



**YOĞUNLAŞTIRILMIŞ GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİ İLE ZEYTİN
KARASUYUNUN BERTARAFININ İNCELENMESİ**

Özel BİNBOĞA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EKİM 2020

Özel BİNBOĞA tarafından hazırlanan “YOĞUNLAŞTIRILMIŞ GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİ İLE ZEYTİN KARASUYUNUN BERTARAFININ İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Mustafa Zeki YILMAZOĞLU

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi Levent ÇOLAK

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Başkent Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Atilla BIYIKOĞLU

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 28/10/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Cevriye GENCER

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Özel BİNBOĞA

28/10/2020

YOĞUNLAŞTIRILMIŞ GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ İLE ZEYTİN KARASUYUNUN BERTARAFININ İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Özel BİNBOĞA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ekim 2020

ÖZET

Zeytin karasuyu, zeytinyağı üretiminin bir yan ürünüdür ve tahammül edilemeyen kokusu, yeraltı su kaynaklarına karışma riski, tarım toprağının tahribata uğratması vb. nedenlerden dolayı bertaraf edilmelidir. Bu çalışmada, zeytin karasuyunun buharlaşma oranını arttırmak için, bir iş akışkanının parabolik oluk tipi güneş kolektörü ve atık suyun depolandığı bir lagünün içinden sirküle edildiği düşünülmüştür. Geleneksel yaklaşımda, atık suyun doğal olarak buharlaşması beklenir. Ancak zeytinyağı üretimi genellikle kış aylarında yapıldığı ve yağış miktarında artış olduğu için, zeytin karasuyu yeraltı sularına karışmaktadır. Sistemin tasarımı ve ekonomik yaklaşımda, parabolik oluk tipi kolektörler ile güneşli kış günlerinde direkt radyasyon avantajı kullanılarak, buharlaşma miktarını arttırmak göz önünde bulundurulmuştur. Çalışmada, güneş kolektöründe ısıtılan iş akışkanının lagüne girmesi ve ısınıp aktararak karasuyun buharlaşma oranını arttırması planlanmıştır. Model, MATLAB Simulink kodları kullanılarak simüle edilmiştir. Farklı kolektör türlerinin iş akışkanı üzerindeki sıcaklık etkisi, lagün alanının ve lagün alandaki ısı transfer katsayısının buharlaşma miktarına etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, iş akışkanı en yüksek sıcaklığa model 3'de, ardından sırasıyla model 1 ve model 2'de ulaştığı görülmüştür. 3. ve 2. modeller arasında en yüksek sıcaklık farkı 27,3 °C olarak elde edilmiştir. Lagün alanı 225 m², 400 m², 625 m² olarak simüle edilmiş olup, lagün sıcaklığının ulaştığı en yüksek değer sırasıyla; 55,2 °C; 48,4 °C; 44,4 °C. Lagünün ısı transfer katsayısı 20, 60, 90 W/m²K'de simüle edilmiş olup, lagün sıcaklıkları arasında majör farklar görülmemiştir. Buharlaşma sonrası kalan karasu miktarı dikkate alındığında, bu sistemin büyük lagünlerde ve 3 numaralı modeldeki gibi kolektör yapısıyla kullanıldığında daha verimli olacağı görülmektedir. Teknik fizibilitenin yanında, farklı yatırım senaryoları için ekonomik analiz yapılmıştır. Ekonomik analizde güneş enerji sisteminin zeytinyağı üretim tesisinde kalıcı/entegre olarak kurulması seçeneği ve güneş enerji sisteminin kiralama yoluyla kullanılması üzerinde durulmuştur. Kiralama modelinde, 3. firmadan hizmet alınması durumu mevcuttur ve ilk yatırım maliyeti buna göre incelenmiştir.

Bilim Kodu	: 91441
Anahtar Kelimeler	: Parabolik kolektör, atık su giderimi, güneş enerjisi, zeytin, zeytin karasuyu, bertaraf
Sayfa Adedi	: 113
Danışman	: Doç. Dr. M. Zeki YILMAZOĞLU

OLIVE OIL MILL WASTEWATER TREATMENT WITH PARABOLIC TROUGH

COLLECTORS

(M. Sc. Thesis)

