanın önlenilebileceği görülmüştür. Ayrıca BB' de ve EYB' de oluşan tuz gradyenti dengede tutulmaya çalışılmıştır.

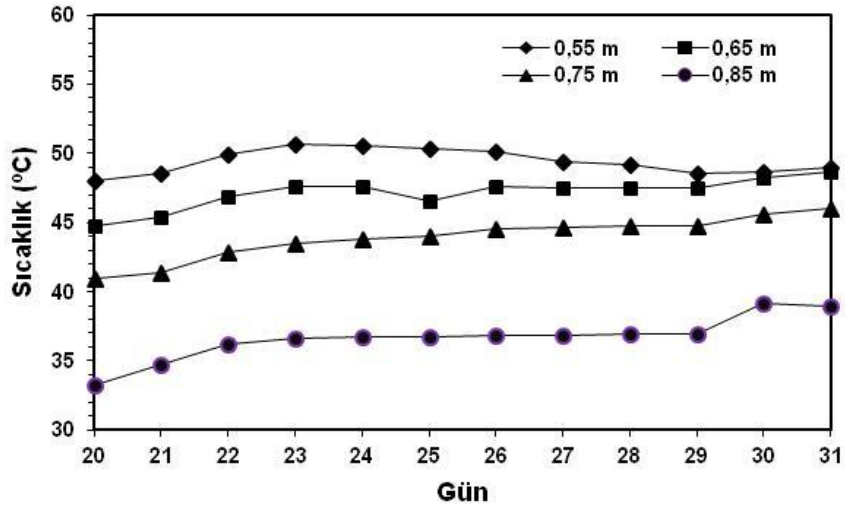
Ölçülen yoğunluk değerlerine göre, 1180 kg/m³ olarak hazırlanan EDB, Ağustos ayında 0,05, 0,15, 0,25, 0,35 ve 0,45 m' deki tabakalarının ortalama yoğunlukları sırası ile; 1175 kg/m³, 1173,8 kg/m³, 1172 kg/m³, 1168,8 kg/m³ ve 1161,7 kg/m³ değerlerine ulaşmıştır. EYB ise, 0,55, 0,65, 0,75, 0,85 ve 0,95 m' de sırası ile 1150 kg/m³, 1120 kg/m³, 1090 kg/m³, 1060 kg/m³ dir. 1030 kg/m³ olarak hazırlanan EYB' in ortalama yoğunlukları ise, sırası ile 1150,3 kg/m³, 1117 kg/m³,

1087 kg/m³, 1057 kg/m³ ve 1031,7 kg/m³ olarak ölçülmüştür. 1000 kg/m³ olarak oluşturulan BB Ağustos ayı içerisinde ortalama yoğunluğunun 1011 kg/m³ değerine ulaştığı görülmüştür.



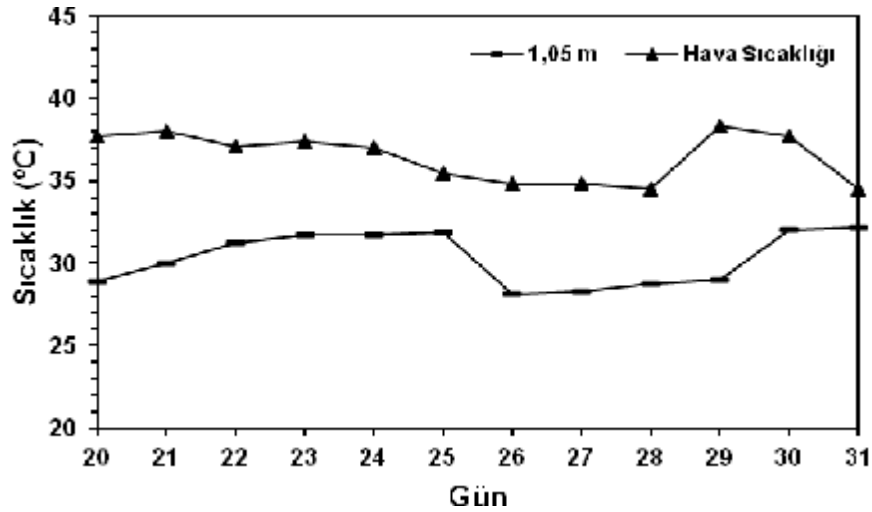
Şekil 4.4. Ağustos ayı enerji depolama bölgesinin sıcaklık dağılımı

Havuz ilk doldurulduğunda, tabakaların sıcaklık değerleri aynı olup 33 °C olarak ölçülmüştür. Tuz eğiminin (gradyenti) oluşturulması ile depolama bölgesinin sıcaklığında Şekil 4.4' de görüldüğü gibi önemli bir artış gözlemlenmiştir. Bununla birlikte havuzun enerji depolama bölgesinde daha çok enerji depolamaya başladığı ve dolayısıyla havuzun enerji depolama bölgesinin sıcaklığının üst bölgelere göre daha fazla olduğu görülmüştür. Ağustos ayı için EDB' nin, minimum sıcaklık değeri, 49,29 °C, maksimum sıcaklık değeri, 53,58 °C, ortalama sıcaklık değeri ise, 52,42 °C' olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.5. Ağustos ayı enerji yalıtım bölgesinin sıcaklık dağılımı

Şekil 4.5' de görüldüğü gibi, Ağustos ayı için EYB' nin minimum sıcaklık değeri, 33,21 °C', maksimum sıcaklık değeri, 50,69 °C, ortalama sıcaklık değeri ise, 44,29 °C' dir.



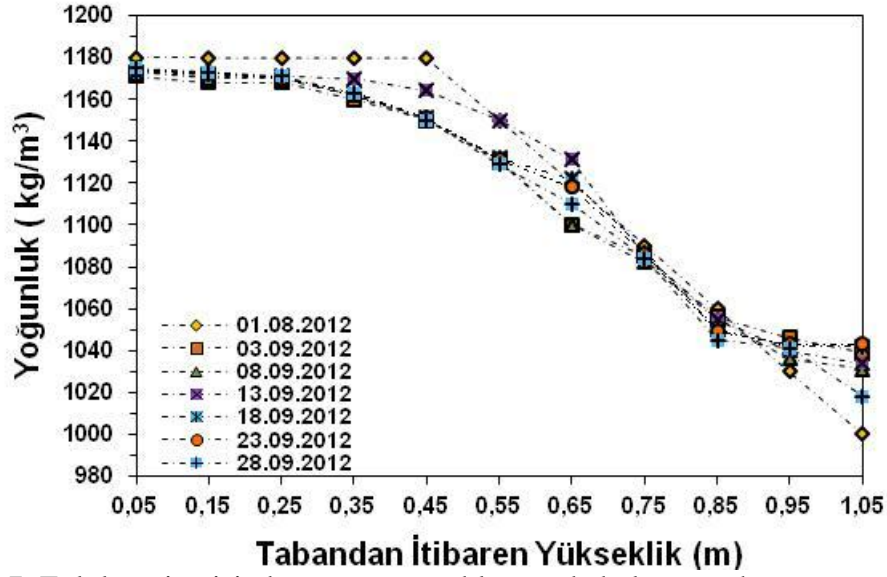
Şekil 4.6. Ağustos ayı buharlaşma bölgesinin ve hava sıcaklığının dağılımları

Havuz yüzeyi ile hava sıcaklığı arasındaki sıcaklık farklarına bakıldığında buharlaşma bölgesinin sıcaklığının hava sıcaklığından daha az olduğu görülmüştür. Buharlaşma bölgesinin sıcaklığının hava sıcaklığına yaklaştığı Ağustos ayının 25. ve 31. gününde bu bölgenin yoğunlukları sırası ile 1012 kg/m³ ve 1033 kg/m³ olarak ölçülmüştür. Bununda buharlaşma bölgesinin yoğunluk artışı ile ısı tutuğu ve bu

bölgenin sıcaklık artışına sebebiyet verdiği düşünülmektedir. Buharlaştırma bölgesinin kirlenen ve yoğunluğu artan üst yüzeyinin alınması ile güneş ışınlarının burada daha az soğurduğu ve dolayısıyla enerji yalıtım bölgesine daha çok iletiildiği düşünülmektedir. Şekil 4.6' da görüldüğü gibi Ağustos ayı için BB' in, ve hava sıcaklık değerleri sırası ile, minimum sıcaklık değerleri, 28,11 °C ve 34,5 °C, maksimum sıcaklık değeri; 32,18 °C ve 38,3 °C, ve ortalama sıcaklık değeri, 30,31 °C ve 35,97 °C olmuştur. BB' in alınıp yerine sıcaklığı daha az olan çeşme suyu eklenmesi ile bu bölgede ani sıcaklık düşmesi oluşmuştur. Daha sonra çevre sıcaklığı ve bu bölgenin yoğunluğunun artması ile enerji soğurarak sıcaklığı artmıştır.