Özel BİNBOĞA

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

October 2020

ABSTRACT

Olive oil mill wastewater is a byproduct of olive oil production and must be disposed of due to its intolerable odor, risk of mixing groundwater sources, destruction of agricultural soil, etc. In this study, it is thought to circulate the working fluid through the parabolic trough type solar collector and a lagoon where the wastewater is stored to increase the evaporation rate of the olive oil mill wastewater. In the conventional approach, the wastewater is expected to evaporate naturally. However, olive oil production is generally carried out in the winter months, and the increase in the amount of precipitation and the mixing of olive wastewater with groundwater occurs. System design and economic approach are developed to increase the amount of evaporation by using the advantage of direct radiation on sunny winter days with parabolic trough type collectors. It is planned that the working fluid, which is heated in the solar collector, will flow into the lagoon and transferred its heat to increase the evaporation rate of the wastewater. The model was simulated using MATLAB Simulink code. The effect of different types of collectors on the working fluid, the evaporation effect of the lagoon area, and the lagoon area heat transfer coefficient were investigated. As a result, the working fluid reached the highest temperature (boiling temperature) in the model 3, then in model 1 and model 2, respectively. The highest temperature difference was obtained to be 27,3 °C between the 3rd and 2nd models. The lagoon area is simulated as 225 m², 400 m², 625 m², and the highest value reached by the lagoon temperature is respectively; 55,2 °C, 48,4 °C, and 44,4 °C. The lagoon heat transfer coefficient is simulated at 20, 60, 90 W/m²K, and there is no major differences were seen between the lagoons. Considering the amount of the wastewater after evaporation, it is observed that this system would be more efficient when used in large lagoons and with a collector structure as in model 3. In addition to the technical feasibility, an economic analysis is carried out for different investment scenarios. In the economic analysis, the option of permanently installing the solar energy system in the olive oil production facility and the leasing of the solar energy system are discussed. In the leasing model, the case of receiving the initial cost from a 3rd party service provider is examined.

Science Code : 91441

Key Words : parabolic collector, wastewater treatment, solar energy, olive, olive mill wastewater, disposal

Page Number : 113

Supervisor : Associate Prof. Dr. M. Zeki YILMAZOGLU

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tez çalışmasının gerçekleştirilmesi sırasında, bilgi ve tecrübeleriyle bana her zaman destek olan, yol gösteren ve anlayışla yaklaşan danışman hocam Doç. Dr. Mustafa Zeki YILMAZOĞLU'na,

Bugünlere gelmemde emekleri çok olan, maddi ve manevi açıdan destek veren ailemin değerli bireyelerine,

Çalışmam süresince her zaman yanımda olan ve bana anlayışla yaklaşıp, her koşulda destekleyen değerli arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. ZEYTİN VE ZEYTİNYAĞI HAKKINDA BİLGİLER.....	5
2.1. Zeytinyağı Çeşitleri	9
2.1.1. Natürel zeytinyağı	10
2.1.2. Rafine zeytinyağı	10
2.1.3. Riveria zeytinyağı	10
2.2. Zeytinin Hazırlanması ve Zeytinyağı Üretim Prosesleri.....	10
2.2.1. Zeytinin hazırlanışı	11
2.3. Zeytinyağı Üretim Yöntemleri	16
2.3.1. Geleneksel yöntem	17
2.3.2. Sürekli yöntem	17
2.4. Zeytin Karasuyunun Özellikleri	19
2.5. Karasu Giderme Yöntemleri	20
2.5.1. Biyolojik yöntemler	21
2.5.2. Fizikokimyasal prosesler ve ileri arıtma yöntemleri.....	24
2.5.3. Termal prosesler.....	28
3. GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ VE KULLANIM ALANLARI ..	33

	Sayfa
3.1.Termal Güneş Enerji Sistemleri	35
3.1.1. Yoğunlaştırıcı olmayan kolektörler	36
3.1.2. Yoğunlaştırıcı kolektörler	41
4. PARABOLİK OLUK TİPİ GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİNDE ISIL VE OPTİK ANALİZ	49
4.1. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektörlerinin Optik Analizi	51
4.2. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektöründe Isıl Kayıplar	55
4.3. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektöründe Isıl Analiz.....	60
5. MATERYAL VE YÖNTEM	63
5.1. Matematiksel Modelleme	63
5.2. 1B Modelleme ve Parametrelerin Belirlenmesi	69
5.3. 3B Modelleme ve Ekonomik Analiz.....	77
6. BULGULAR VE TARTIŞMALAR	83
7. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER.....	99
KAYNAKLAR	101
EKLER.....	107
EK-1. MATLAB simülasyonunda kullanılan algoritmalar.....	108
ÖZGEÇMİŞ	113

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. TÜİK'in zeytin ağacı istatistikleri	6
Çizelge 2.2. Zeytin meyvesinin kimyasal bileşenleri	7
Çizelge 2.3. Dünya zeytinyağı ihracatı (Bin ton)	8
Çizelge 2.4. Dünya zeytinyağı üretimi (Bin ton)	9
Çizelge 2.5. Bir ton zeytinin işlenmesine bağlı olarak proseste madde ve enerji dengesi, girdi ve çıktı analizi	19
Çizelge 2.6. Farklı çalışmalarda kullanılan zeytin karasularının karakteristikleri	20
Çizelge 2.7. Karasuyun ön arıtma ve biyolojik arıtma yöntemleriyle arıtımı	22
Çizelge 2.8. Farklı oksidasyon yöntemlerinde oluşan KOİ giderim verimleri	25
Çizelge 2.9. Karasuyun ön arıtma ve ileri arıtma yöntemleriyle arıtımı	26
Çizelge 2.10. Karasuyun vakumlu buharlaştırma ile arıtılabilirliği analiz sonuçları ...	30
Çizelge 3.1. Güneş radyasyon miktarı	33
Çizelge 3.2. Türkiye'nin toplam kurulu güç büyüklükleri	34
Çizelge 3.3. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisinin bölgelere göre dağılımı	34
Çizelge 3.4. Odaklı sistemler ve güneş bacası için bazı parametreler	48
Çizelge 5.1. Kolektör tipleri için simülasyon parametreleri	73
Çizelge 5.2. Simülasyon varyasyonları.....	75
Çizelge 5.3. Seçilen pompanın teknik özellikleri	81
Çizelge 5.4. 1,5 kW Güneş paneli paket içeriği.....	81
Çizelge 6.1. 2 fazlı üretim yöntemi için lagün sayısı ve özellikleri.....	90
Çizelge 6.2. 3 fazlı üretim yöntemi için lagün sayısı ve özellikleri.....	90
Çizelge 6.3. 2 fazlı tesis buharlaşma miktarı ve boş lagün doldurma süreleri.....	91
Çizelge 6.4. 3 fazlı tesis buharlaşma miktarı ve boş lagün doldurma süreleri.....	91
Çizelge 6.5. Ana elemanların ilk yatırım maliyeti.....	93
Çizelge 6.6. Güneş enerji sistemi ilk yatırım maliyeti.....	93

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.7. Entegre tesis farklı kolektör sayılarına göre ilk yatırım maliyeti	93
Çizelge 6.8. Entegre sistem için 3 fazlı zeytinyağı tesisindeki kazanç çizelgesi.....	94
Çizelge 6.9. Entegre sistem için 3 fazlı zeytinyağı tesisindeki geri ödeme süreleri.....	94
Çizelge 6.10. Entegre sistem için 2 fazlı zeytinyağı tesisindeki kazanç çizelgesi.....	95
Çizelge 6.11. Entegre sistem için 2 fazlı zeytinyağı tesisindeki geri ödeme süreleri....	95
Çizelge 6.12. Kiralık sistem için 2 fazlı zeytinyağı tesisindeki kazanç çizelgesi.....	95
Çizelge 6.13. Kiralık sistem için 2 fazlı zeytinyağı tesisindeki geri ödeme süresi.....	96
Çizelge 6.14. 3.taraf şirket için geri ödeme süresi	96
Çizelge 6.15. Entegre sistem için 3 fazlı zeytinyağı tesisindeki geri ödeme süreleri (120 gün).....	96
Çizelge 6.16. Entegre sistem için 2 fazlı zeytinyağı tesisindeki geri ödeme süreleri (120 gün).....	96
Çizelge 6.17. Kiralık sistem için 2 fazlı zeytinyağı tesisindeki geri ödeme süresi (120 gün).....	97