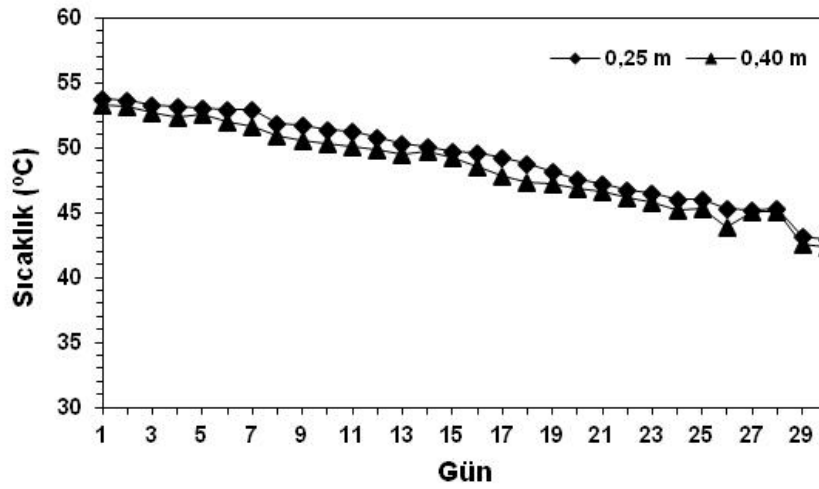
4.2. MKTGH' nun Eylül Ayı Yoğunluk ve Deneysel Sıcaklık Dağılımı

Eylül ayının ilk günü havuza yoğunluk gradyentini koruma sisteminin kontrollü bir şekilde (sisteme yoğunluğu daha fazla olan çözeltinin aktarımı haftada 1 gün sağlanmıştır) dahil edilmesi ile havuzun yoğunluk gradyenti yavaş yavaş düzelmeye başladığı görülmektedir. Enerji depolama bölgesinin yüksekliği 0,50 m de son bulmaktadır. Yoğunluk eğimini koruma sistemi ise enerji depolama bölgesinin 0,40 m' sine yoğunluğu daha fazla olan çözeltiyi aktarmaktadır. Bu nedenle, yoğunluk eğimini koruma sisteminin çalıştırılmasıyla birlikte EDB' nin 0,35 m' deki tabakasında yoğunluk artışı gözlenmiştir. Bu sürede havuz maksimum sıcaklığına ulaşmıştır. Daha sonra ise, ısı kayıpları yüzünden soğumaya başlamıştır. Soğumadan en fazla etkilenen bölge EYB olmuştur. Sıcaklık düşüşünden etkilenen EYB' deki yoğunluk değişimi ve soğuma eğrisinden daha az etkilenen EDB' deki sıcaklıktan kaynaklanan moleküler kütle transferi hızındaki değişimin az olması neden ile Şekil 4.7' de görüldüğü gibi dalgalanmalara neden olmuştur.



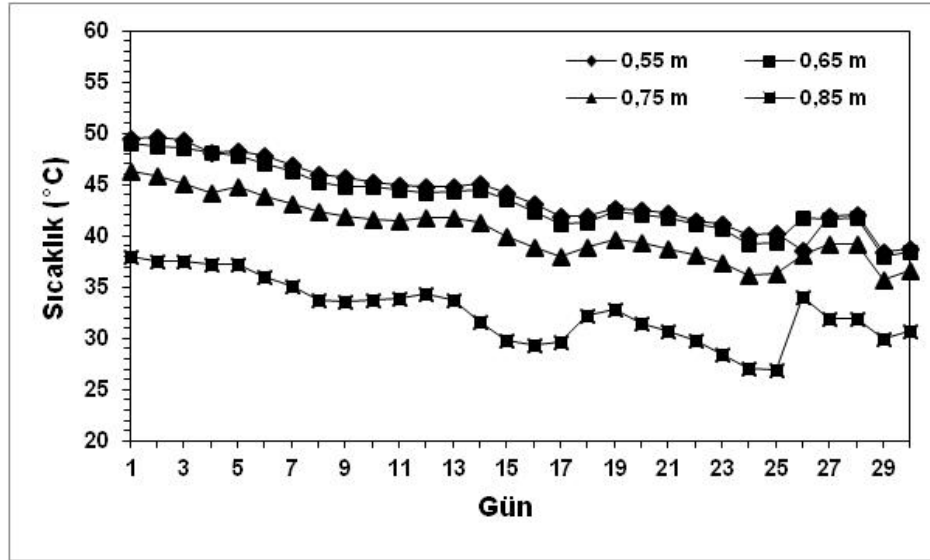
Şekil 4.7. Eylül ayı içerisinde magnezyum klorür tabakalı güneş havuzunun yoğunluk dağılımı

Eylül ayında EDB' nin 0,05, 0,15, 0,25, 0,35 ve 0,45 m' deki tabakaların ortalama yoğunlukları sırası ile; 1173 kg/m³, 1171,8 kg/m³, 1170 kg/m³, 1163 kg/m³ ve 1152,7 kg/m³ değerlerine ulaşmıştır. EYB' de ise, 0,55, 0,65, 0,75, 0,85 ve 0,95 m' de ortalama yoğunlukları sırası ile, 1133,8 kg/m³, 1113,5 kg/m³, 1084,8 kg/m³, 1051,7 kg/m³ ve 1041 kg/m³ olarak değişmiştir. BB Eylül ayı içerisinde ortalama yoğunluk 1034 kg/m³ değerine ulaşmıştır.



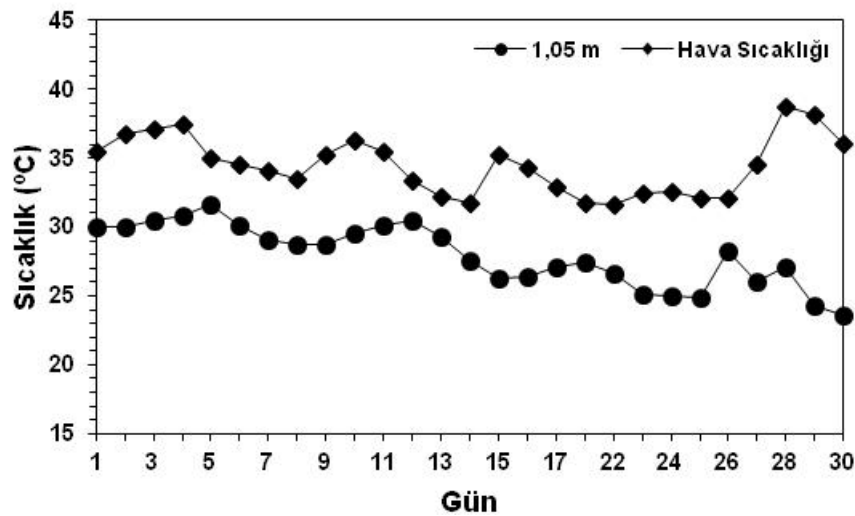
Şekil 4.8. Eylül ayı enerji depolama bölgesinin sıcaklık dağılımı

Şekil 4.8' de görüldüğü gibi, Eylül ayı için EDB' in, minimum sıcaklık değeri, 42,32 °C, maksimum sıcaklık değeri, 53,81 °C, ortalama sıcaklık değeri ise, 48,84 °C' dir.



Şekil 4.9. Eylül ayı enerji yalıtım bölgesinin sıcaklık dağılımı

Şekil 4.9' da görüldüğü gibi, Eylül ayı için EYB' nin, minimum sıcaklık değeri, 29,31 °C, maksimum sıcaklık değeri, 49,67 °C, ortalama sıcaklık değeri ise, 40,16 °C' dir.



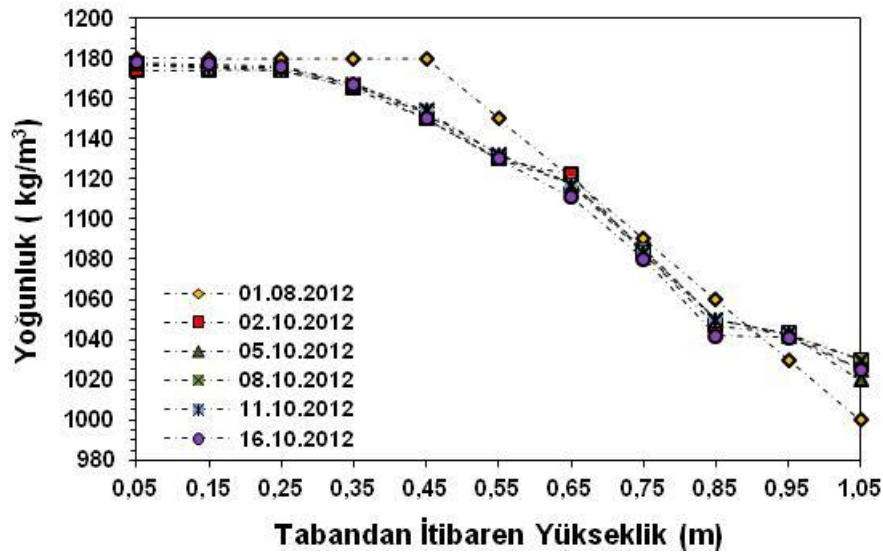
Şekil 4.10. Eylül ayı buharlaşma bölgesinin ve hava sıcaklığının sıcaklık dağılımları

Şekil 4.10' da havuz yüzeyi ile hava sıcaklığı arasındaki sıcaklık farklarına bakıldığında buharlaşma bölgesinin sıcaklığının hava sıcaklığından daha az olduğu görülmektedir. Buharlaşma bölgesinin sıcaklığının hava sıcaklığına yaklaştığı bu ayda buharlama bölgesinin ortalama yoğunluğunun 1034 kg/m^3 değerine ulaştığı gözlenmiştir. Özellikle havanın ortalama sıcaklığının neredeyse sabit olduğunu kabul edebileceğimiz Ekim 24-26 tarihleri arasında buharlaşma bölgesinin sıcaklığının arttığı görülmektedir. Bu artışın BB' in yakın zamanlardaki yoğunluk değerlerine bakıldığında, yoğunluğunun 1040 kg/m^3 'e yükselmesi ile daha fazla enerji soğurmasından kaynaklandığı ve daha sonraki günde ise bu tabakanın alınıp yerine çeşme suyu eklenmesi ile de düştüğü gözlenmiştir. Eylül ayı için BB'in ve hava sıcaklıklarının değerleri sırası ile, minimum sıcaklık değerleri, $23,63 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $31,06 \text{ }^\circ\text{C}$, maksimum sıcaklık değerleri, $31,62 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $38,8^\circ\text{C}$ ve ortalama sıcaklık değerleri ise, $28,07 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $34,49 \text{ }^\circ\text{C}$ oldukları görülmüştür.