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. 2 ve 3 fazlı sistemlerin proses şeması.....	2
Şekil 2.1. Zeytin meyvesinin anatomik yapısı	5
Şekil 2.2. Türkiye zeytin üretimi haritası.....	8
Şekil 2.3. Zeytinyağı üretiminin genel akış şeması	11
Şekil 2.4. Yaprak ayırma işleminde kullanılan bir zeytin eleme makinesi.....	12
Şekil 2.5. Zeytin yıkama prosesi.....	12
Şekil 2.6. Geleneksel yöntemlerde kullanılan taş değirmen tipi zeytin kırıcı makinesi .	13
Şekil 2.7. Kontinü sistemlerde kullanılan bir metal tipi kırıcı.....	14
Şekil 2.8. Kontinü sistemlerde kullanılan çekiç tipi zeytin kırma makinesi.....	14
Şekil 2.9. Zeytin yoğurma işlemi.....	15
Şekil 2.10. Kontinü sistemlerde kullanılan bir dekantör makinesi	16
Şekil 2.11. Zeytinyağı üretimindeki seperasyon işlemi	16
Şekil 2.12. Geleneksel yöntem ile zeytinyağı üretim	17
Şekil 2.13. Üç fazlı üretim yöntemi	18
Şekil 2.14. İki fazlı üretim yöntemi	18
Şekil 2.15. Zeytin karasuyu buharlaştırma lagünleri	29
Şekil 3.1. Türkiye'nin güneş atlası	35
Şekil 3.2. Düz plaka güneş kolektörü	37
Şekil 3.3. PV-T güneş panelleri	39
Şekil 3.4. İki yüzlü bir PV-T modülünün çalışma prensibi	40
Şekil 3.5. Çift taraflı PV modül	40
Şekil 3.6. Heliostat güneş kolektörleri.....	42
Şekil 3.7. Çanak tipi parabolik kolektörler	43
Şekil 3.8. Oluk tipi parabolik güneş kolektörü	45
Şekil 4.1. Parabolik oluk tipi güneş kolektörü dizayn parametreleri	49

Şekil	Sayfa
Şekil 4.2. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcıdaki ışın transfer şeması	51
Şekil 4.3. Kesişim faktörünün emici boru çapına göre değişimi	54
Şekil 4.4. Gelme açısı düzeltme faktörünün geliş açısına göre değişimi	54
Şekil 4.5. Parabolik oluk tipi güneş kolektörünün yapısı	55
Şekil 4.6. Isı transfer akışkanından çevreye olan ısı transfer şeması	56
Şekil 5.1. Tasarlanan sistemin blok diyagramı	70
Şekil 5.2. 1B modelin girdi ve çıktı şeması	70
Şekil 5.3. MATLAB Simscape arayüzünde oluşturulan kolektör 1B modeli.....	72
Şekil 5.4. Pompa debi kontrol 1B modeli	72
Şekil 5.5. Emici boru ve cam tüp uzunlukları.....	73
Şekil 5.6. Model 1 ve model 3 emici boru ve cam tüp çap değerleri.....	73
Şekil 5.7. Model 2 emici boru ve cam tüp çap değerleri	74
Şekil 5.8. Günlük direkt ışıınım miktarı	75
Şekil 5.9. Isı Transfer katsayısı artırılacak alan	75
Şekil 5.10. Simscape arayüzünde modellenen ısı kayıp şeması	76
Şekil 5.11. 1B modellemesi yapılan emici borunun fiziksel görünümü	76
Şekil 5.12. Kiralama yolu ile kullanılabilir sistem 3B mekanik tasarımı	78
Şekil 5.13. 1/3 oranında tasarlanan lagün modeli	79
Şekil 5.14. Kiralama yoluna gidilecek sistem için pompa çalışma yükseklikleri.....	80
Şekil 5.15. Sistemde kullanılacak güneş paneli boyutları.....	81
Şekil 6.1. Farklı model tiplerine göre iş akışkanı sıcaklık grafiği	83
Şekil 6.2. Farklı model tiplerine göre lagün sıcaklık grafiği	84
Şekil 6.3. Modeller arasında iş akışkanının sıcaklık farkı	85
Şekil 6.4. İş akışkanı kolektör çıkış basınç grafiği	85
Şekil 6.5. Farklı lagün alanlarına göre lagün içi sıcaklık grafiği	86
Şekil 6.6. Karasu buharlaşma miktarı grafiği	87

Şekil	Sayfa
Şekil 6.7. Buharlaşma sonrası kalan hacim miktarı farkı	88
Şekil 6.8. Isı transfer katsayısının lagün sıcaklığına etkisi	89