4.3. MKTGH' nun Ekim Ayı Yoğunluk ve Deneysel Sıcaklık Dağılımı

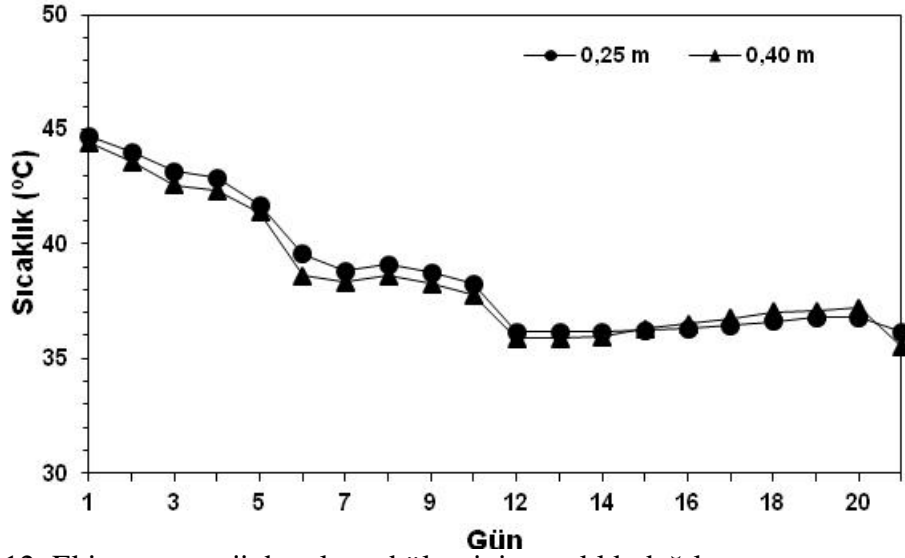
Ekim ayının ilk günü havuza yoğunluk gradyentini koruma sisteminin havuz sistemi ile doğal akışına bırakılmak suretiyle, güneş havuzunun enerji depolama bölgesinin (EDB)' den , enerji yalıtım bölgesi (EYB)' ne taşınan tuz molekülleri yerine EDB' in üst kısmından daha yoğun tuzlu suyu doğal yolla enjekte ederek, kayıpları giderilebilmektedir. EDB' in üst kısmında yoğunluğu bozulan tabakanın yoğunluğundan daha yoğun olarak enjekte edilen tuzlu su EDB' in üst kısmından başlayarak aşağı doğru hareket ederek bozulan bölgeleri onarmaktadır. EYB' de yoğunluğu bozulan tabakaların onarılması ise, doğal enjeksiyonla yoluyla olmaktadır. Eylül ayının sonunda, BB' un difüzyondan ve buharlaşmadan kaynaklı yoğunluk artışının ortadan kaldırılması işi, bu tabakanın tamamen alınarak yerine temiz su eklenmesi ile sağlanmıştır. Bu işlem sonucunda, yoğunluğun onarılması ile ilgili olumlu etkiler, Ekim ayında görülmeye başlanmıştır. Şekil 4.11' de görüldüğü gibi depolama bölgesinin üst kısmından başlamak üzere yoğunluk dağılımının arttığı ve tuz eğiminin Eylül ayına oranla daha hızlı düzelmeye başladığı ve EYB' deki dalgalanmanın giderildiği görülmektedir. Özellikle enerji yalıtım bölgesindeki

bozulmaların ortadan kaldırılmasıyla birlikte, bu bölgenin enerji depolama bölgesi ile üst bölgesi arasında daha iyi bir yalıtım görevi yapabileceği belirtilmiştir. Dolayısıyla, depolama bölgesinde daha fazla ısının daha uzun süre tutulmasının ve depolanmasının mümkün olacağı görülmüştür. Bu nedenle, tuz eğimini koruma sistemi, özellikle depolama bölgesi olmak üzere iç bölgelerdeki sıcaklık dağılımları üzerinde de önemli artışlar sağlayabileceği görülmektedir.



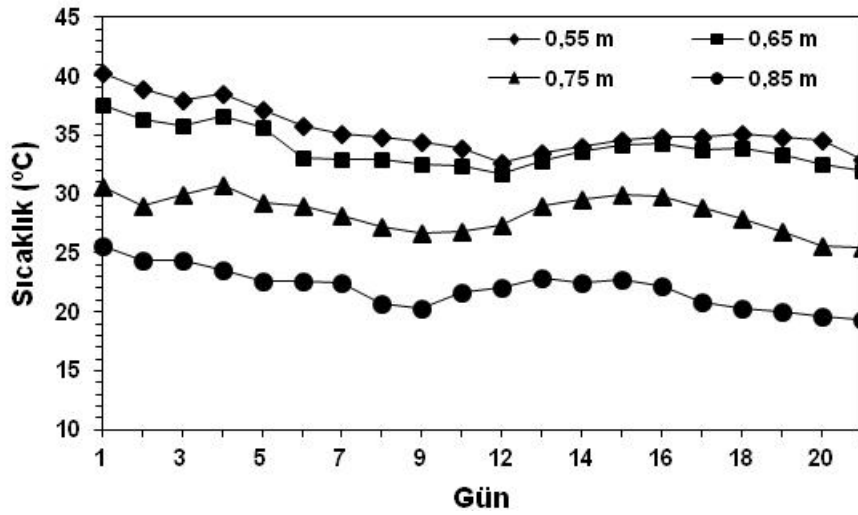
Şekil 4.11. Ekim ayı içerisinde magnezyum klorür tabakalı güneş havuzunun yoğunluk dağılımı

Ekim ayında EDB' nin 0,05, 0,15, 0,25, 0,35 ve 0,45 m' deki tabakalarının ortalama yoğunlukları sırası ile; 1176 kg/m³, 1175 kg/m³, 1174 kg/m³, 1166 kg/m³ ve 1151,8 kg/m³ değerlerine ulaşmıştır. EYB ise, 0,55, 0,65, 0,75, 0,85 ve 0,95 m' de sırası ile, ortalama yoğunlukları. 1130,8 kg/m³, 1117 kg/m³, 1083 kg/m³, 1047,8 kg/m³ ve 1027,8 kg/m³ olarak değişmiştir. BB' nin Ekim ayı içerisinde ortalama yoğunluğu 1027,8 kg/m³ değerine ulaşmıştır.



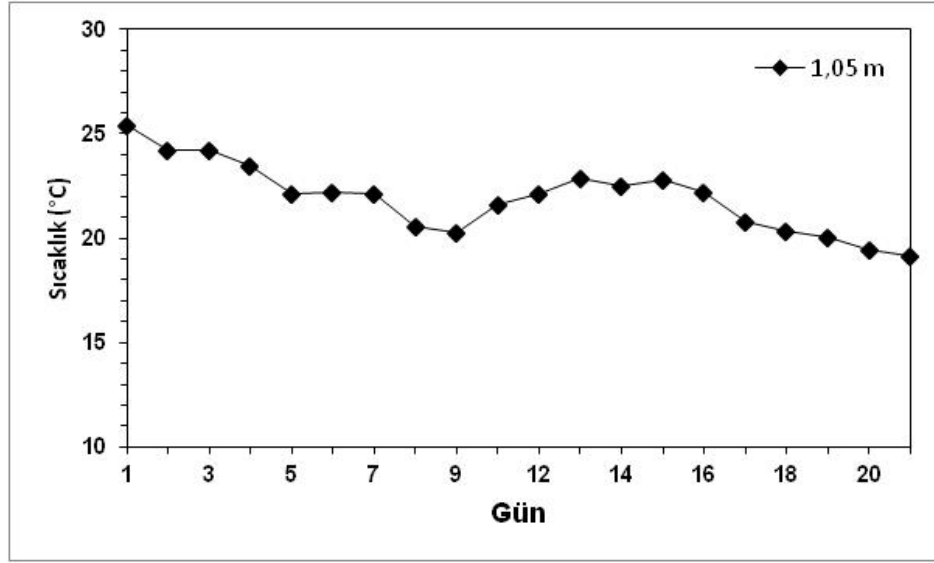
Şekil 4.12. Ekim ayı enerji depolama bölgesinin sıcaklık dağılımı

Şekil 4.12' de görüldüğü gibi, Ekim ayı için EDB' nin, minimum sıcaklık değeri, 35,54 °C, maksimum sıcaklık değeri, 44,67 °C, ortalama sıcaklık değeri ise, 38,57 °C' dir.



Şekil 4.13. Ekim ayı enerji yalıtım bölgesinin sıcaklık dağılımı

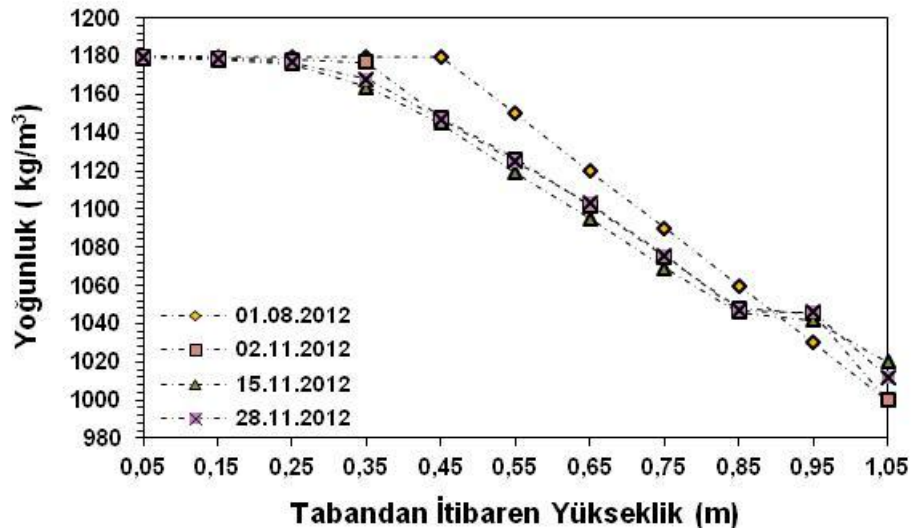
Şekil 4.13' de görüldüğü gibi, Ekim ayı için EYB' in minimum sıcaklık değeri, 19,32 °C, maksimum sıcaklık değeri, 40,53 °C ve ortalama sıcaklık değeri ise, 33,27 °C' dir.



Şekil 4.14. Ekim ayı buharlaşma bölgesinin sıcaklık dağılımı

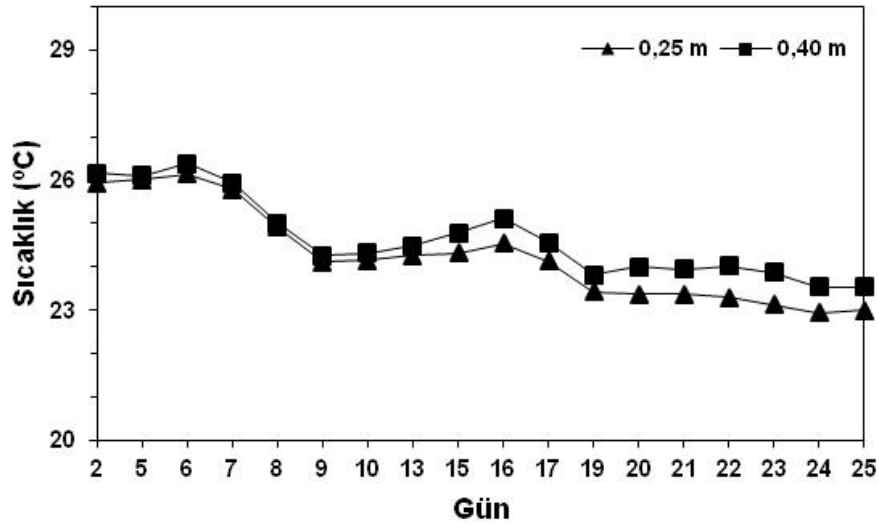
Şekil 4.14' de görüldüğü gibi, Ekim ayı için BB' in, minimum sıcaklık değeri, 19,14 °C, maksimum sıcaklık değeri, 25,42 °C ve ortalama sıcaklık değeri ise, 21,89 °C' dir.

4.4. MKTGH' nun Kasım Ayı Yoğunluk ve Deneysel Sıcaklık Dağılımı



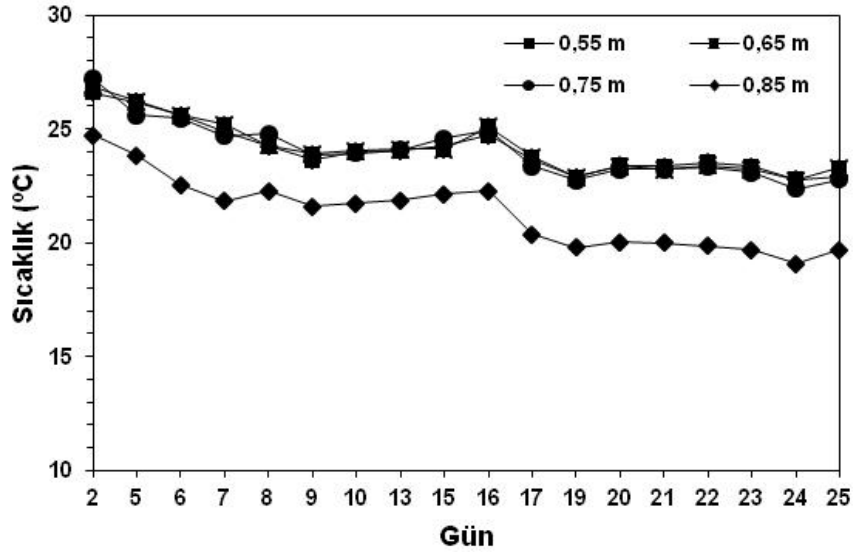
Şekil 4.15. Kasım ayı içerisinde magnezyum klorür tabakalı güneş havuzunun yoğunluk dağılımı

Kasım ayında EDB' in 0,05, 0,15, 0,25, 0,35 ve 0,45 m' deki tabakalarının ortalama yoğunlukları sırası ile; 1179,7 kg/m³, 1178,7 kg/m³, 1177 kg/m³, 1169,7 kg/m³ ve 1146,7 kg/m³ değerlerine ulaşmıştır. EYB ise 0,55, 0,65, 0,75, 0,85 ve 0,95 m' de sırası ile, ortalama yoğunlukları; 1123 kg/m³, 1100 kg/m³, 1073 kg/m³, 1047 kg/m³ ve 1044 kg/m³ olarak değişmiştir. BB' in Kasım ayı içerisinde ortalama yoğunluğu 1010,7 kg/m³ değerine ulaşmıştır.



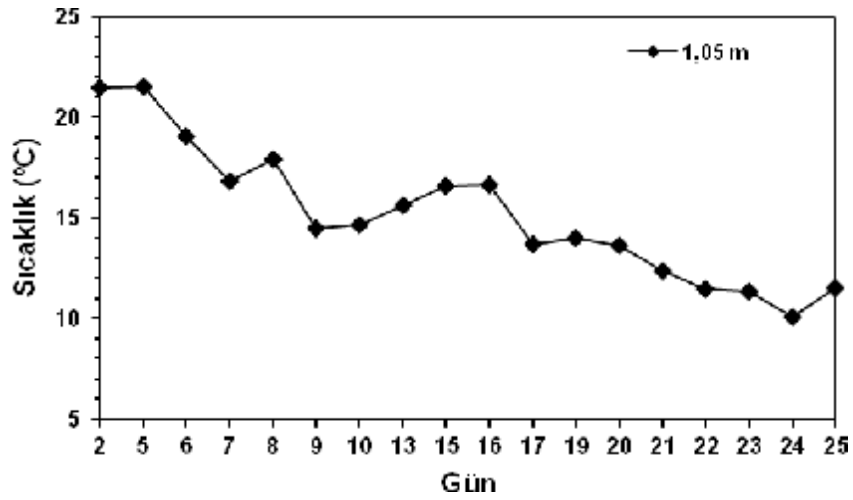
Şekil 4.16. Kasım ayı enerji depolama bölgesinin sıcaklık dağılımı

Şekil 4.16' da görüldüğü gibi, Kasım ayı için EDB' nin, minimum sıcaklık değeri , 22,89 °C, maksimum sıcaklık değeri, 26,79 °C, ortalama sıcaklık değeri ise, 24,45 °C' dir.



Şekil 4.17. Kasım ayı enerji yalıtım bölgesinin sıcaklık dağılımı

Şekil 4.17' de görüldüğü gibi, Kasım ayı için EYB, minimum sıcaklık değeri, 21,75 °C, maksimum sıcaklık değeri, 26,89 °C ve ortalama sıcaklık değeri ise, 23,33 °C' dir.

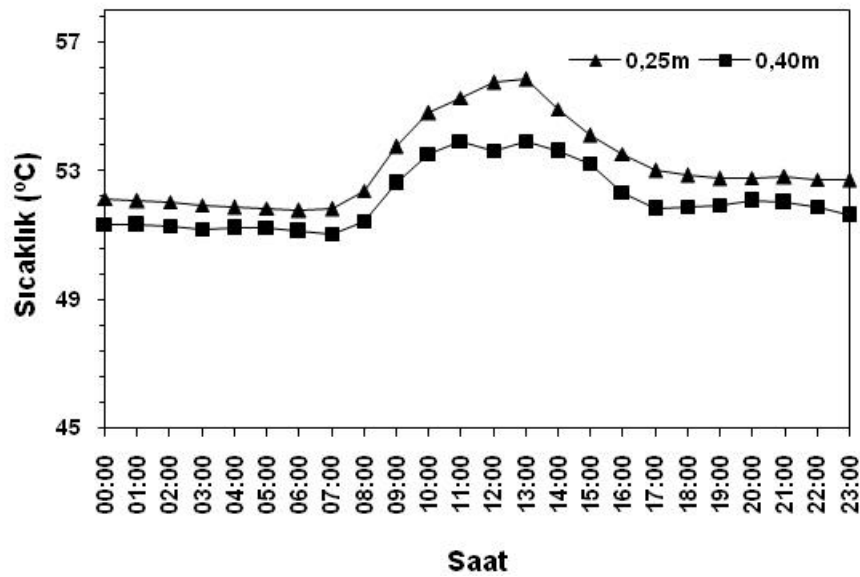


Şekil 4.18. Kasım ayı buharlaşma bölgesinin sıcaklık dağılımı

Şekil 4.18' de görüldüğü gibi, Kasım ayı için BB' nin, minimum sıcaklık değeri, 11,48 °C, maksimum sıcaklık değeri, 19,78 °C ve ortalama sıcaklık değeri ise, 15,58 °C' dir.

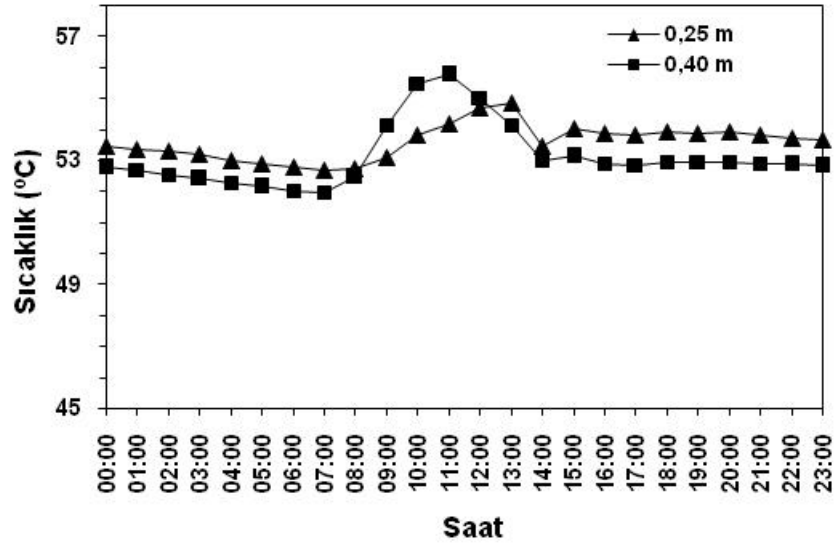
4.5. MKTGH' unda Yan Duvar Gölgelemesi

Güneş havuzlarında 90° dik yan duvarlar, güneşin yıllık konumuna göre havuzun depolama bölgesini gölgelemektedir. Şekil 4.18' de görüldüğü gibi 23.08.2012 tarihinde tüm gün boyunca 0,25 m' deki sıcaklık değeri 0,40 m' deki sıcaklık değerinden fazladır.