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A	Boru demetinin alanı
A_{cö}	Cam örtü dış yüzey alanı (m ²)
A_{ebd}	Emici boru dış yüzey alanı (m ²)
A_{ebi}	Emici boru iç yüzey alanı (m ²)
A_{kga}	Gölgelenmeyen kolektör alanı (m ²)
b	Parabolün x eksenindeki yarım uzunluğu (m)
C_p	İş akışkanı özgül ısısı
d_{cö}	Cam örtü çapı (m)
d_{ebd}	Emici boru dış çapı (m)
d_{ebi}	Emici boru iç çapı (m)
E_A	Pompa girişinde harcanan enerji
E_B	Pompa çıkışında harcanan enerji
g	Yer çekimi ivmesi (m/s ²)
GI	Atmosferden geçip kolektöre düşen ışıyım (W/m ²)
h	Boru demeti ile lagün arasındaki taşınım katsayısı
h_a	Dış ortam havasının taşınım ısı transfer katsayısı
h_D	Kütle transfer katsayısı (m/s)
h_{hava}	Dış ortam ısı taşınım katsayısı
h_s	İş akışkanı ısı taşınım katsayısı
k	Isı iletim katsayısı
K	Işın gelme açısı düzeltme faktörü
k_{ebi}	Emici boru iletim katsayısı
k_{eff}	Hareketsiz havanın etkin ısı iletkenliği
k_{hava}	Dış ortam ısı iletim katsayısı
k_s	İş akışkanı ısı iletim katsayısı
L	Kolektör uzunluğu (m)

Simgeler**Açıklamalar**

$\dot{m}_\text{ç}$	Akışkanın lagün çıkışındaki debisi
$\dot{m}_\text{g}$	Akışkanın lagün girişindeki debisi
$\dot{m}_\text{n}$	Karasuyun debisi
$\dot{m}_\text{s}$	Birim zamanda üründen ayrılan su buharı (kg/s)
M_s	Suyun mol ağırlığı (kg/kmol)
P_b	Havadaki su buharının kısmi basıncı(N/m ²)
P_pompa	Pompada harcanan güç
Q_G	Cam örtüye gelen güneş ışıınımı (W/m ²)
Q_ITA	Isı transfer akışkanına aktarılan net enerji (W/m ²)
Q_k	Isı enerji kaybı (W/m ²)
$\dot{Q}_\text{ç}$	Lagünden çıkan enerji
$\dot{Q}_\text{g}$	Lagüne giren enerji
q_b''	Suyun buharlaşması için gerekli gizli ısı (kJ/kg)
P'_b	Yaş termometre sıcaklığındaki buhar basıncı(N/m ²)
R	Evrensel gaz sabiti (J/molK)
R_a	Rayleigh sayısı
R_a^*	Düzeltilmiş Rayleigh sayısı
T	Boru demeti yüzey sıcaklığı
T_a	Dış ortam sıcaklığı (K)
$T_\text{cöi}$	Cam örtü iç sıcaklığı (°C)
$T_\text{ç}$	Suyun kolektörden çıkış sıcaklığı (°C)
$T_\text{eb,ort}$	Emici boru ortalama sıcaklığı (°C)
T_ebd	Emici boru dış sıcaklığı (°C)
T_g	Suyun kolektöre giriş sıcaklığı (°C)
$T_\text{gök}$	Gökyüzü sıcaklığı (K)
T_m	Ortalama hava sıcaklığı (°C)
T_s	Karasu yüzey sıcaklığı
U_L	Emici boru dış yüzey ile çevre arası ısı kayıp katsayısı
U_O	Akışkandan çevreye olan toplam ısı transfer katsayısı
$W_\text{ç}$	Lagün çıkışında yapılan iş
W_g	Lagün girişinde yapılan iş

Simgeler**Açıklamalar**

ΔT	Emici boru ile cam örtü iç yüzey arası sıcaklık farkı
α	Emici boru ile cam örtü arası hava ısı yayılım hızı
β	Hacimsel genleşme katsayısı ($\beta = 1/T_{eb,cö}$)
ρ	Parabolik yüzey yansıtıcı malzeme yansıtma katsayısı
σ	Stefan-Boltzman sabiti (W/m^2K^4)
ν	Emici boru ile örtü arası hava kinematik viskozite
$\epsilon_{cö}$	Cam örtü ısı yayıcılık katsayısı
ϵ_{eb}	Emici boru ısı yayıcılık katsayısı
μ_s	İş akışkanı kinematik viskozitesi
ρ_{ϕ}	Pompa çıkışındaki akışkan yoğunluğu
ρ_g	Pompa girişindeki akışkan yoğunluğu
ρ_y	Yansıtıcı yüzey yansıtma katsayısı

Kısaltmalar**Açıklamalar**

AB	Avrupa Birliği
AKM	Askıda Katı Madde
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
EKO	Enerji Kullanım Oranı
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
PV	Photo-Voltaik
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UF	Ultra Filtrasyon

1. GİRİŞ

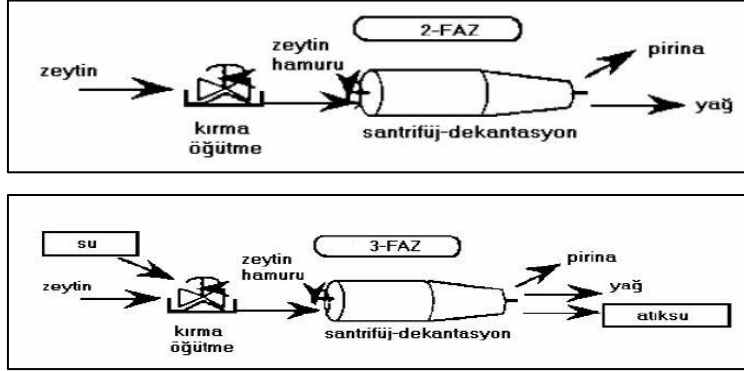
Endüstriyel ve tarımsal atıklar, içerdikleri iyonik metaller ve organik bileşenler ile en önemli çevresel sorunlardandır. Başlıca çevre sorunları; hava, gürültü, su, toprak, flora-fauna ve kültürel çevre gibi başlıklar altında incelenebilir.

Zeytin, sıcak iklimlerde ve çoğunlukla Akdeniz bölgesinde yetişen bir meyvedir. Zeytinyağı, zeytin meyvesinin bir alt bileşenidir. Zeytin ve zeytinyağı, bulunduğu toprağın yapısına ve yetiştiği iklime bağlı olarak, aroması ile tadı değişmektedir. Türkiye, dünya sofralık zeytin üretiminde dördüncüdür. Yağlık zeytin ile zeytinyağı üretiminde ise beşinci sırada yer almaktadır. Bu sebeple Türkiye karasu yönetimi konusunda çoğu ülkeden daha önemli bir konumdadır.

Genellikle Akdeniz bölgesinde yaşanmakta olan çevre sorunlarından biri de zeytin karasuyunun doğaya bilinçsizce ve arıtılmadan bırakılması ya da yağışlarla toprağa ve buradan da yeraltı sularına karışmasıdır. Zeytin karasuyu çevre sağlığına olumsuz yönde etki etmektedir. Karasu, zeytinyağı çıkarma işlemi sonucu ortaya çıkan fenolik bir bileşendir. Bu alt ürünün özellikleri, zeytinyağı üretim yöntemine göre değişmektedir. Bu suyun kompozisyonu ise, zeytin türüne, zeytinlerin olgunluğuna, zeytin suyunun içeriğine, toprağı işlemeye, iklim şartlarına göre değişmektedir. Derelere ve toprağa arıtılmadan boşaltılan zeytin karasuyu, kötü kokuların oluşumuna, zirai üretimin yok olmasına, yer altı suyunun kirlenmesine, böceklerin artışına sebep olmaktadır [1].

Zeytinyağı işletmelerinde oluşan atık zeytin karasuyu, içerdığı organik kirlilik nedeniyle çevre kirlenmesine yol açmaktadır. Karasu sorunu, tüm boyutu ile Tarım ve Orman Bakanlığı ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından da ele alınmakta ancak, bir türlü sürdürülebilir bir çözüm bulunamamaktadır. Sorunun çözümü için mevcut üç yöntemden söz edilebilir. Birincisi, mevcut 3 faz çalışan tesislerin 2 faza dönüştürülmesi ve 2 faz işleme sonucu elde edilen sulu pirinanın işlenmesine yönelik bir pirina entegre tesisi kurulmasıdır (Güncel yapı 2 fazlı üretime zorlamaktadır). İkincisi ise, 3 faz çalışmaya devam edilerek meydana gelen pirinayı entegre tesisinde işleyip, oluşan karasuyu yeterli kapasitelerde karasu buharlaştırma havuzlarında buharlaştırmaktır. Bir diğer yöntem ise arıtma tesisi kurulması ve meydana gelen karasuyun arıtılarak başka alanlarda (içerdığı azot ve potasyum

gibi bitki besin maddeleri ve organik maddeler nedeniyle uygun işlemler sonucu sıvı ve katı gübre olarak) kullanımının sağlanmasıdır [2].



Şekil 1.1. 2 ve 3 fazlı sistemlerin proses şeması

Güneş enerjisi, sürekli ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Bunların yanı sıra geleneksel yakıtların kullanımından kaynaklanan çevresel sorunların çoğunun güneş enerjisi üretiminde bulunmayışı bu enerji türünü temiz ve çevre dostu bir enerji yapmaktadır. Fosil yakıt kullanımının dayandığı yanma teknolojisinin kaçınılmaz ürünü olan karbondioksit (CO_2) yayılımı sonucunda, atmosferdeki (CO_2) miktarı, son yüzyıl içinde yaklaşık 1,3 kat artmıştır [3]. Türkiye güneşlenme süresi açısından zengin bir ülkedir ve güneş enerjisinin verimli kullanılabileceği birçok farklı alana ev sahipliği yapmaktadır. Türkiye'nin en çok güneş alan bölgesi Güneydoğu Anadolu, ikinci sıradaki bölgesi ise Akdeniz bölgesidir.