Şekil 4.19. 23.08.2012 Tarihinde depolama bölgesinde yükseklikler arasındaki gölgeleme sonucu oluşan sıcaklık değişimi

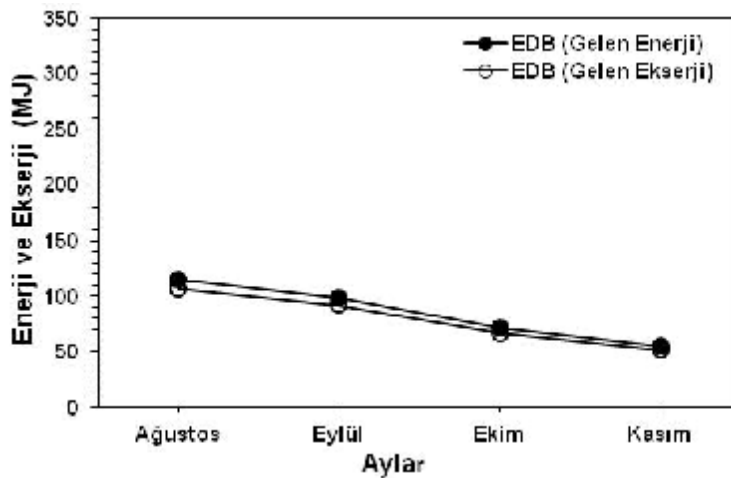
Güneşin yıllık konumunun değişmesinin etkisi ile havuzun depolama bölgesine düşen güneş enerjisi miktarı değişim göstermektedir. Şekil 19' da 23.08.2012 tarihinde güneşin konumu ile 0,25 m' deki sıcaklık değeri 0,45 m' deki sıcaklık değerinden daha yüksektir. Güneşin konumunun değişmesi ile, Şekil 4.20' de görüldüğü gibi, 31.08.2012 tarihinde, saat 08:00 ile güneş ışınlarının dik geldiği saat 12:00' ye kadar 0,40 m yüksekliğindeki bölgenin sıcaklığı değeri 0,25 m' deki yükseklikteki sıcaklık değerinden daha fazladır. Güneş havuzunun bir gün boyunca en fazla güneş ışını alabilmesi için konumu ve yapısı iyi seçilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.19. 31.08.2012 tarihinde enerji depolama bölgesinde yükseklikler arasındaki gölgeleme sonucu oluşan sıcaklık değişim

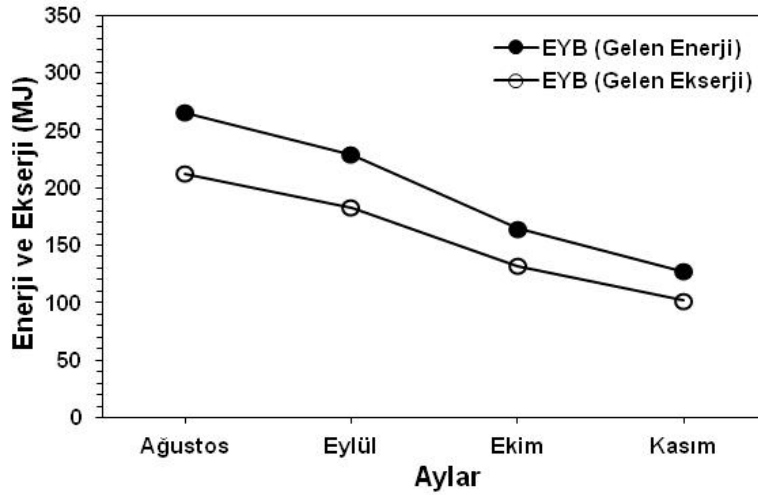
4.6. Ekserji Verimlilikleri

Enerji ve ekserji eşitlikleri kullanılarak, MKTGH' nu oluşturan EDB' ye, EYB' ye ve BB' ye gelen ortalama güneş enerjisi ve ekserjisi hesaplanmıştır. Buradan elde edilen sonuçlara göre, havuzun toplam ekserji kayıpları hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerler kullanılarak her bir bölgenin enerji verimleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.



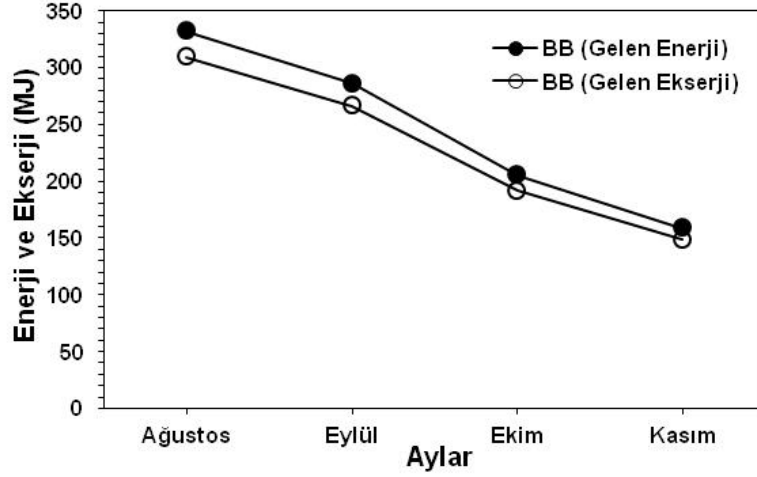
Şekil 4.21. Havuzun enerji depolama bölgesine gelen net güneş enerjisi ve ekserjisi

Havuz yüzeyine gelen güneş enerjisi; derinliğe bağlı olarak yukarıdan aşağıya doğru farklı bölgelerde farklı şekilde soğurulmakta ve geçmektedir. Şekil 4.21' de, EDB' ye gelen güneş enerjisinin ve ekserjisinin aylara göre dağılımı görülmektedir. Enerji ve ekserji eşitlikleri kullanılarak, MKTGH' nu oluşturan EDB, EYB ve BB' ye gelen ortalama güneş enerjisi ve ekserjisi hesaplanmıştır. Şekilde görüldüğü gibi gelen enerji ve ekserji arasındaki farklar, Ağustos' ta 7.88 MJ, Eylül' de 6.75 MJ, Ekim' de 4.75 MJ ve Kasım ayında ise, 3.57 MJ olduğu görülmektedir. En fazla farkın Ağustos ayında oluşurken, en düşük farkın Kasım ayında olduğu görülmüştür.



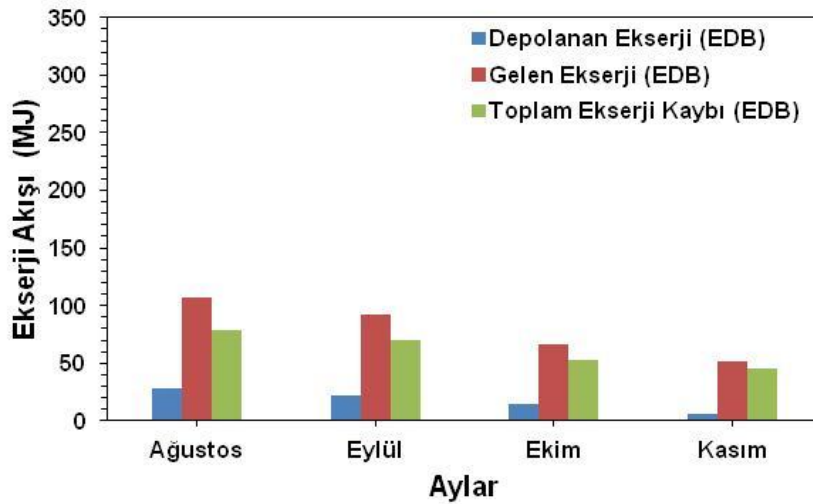
Şekil.4.22. Havuzun enerji yalıtım bölgesine gelen net güneş enerjisi ve ekserjisi

Havuz yüzeyine gelen güneş enerjisi; derinliğe bağlı olarak yukarıdan aşağıya doğru farklı bölgelerde farklı şekilde soğurulmakta ve geçmektedir. Şekil 4.22' de havuzun EDB' ye gelen güneş enerjisinin ve ekserjisinin aylara göre dağılımı görülmektedir. Enerji ve ekserji eşitlikleri kullanılarak, MKTGH' nu oluşturan EDB, EYB ve BB' ye gelen ortalama güneş enerjisi ve ekserjisi hesaplanmıştır. Şekilde görüldüğü gibi gelen enerji ve ekserji arasındaki farklar, Ağustos' ta 53,57 MJ, Eylül' de 46.06 MJ, Ekim' de 34,92 MJ ve Kasım ayında 25,24 MJ olduğu görülmektedir. En fazla farkın Ağustos ayında oluşurken, en düşük farkın Kasım ayında olduğu görülmüştür.



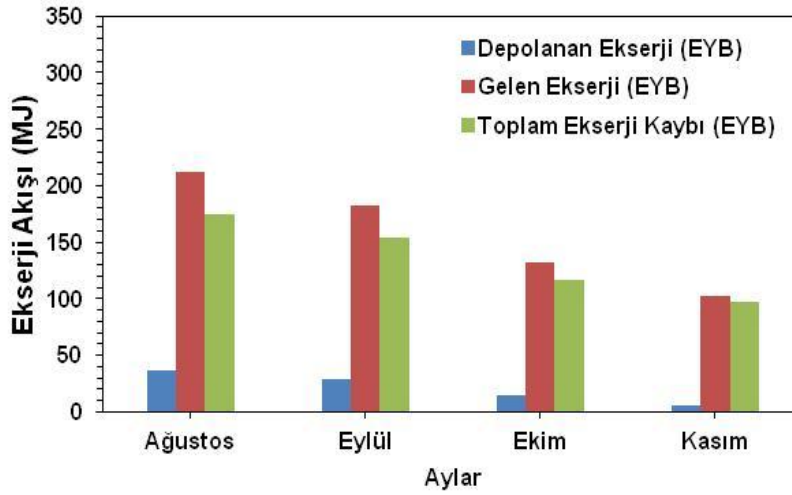
Şekil 4.23. Havuzun buharlaşma bölgesine gelen net güneş enerjisi ve ekserjisi

Havuz yüzeyine gelen güneş enerjisi; derinliğe bağlı olarak yukarıdan aşağıya doğru farklı bölgelerde farklı şekilde soğurulmakta ve geçmektedir. Şekil 4.23' de havuzun EDB' ne gelen güneş enerjisinin ve ekserjisinin aylara göre dağılımı görülmektedir. Enerji ve ekserji eşitlikleri kullanılarak, MKTGH' u oluşturan EDB, EYB ve BB' ye gelen ortalama güneş enerjisi ve ekserjisi hesaplanmıştır. Şekilde görüldüğü gibi gelen enerji ve ekserji arasındaki farklar, Ağustos' ta 22,80 MJ, Eylül' de 19,54 MJ, Ekim' de 13,76 MJ ve Kasım ayında 10,34 MJ olduğu görülmektedir. En fazla farkın Ağustos ayında oluşurken, en düşük farkın Kasım ayında olduğu görülmüştür.