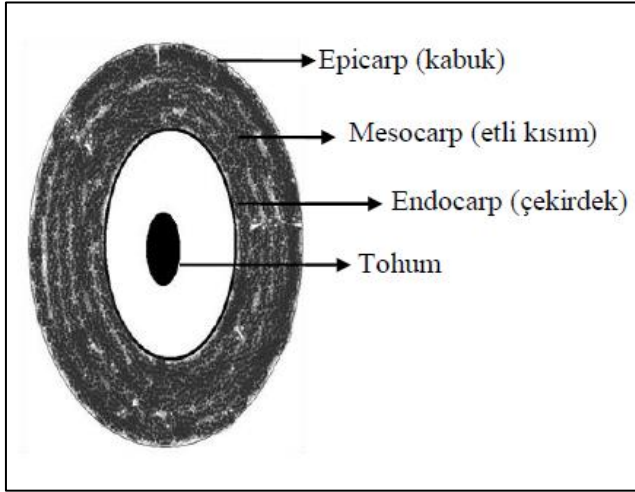
Türkiye açısından önemli bir ihracat kalemi olan zeytinyağının çevre sorunlarının acilen çözülmesi gerekmektedir. Ek olarak prinanın da gerek yağ gerekse yakıt olarak değerlendirilebilmesi adına 2 fazlı üretim sistemine geçişte ayrıştırılması ve böylece sıkma tesisinde bu ayrımın sağlanarak nakliye masraflarının azaltılması hedeflenmektedir. Bu tez kapsamında zeytinyağı fabrikaları için entegre bir sistem kurulması ve bu sistemin sürdürülebilir olması hedeflenmiştir. Zeytinyağı üretim miktarı yüksek olan fabrikalar bu sistemi bütünüyle tesislerinde kullanabileceklerdir. İlk yatırım maliyetinden kaçınan ve üretim miktarı düşük olan fabrikalar ise bu sistemi kiralama yolu ile kullanabileceklerdir.

Sistemin tasarımında, oluk tipi parabolik oluk tipi güneş kolektörü, sirkülasyon pompası, pompanın ve kolektör güneş takip mekanizmasının enerjisini sağlayacak güneş paneli ve inverter kullanılmıştır. Isıtma akışkanının lagün üzerinde dolaşımını sağlamak için,

literatürde ve sektörde HDPE olarak bilinen ve genellikle su kaynaklı ısı pompalarında kullanılan boru tipi kullanılması öngörülmüştür. Tasarlanan bu sistemin, 1B matematiksel modellenmesi yapıp MATLAB paket programında simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında, oluk tipi parabolik kolektör içerisinde ısıtma akışkanı (su veya yağ) geçirilip güneşten gelen ışıının ısısını bu boru içerisindeki akışkana aktarılması planlanmıştır. Sıcaklığı artan akışkanın lagün içerisine girerek, zeytin karasuyunu buharlaştırılması ve tekrardan kolektör modeline girerek döngüsünü tamamlanması öngörülmüştür.

2. ZEYTİN VE ZEYTİNYAĞI HAKKINDA BİLGİLER

Zeytinin sekiz bin yıllık bir geçmişe dayandığına inanılmaktadır. Üretici ülkeler açısından ekonomik ve ticari olarak önemli ürünlerden biri olan zeytin aynı zamanda Akdeniz bölgesini simgeleyen bir kültür parçasıdır. Bu ürün bir periyodisiteye sahiptir. Bu nedenle, bir yıl ürün verme, bir sonraki yıl ise az ürün verme ya da ürün vermeme özelliği gösterir. Dünya’da zeytin üretiminin % 97’si Akdeniz bölgesinde yetişmektedir. Zeytin meyvesini sırasıyla en dıştan en içe olmak üzere, epicarp (kabuk), mesocarp (etli kısım) ve endocarp (çekirdek) ve tohum tabakaları oluşturur. Dünya’daki 900 milyon ağacın yaklaşık % 98’i Akdeniz bölgesindedir.