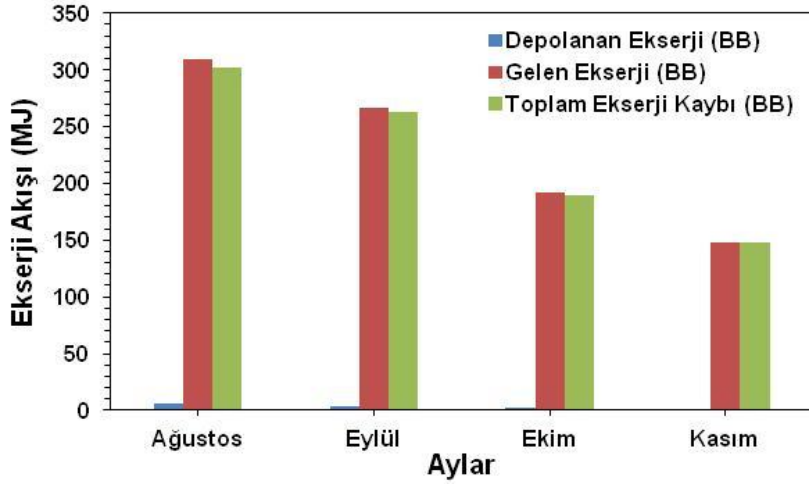
Şekil 4.24. Havuzun enerji depolama bölgesi ekserji akışı ve toplam ekserji kaybı

Güneş havuzunun enerji depolama bölgesine gelen güneş enerjisinin ekserjisi ve depolanan ekserji ve yok olan ve ısı transferi yolu ile kaybolan ekserji toplam ekserji kaybı olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.24' de görüldüğü gibi depolanan ekserji ve gelen ekserji en fazla Ağustos ayındadır. En düşük ise Kasım ayında olduğu görülmektedir. Bu verilerle orantılı olacak şekilde sistemde yok olan ve ısı transferi yoluyla kaybolan ekserji miktarları Ağustos ta 79,05 MJ, Eylül' de 69,72 MJ, Ekim' de 52,23 MJ ve Kasım ayında ise, 44,85 MJ olduğu görülmektedir.



Şekil 4.25. Havuzun enerji yalıtım bölgesi ekserji akışı ve toplam ekserji kaybı

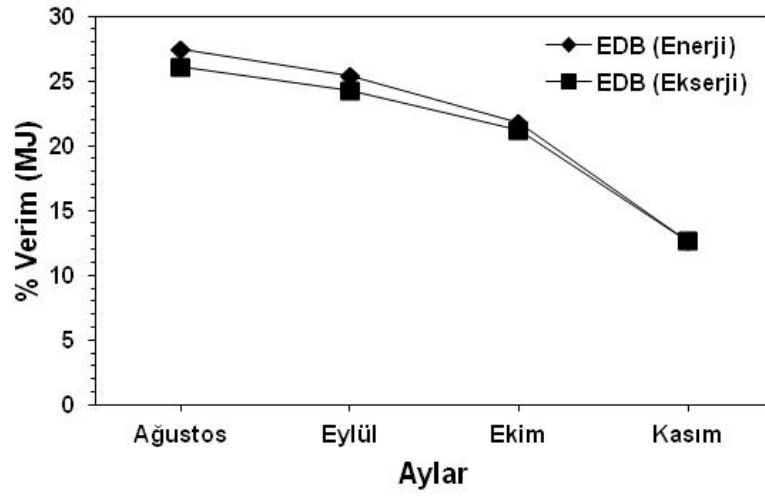
Güneş havuzunun enerji yalıtım bölgesine gelen güneş enerjisinin ekserjisi ve depolanan ekserji ve yok olan ve ısı transferi yolu ile kaybolan ekserji toplam ekserji kaybı olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.25' de görüldüğü gibi depolanan ekserji ve gelen ekserji en fazla Ağustos ayındadır. En düşük ise Kasım ayında olduğu görülmektedir. Bu verilerle orantılı olacak şekilde sistemde yok olan ve ısı transferi yoluyla kaybolan ekserji miktarları Ağustos ta 175,01 MJ, Eylül' de 153,64 MJ, Ekim' de 116,32 MJ ve Kasım ayında ise, 96,63 MJ olduğu görülmektedir.



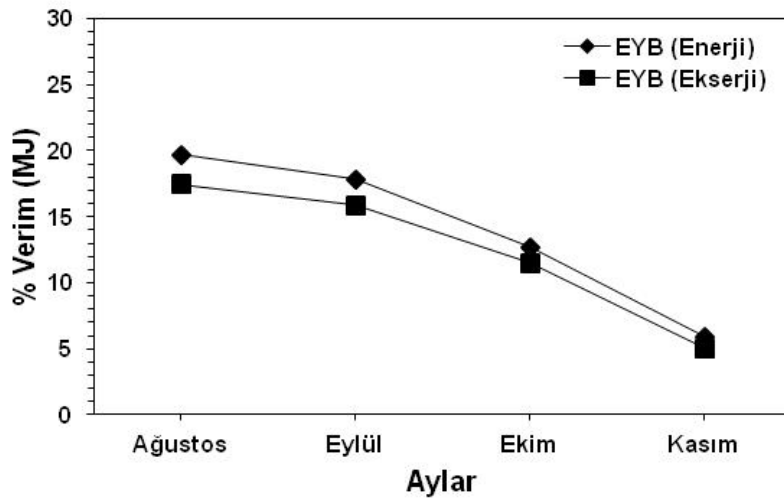
Şekil 4.26. Havuzun buharlaşma bölgesi ekserji akışı ve toplam ekserji kaybı

Güneş havuzunun buharlaşma bölgesine gelen güneş enerjisinin ekserjisi ve depolanan ekserji ve yok olan ve ısı transferi yolu ile kaybolan ekserji toplam ekserji kaybı olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.26’ da görüldüğü gibi depolanan ekserji ve gelen ekserji en fazla Ağustos ayındadır. En düşük ise Kasım ayında olduğu görülmektedir. Bu verilerle orantılı olacak şekilde sistemde yok olan ve ısı transferi yoluyla kaybolan ekserji miktarları Ağustos’ ta 302,58 MJ, Eylülde 262,37 MJ, Ekim de 189,54 MJ ve Kasım ayında 147,73 MJ olduğu görülmektedir.

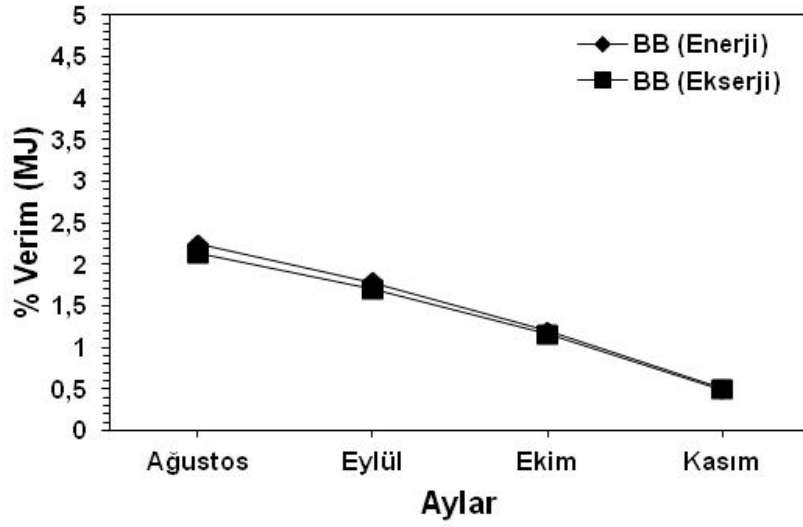
Enerji depolama sistemlerinin performanslarını belirlemek için sadece enerji verimini hesaplayarak sistem hakkında kesin bir yargıya varmak yeterli olmamaktadır. Çünkü sistem bileşenlerinin iç enerjisinde meydana gelen enerji değişimlerinin de sistemin performansını etkilediği bilinmektedir. Bu nedenle sistemin ekserji verimini hesaplanması gerekmektedir. Ekserji verimi sistemin iç enerjisindeki artış ve azalışa göre değişmektedir. Çünkü sistemin bulunduğu çevre sıcaklığı sistem üzerinde ekserji kayıplarına neden olabilmektedir. Bu nedenle MKTGH’ nun enerji ve ekserji verimleri hesaplanarak sistemin gerçek verimi belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.27. Havuzun enerji depolama bölgesinin enerji ve ekserji verimleri



Şekil 4.28. Havuzun enerji yalıtım bölgesi enerji ve ekserji verimleri



Şekil 4.29. Havuzun buharlaşma bölgesi enerji ve ekserji verimleri

Şekil 4.27-29 deneysel veri temel alınarak havuzun üç bölgesinin (BB, EYB ve EDB) ortalama enerji ve ekserji içerik değişimlerinin her ikisinin 2012 yılının Ağustos, Eylül, Ekim ve Kasım aylarına göre dağılımını göstermektedir. Birinci bölge için (BB) yüzeye ulaşan güneş radyasyondan; BB, EYB den gelen; EDB ise EYB' den gelendir. Görüldüğü gibi ekserji değeri karşılık gelen enerji değerinden, enerjinin korunumu gerçeğinden dolayı azdır ve ekserji korunmamaktadır. Ekserjinin bir kısmı her katmanda kaybolmakta, bir kısmı da çevresindeki havada kaybolmaktadır. Görüldüğü gibi en düşük ekserji değeri Kasım ayında, en yüksek ekserji değeri Ağustos ayında görülmektedir. Şüphesiz enerji ve ekserjinin ortamın havasına karışmasında çevre sıcaklığı anahtar rol oynamaktadır. Enerji ve ekserji içeriğinin dağılım şeklinin güneş radyasyonu şekline benzediğini ifade etmek önemlidir.

Şekil 4.27-29' da havuzun iç bölgelerindeki enerji ve ekserji değişiminin karşılaştırılmasını göstermektedir. Şekilden de görüleceği gibi deneysel verilerden hesaplanan en yüksek ve en düşük enerji ve ekserji verimliliği sırasıyla EDB için Şekil 4.27' de Ağustos ta % 27,41 ve % 26,04, Eylül' de % 25,41 ve % 24,26; Ekim' de % 21,78 ve % 21,21, ve Kasım ayında ise, % 12,64 ve % 12,62' dir. Şekil 4.28' de, EYB için Ağustos' ta % 19,71 ve % 17,44, Eylül' de % 17,82 ve % 15,84; Ekim' de % 12,72 ve % 11,53, ve Kasım ayında ise, % 5,90 ve % 5,02 dir. Şekil 4.29' da,

BB için Ağustos'ta % 2,25 ve % 2,13, Eylül de % 1,78 ve % 1,70; Ekim de % 1,18 ve % 1,15, ve Kasım ayında ise, % 0,50 ve % 0,49' dır. Beklendiği gibi en çok enerji ve ekserji verimleri, ısı depolama özelliğinden dolayı, EDB' de bulunmuştur. Bu bölgede sıcaklıklar gradyenti oluşmadığından ve daha az güneş enerjisi ile beslendiği için dolayısıyla bölgenin iç enerji kayıplarının daha az olduğu görülmüştür. EYB' de ise, tuz eğimi ve sıcaklık eğimi (gradyenti) nedeniyle, enerji ve ekserji verimleri azalmakla birlikte aralarındaki farklar artmıştır. Bu artışların nedeni özellikle ekserji veriminin daha fazla olmasındandır. Bu azalmalar, tabakalarda meydana gelen bozulmalar nedeniyle daha fazla iç enerji kayıplarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Verilerin Değerlendirilmesi ve Öneriler

Güneş havuzlarında tuz yoğunluğunun korunması oldukça önemli bir konudur. Tuz yoğunluğunun korumak için de yüksek yoğunluklu tuzlu enjeksiyonu yapılması gerekmektedir (Karakilcik, 2006). Bu çalışmada, tuz yoğunluğunu koruma sistemi çalıştırılmadan önce yoğunluğu 1180 kg/m^3 olarak hazırlanan enerji depolama bölgesinin (EDB) üst yüzeyinden itibaren enerji yalıtım bölgesine (EYB) moleküler kütle transferi olduğu ve aynı zamanda, EYB' deki tabakalar arasında da kütle transferinin çok yoğun ortamdaki az yoğun ortama doğru olduğu görüldü. Havuzda en yoğun bölge olan EDB' nin üst kısmından (Tabaka 5) itibaren buharlaşma bölgesi (BB)' ye doğru (aşağıya-yukarıya) bir yoğunluk artışı oluşmuştur. İç bölgelerdeki sıcaklık artışıyla birlikte bu sürecin hızlandığı ve moleküler kütle transferinin arttığı belirlenmiştir. Bu artışla birlikte tabakalardaki yoğunluk dağılımlarındaki bozulmaların tuz eğiminin bozulmasına dolayısıyla da yalıtımlı bölgenin yalıtım görevini yapmasına engel olduğu ve sıcaklık eğiminde de bozulmalara neden olduğu görülmüştür. Yoğunluk eğimini koruma sisteminin devre sokulması ile birlikte EDB' den itibaren bozulan bölgelerinin yeniden onarıldığı ve sıcaklık eğiminin de düzelmeye başladığı görülmüştür. Böylece, tuz eğimini koruma sistemi, özellikle depolama bölgesi olmak üzere, EYB' deki tabakaların sıcaklık dağılımları üzerinde de önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Havuzun üst yüzeyi olan buharlaşma bölgesi (BB)' ne gelen güneş enerjisinin çevre koşullarından kaynaklanan toz, yaprak, böcek v.b gibi kirletici maddeler yüzünden engellendiği görülmüştür. Üst tabakanın buharlaşma etkisi; BB' de ve EYB' de yoğunluk artışına neden olmuştur. Buharlaşma ile olan yoğunluk artışı EDB' nin gradyentinde düzensizlik oluşturmuştur. Bu nedenle üst tabaka sık sık yıkanarak temizlenmiştir. Ayrıca üst bölgenin yoğunluğunu sabit (1000 kg/m^3) tutabilmek için de bölge temiz su ile değiştirilmiştir.

Dolayısıyla depolama bölgesinde daha fazla ısının daha uzun süre tutulmasının ve depolanmasının mümkün olacağı görülmüştür. Enerji yalıtım bölgesindeki

bozulmaların ortadan kaldırılmasıyla depolama bölgesinde daha fazla ısının daha uzun süre tutulmasının ve depolanmasının mümkün olacağı görülmüştür. Böylece, havuza giren güneş enerjisi miktarındaki azalmanın önüne geçilmiş ve bunun da havuzun enerji performansı üzerinde önemli bir katkı sağladığı belirlenmiştir.

Güneş havuzunda yan duvarlar güneşin yıllık konumuna göre, havuzun depolama bölgesini gölgelemektedir. Güneş havuzunun bir gün boyunca en fazla güneş ışını alabilmesi için konumunun ve yapısının iyi seçilmesi gerekmektedir.

Enerjinin korunumuna göre, bir sistemin toplam enerjisi korunmaktadır. Fakat, enerji verimi, enerji depolama sistemlerinin performanslarını belirlemek için yeterli bir faktör değildir. Sistemin iç enerji kayıpları enerji verimi hesaplamalarında hesaba katılmamaktadır. Oysa ekserji ise, bir sistemin hal değişimi sırasındaki entropi üretimi sonucunda, ekserji yok oluşu, kayıp iş potansiyelini gösterir ve ayrıca harcanmış iş veya kayıp iş olarak ta bilinir. Bu nedenden dolayı, havuzun enerji verimi sistemin kullanılabilir işini bize gerçekçi olarak vermez. Ekserji ise ekserji yok oluşu yüzünden sistem hakkında daha kullanılır değerler ortaya koyar. Magnezyum klorür tabakalı güneş havuzunun her bir tabakanın fiziksel ve kimyasal özellikleri ve çevre sıcaklığına bağlı olarak toplam ekserji kaybı değişmektedir. Meydana gelen kayıpların her bir bölgenin ekserji verimleri üzerinde önemli derecede etkili olduğu görülmüştür.

Elde edilen sonuçlar, sistem veriminin artırılabilmesi için, havuzun iyi yalıtılması ve tabakaları oluşturan tuzlu suyun temiz ve iyi optik özelliklere sahip olması gerektiğini göstermektedir. Uygun boyut ve özelliklere sahip bir magnezyum tabakalı güneş havuzuyla, konutlarda veya endüstride gereksinim duyulan ısıtma ve işlem suyu üretilbileceği ve uzun süre depolanabileceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- ATKINSON, J.F., and HARLEMAN, D.R.F., 1983. A Wind-Mixed Layer Model Solar Pond. *Solar Energy* 31, 243.
- ABHAT, A., 1983. Low temperature latent heat thermal energy storage: heat storage materials, *Solar Energy*, 30(4):313-332.
- AHEM, J.E., 1980. *The Exergy Method of Energy System*. John Willey and Sons, Inc.
- ANGELI, C., LEONARDI, E., 2004. A One Dimensional Numerical Study of the Salt Diffusion in a Salinity-Gradient Solar Pond. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47, 1-10.
- ANGELI, C., LEONARDI, E., 2005. and LEONARDI, E., The Effect of Thermodiffusion on the Stability of a Salinity Gradient Solar Pond. *Heat and Mass Transfer*, 48, 4633-4639.
- ANGELI, C., LEONARDI, E., 2006. A Computation Study of Salt Diffusion and Heat Extraction in Solar Pond Plants. 80, 11, 1498-1508.
- AL-JAMAL, KHASHAN, S., 1998. *Energy Conversion and Management*. 39, 7, 559-566
- ALKHALAILEH, M.T., ATIEH, K.A., NASSER, N.G., and JUBRAN, B.A., 1999 *Modeling and Simulation of Solar Pond Floor Heating System*. 18, 1, 1-14
- ATIZ, A., 2011. *Yalıtımlı Silindirik Model Bir Güneş Havuzunun Optik Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana
- ATKINSON, J.F., and HARLEMAN, D.R.F., 1983. A Wind-Mixed Layer Model Solar Pond. *Solar Energy* 31, 243.
- BANSAL, P.K., KATTI, Y., 2007. Kinetics of Diffusion of Salt in Solar Ponds. 9 4, 463– 469.
- BARDAN, A.A. ve HAMDAN, M.A., 2004. Comparative Study for Under-Floor Heating Using Solar Collectors or Solar Ponds *Applied Energy*. 77,07–117.
- BEZİR, N. Ç., DÖNMEZ, O., KAYALI, R., OZEK, N., 2008. Numerical And Experimental Analysis of a Salt Gradient Solar Pond Performance With or Without Reflective Covered Surface. *Applied Energy*. 85, 1102-1112.

- BOZKURT, İ., 2006. Yalıtımlı ve Üstü Kapalı Silindirik Model Bir Güneş Havuzunun Performansının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Adana.
- BOZKURT, İ., 2012. Güneş Toplayıcıların ve Havuzdan Oluşan Entegre Bir Sistemin Performansının İncelenmesi. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi, Adana.
- CENGEL, Y.A., BOLES, M. A., 1996. *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik*. Çeviren Derbentli, T., McGraw-Hill– Literatür, İstanbul.
- DAH, M.M.O., OUNI, M., GUIZANI, A., and BELGHITH, A., 2010. The Influence of Heat, Performance and Stability of a Mini Solar Pond, 87, 10, 3005-3010.
- DEAD SEA WORKS LTD., 2009, Material Safety Data Sheet.
- DİNCER, I., 2002. The role of exergy in energy policy making, Energy Policy, vol. 30, pp. 137-149.
- DİNCER, I., HUSSAIN, M., AL-ZAHARNAH, I., 2004. Energy and Exergy Use in Agricultural Sector of Saudi Arabia. Energy Policy, vol 33, pp 1461- 1467.
- DUFFIE and BECKMAN, W.A., 1980 Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley and Sons, New York, 71.
- EL-SEBAILI, A.A., RAMADAN, M.R.I., ABOUL-ENEIN, S., KHALLAF, A.M., 2011. History of the Solar Ponds: A Review Study. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 15, 3319– 3325.
- GAR, H.P., 1985. Solar Ponds-As an Energy Storage Device. Workshop on the Physics of Non-Convective Energy Sources and Material Science for Energy. Trieste, Italy.
- HAWLADER, M.N.A. and BRINKWORTH, B. J., 1981. An Analysis of the Non-Convecting Solar Pond. Solar Energy, 27, 3, 195-204.
- HUSAIN, M., PATIL, P.S., PATIL, S.R., and SAMDARSHI, S.K., 2003. Optimum Size of Non-Convective Zone for Improved Thermal Performance of Salt Gradient Solar Pond. Solar Energy, 74, 429-436.
- HUSAIN, M., PATIL, P.S., PATIL, S.R., and SAMDARSHI, S.K., 2003. PATIL, P.S., PATIL, S.R., and SAMDARSHI, S.K., Computer Simulation of Salt Gradient Solar Pond's Thermal Behaviour. Renewable Energy. 28, 769-802.

- HUSAIN, M., PATIL, P.S., PATIL, S.R., and SAMDARSHI, S.K., 2004. PATIL, P.S., PATIL, S.R., and SAMDARSHI, S.K., Simple Methods for Estimation of Radiation Flux in Solar Ponds. *Energy Conversion and Management*. 45, 303-314.
- INCROPERA, F.P. and DEWITT, D.P., 1990. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. John Wiley and Sons, New York, 3. Edition.
- İSKENDER, A., 2010. Güneş Havuzlarının Termodinamik Özelliklerini İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- JAEFARZADEH, M.R., 2000. On the Performance of a Salt Gradient Solar Pond. *Applied Thermal Engineering*. 20, 243-252.
- JAEFARZADEH, M.R., 2004. Thermal Behavior of a Small Salinity-Gradient Solar Pond with Wall Shading Effect. *Solar Energy*. 77, 281-290.
- JAEFARZADEH, M.R., 2006. Heat Extraction from a Salinity-Gradient Solar Pond Using in Pond Heat Exchanger. 26, 16, 1858-1865.
- JETER, S. M., 1981. "Maximum conversion efficiency for the utilization of direct solar radiation", *Solar Energy*, vol 26, pp 231–236.
- JOSHI, V., and KISHORE, V.V.N., 1985. A Numerical Study of The Effects of Solar Attenuation Modelling on the Performance of Solar Ponds. *Solar Energy* 35, 4, 377-380.
- KALOGIROU, S., 2009. *Solar Energy Engineering Processes and Systems*, Cyprus University of Technology, ISBN 13: 978-0-12-374501-9, Published Jun-2009.
- KARAKILÇIK, M., 1992. Yalıtımlı ve Yalıtımsız Güneş Havuzlarının Performansını Etkileyen Etmenler. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- KARAKILÇIK, M., 1998. Yalıtımlı Prototip Bir Güneş Havuzunun Performansının Saptanması. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- KARAKILÇIK, M., 2006. KIYMAÇ, K., and DINCER, I., Experimental and Theoretical Temperature Distributions in a Solar Pond. *Heat and Mass Transfer*. 49, 825-835.
- KARAKILÇIK, M., 2006. DINCER, I., and ROSEN, M.A., Performance Investigation of a Solar Pond. *Applied Thermal Engineering*. 26, 727-735.

- KARAKILÇIK, M., DINCER, I., 2006. Eksergy Analysist of a Solar Pond. IGCEC-2 Proceedig of the Second Inoal Green Energy.
- KAYALI, R., 1986. Kullanılabilir Boyutlarda Bir Güneş Havuzunun Fiziksel Parametrelerinin İncelenmesi ve Matematiksel Modellemesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- KAYALI, R., 1992. Yalıtımlı ve Yalıtımsız Güneş Havuzlarının Çukurova Bölgesi Şartlarında Ekonomik Analizi, Güneş Enerjisi Enstitüsü Dergisi, 1,(4), 95-101.
- KAYALI, R., (1998).BOZDEMİR, S., and KIYMAÇ, K., A Rectangular Solar Pond Model Incorporating Empirical Functions For Air and Soil Temperatures. Solar Energy. 63, 6, 345-353.
- KEREN, Y., RUBIN, H., ATKINSON, J., PRIVEN, M., and BEMPORAD, G.A., 1993. Theoretical and Experimental Comparation and Advanced Solar Pond Performance. Solar Energy 51, 4, 255-270.
- KILIÇ, N., (2008). Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Ar-Ge Bülten Mart-Sektörel, İzmir Ticaret Odası.
- LANDSBERG, P.T., 1979, Thermodynamics of the conversion of diluted radiation, J. Phys A: Math Gen, vol. 12, pp. 551-562.
- LI, X.L., KANAYAMA, K., BABA, H. and MEADE, Y., 2001. Experimental Study about Erosion in Salt Gradient Solar Pond. 23, 2, 207-217.
- LI, N., YIN, F., SUN, W., ZHANG, C., SHI, Y., 2010. Turbidity Study of Solar Ponds Utilizing Seawater as Salt Source. Solar Energy. 84, 289–295.
- MANTAR, S., 2010. Yalıtımlı Silindirik Model Bir Güneş Havuzunun Matematiksel Modellemesi. Yüksek Lisan Tezi. Çukurova Üniversitesi, Adana.
- MURTHY, G.R.R., and PANDEY, K.P., 2003. Comparative Performance Evaluation of Fertiliser Solar Pond under Simulated Conditions. 28, 3, 455-466.
- NIE, Z., BU, L., ZHENG, M., HUANG, W., 2011. Experimental Study of Natural Brine Solar Ponds in Tibet. 85, 7, 1537-1542.

- ONYEGEGBU, S. O., MORHENNE, J., 1993 Transient multidimensional second law analysis of solar collectors subjected to time-varying insulation with diffuse components, *Solar Energy*, vol. 50(1), pp 85-95.
- OUNI, M., GUIZANI, A., LU, H., and BELGHITH, A., (2003). Simulation of The Control of a Salt Gradient Solar Pond in the South of Tunisia. *Solar Energy*, 75, 95-101.
- ÖZEK, N., 1985. Bir Tuzlu Güneş Havuzu Tasarımı ve Yapımı. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara.
- ÖZTÜRK, M., ELBİR, A., ÖZEK, N., 2011. Akdeniz Bölgesine Gelen Güneş Radyasyonunun Ekserji Analizi, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)
- PETELA, P., 2003. Exergy of undiluted thermal radiation, *Solar Energy*, vol. 74, pp. 469–488.
- RABL, A., and NIELSEN, C.E., 1975. Solar Ponds for Space Heating. *Solar Energy*, 17, 1, 1-2.
- RANT, Z., 1964 Exergy and energy. *Wiss. Z. Tech. Univ. Dresden*. Vol. 13(4), pp. 1145–1149.
- SARIKAYA, Y., 2008, *Fizikokimya Kitabı*.
- SOKOLOV, M., ARBEL, A., 1990. Fresh water floating collector type solar pond. *Solar Energy*. 44, 1, 13-21, U.S.A.
- SREENIVAS, K. R., JAYVANT, H., SRINIVASAN, J., 1995. Modeling the dynamics of the mixed layer in solar ponds. *Solar Energy*. 54, 3, 193-202.
- SRINIVASAN, J., and GUHA, A., 1987. The Effect of Bottom Reflectivity on the Performance of a Solar Pond. *Solar Energy*, 19, 4, 361-367.
- SUBHAKAR, D., MURTHY, S.S., 1991. Experiments on a magnesium chloride saturated solar pond, *Renewable Energy*. 1, 5-6, 656-660.
- SUBHAKAR, D., MURTHY, S.S., 1993 Saturated Solar Ponds 1. Simulation Procedure, 50, 3, 275-282.
- SUBHAKAR, D., MURTHY, S.S., 1994. Saturated Solar Ponds: 3. Experimental Verification. *Solar Energy*, 53, 6, 469-472.

- TABOR, H. Z., DORON, B., 1961. Large-Scale Solar Collectors (Solar Ponds) for Power Production. Proc. UN. Cont. New Sources of Energy, 5147, Rome.
- TABOR, H. Z., DORON, B., 1964. Solar Ponds. Electronic and Power, 5, 296-299.
- TABOR, H. Z., DORON, B., 1965. and MATZ, R., Solar Pond Project. Solar Energy, 9, 4, 177-182.
- TABOR, H. Z., DORON, B., 1981. Solar Ponds. Solar Energy, 27, 3, 181-194.
- TABOR, H. Z., DORON, B., 1990. The Beith Ha'Arava 5 MW(e) Solar Pond Power Plant (SPPP) Progress Report. Solar Energy, 45, 4, 247-253.
- TAHAT, M.A., KODAH, Z.H., PROBERT, S.D., and AL-TAHAINEH, H., 2000. Performance of a Portable Mini Solar-Pond. Applied Energy 66, 299-310.
- TIRNAKSIZ, F., 2009. Modern Farmasötik Teknoloji Ders Kitabı. sf ;91-103.
- TSATSARONIS, G., 2008 "International Journal of Exergy", vol. 5, pp. 489 – 499.
- TUNDEE, S., TERDTON, P., SAKULCHANGSATJATAI, P., SING R., AKBARZADEH, A., Heat Extraction from a Salinity Solar Ponds Using Heat Pipe Heat Exchangers. 84, 9, 1706-1716
- ÜNERİ, S., 1988. Elektrokimya Ders Kitabı.
- WEINBERGER, H., 1964. The Physics of the Solar Ponds. Solar Energy, 8, 2, 45-55.

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Adana’ da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Adana’ da tamamladı. 2000 yılında başladığı Çukurova Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik bölümünden 2006 yılında bitirdi. Lisans kaydını dondurarak 1 yıl Almanca dil eğitimi almak için 2005 yılında Almanya’ da bulundu ve Fizik Bölümü’ nden 2006 yılında mezun oldu. 2008 yılında Fizik Anabilim Dalında yüksek lisansa başladı.