Şekil 2.1. Zeytin meyvesinin anatomik yapısı

Son 5 yılın zeytinyağı üretim ortalaması yaklaşık 175 bin ton ve sofralık zeytin üretim ortalaması ise 413 bin ton ve yağlık zeytin üretimi 1 milyon 640 bin ton olmak üzere 2017/18 yılında genç ağaçların meyve vermeye başlamasıyla rekor bir artışla toplam zeytin üretimi 2 milyon 100 bin ton olmuştur. 2018 yılında zeytin dikim alanı 864.428 hektardır [2].

Çizelge 2.1.’den de anlaşılacağı üzere, zeytin içerisindeki yağ oranı oldukça yüksektir. Yağ oranının yanı sıra iyonik bileşikler de vardır. Toplam tarım alanlarının yaklaşık % 3,6’sında, toplam meyve alanlarının % 9,7’sinde ve yaklaşık 700 bin hektar alanda yapılmaktadır. Bu alanlar üzerinde yaklaşık 137 milyon ağaç varlığı ile 1.421.302 ton ham dane üretimi yapıldığı düşünülmektedir [4].

Çizelge 2.1. TÜİK'in zeytin ağacı istatistikleri [2]

YILLAR	Alan (Ha)	AĞAÇ SAYISI		
		Meyve Veren	Meyve Vermeyen	Toplam Ağaç Sayısı (Bin adet)
2009	778.413	109.127	44.596	153.723
2010	826.199	111.398	45.050	156.448
2011	798.493	117.942	36.669	154.611
2012	813.765	120.821	36.240	157.061
2013	813.765	129.161	37.869	167.030
2014	826.091	140.712	28.285	168.997
2015	836.934	144.760	27.232	171.992
2016	845.542	147.430	26.355	173.785
2017	846.061	148.263	26.331	174.594
2018	864.428	151.069	26.774	177.843

Zeytin ağaçlarının yaklaşık % 75'i fakir ve engebeli arazilerde yetişir. % 25'lik kısmı ise düz ve hafif meyilli arazilerde yetişir. Engebeli arazilerde tek başına ekilip yetiştirilmesi gerekmektedir. Düz arazilerde ise diğer bitkiler ile ekilip iç içe yetiştirilebilmektedir. Zeytin ağacı, genellikle rakımı düşük coğrafyalarda yetişir. Ancak denizden 1000 metre yükseklikte de zeytin tarımı yapılabilmektedir. Türkiye'de, 800 hatta 1000 metreye kadar zeytin yetişmektedir. Zeytin, özellikle 400 metrenin altındaki alçak alanlarda, daha verimli olur. Zeytin ağacı için, yetiştirilmeye elverişli coğrafyalarda genellikle yazları sıcak, kışları ılıman geçen iklimlerdir. Zeytin ağacı suyu sever, ama susuzluğa da dirençlidir. Aynı ölçüde verimli olamasa bile, zeytin ağacı, kendisini, bölgenin iklim yapısına uydurmayı başarır [4].

Zeytin, yağlık ve sofralık olmak üzere taşıdığı özelliğe göre iki ana grupta incelenmektedir. Yağlık zeytinin işlenmesinden sonrada ortaya çıkan pirina ve karasudan farklı amaçlarla yararlanılmaktadır. Ayrıca zeytinyağı ve pirina yağı kimyasal uygulamalar ile sabun yapımında da kullanılmaktadır. Çağımızda toplumu saran mega-trendler arasında sağlıklı beslenme, sağlığa faydalı ürünler tüketme, yaşam kalitesini artırma ve iyi olma (wellness) gibi konular öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, “fonksiyonel besin” olarak adlandırılan yeni bir ürün grubu tanımlanmaktadır. Zeytin ve zeytinyağı, sağlığa olan faydalarından dolayı fonksiyonel besin grubunda yer almaktadır [5].

Zeytin ağacının varlığını devam ettirebilmek için çok özel istekleri yoktur. Bu ağaç türü değişik ortamlara kolayca uyum sağlayabilmektedir. En yaygın Şekilde Akdeniz Bölgesinde yer alan ülkelerde ve çevresindeki ülkelerde yetiştirilmektedir. Günümüzde 20. yüzyılın

bitkisi olarak gösterilen ve yüzyıllardır önemini yitirmemiş olan zeytin bitkisinin anavatanı Mardin, Hatay, Suriye, Filistin ve Kıbrıs adasını içerisine alan bölge kabul edilmektedir [2].

Bu meyvenin etli kısmından ve çekirdeğinden elde edilen yağ zeytinyağı olarak adlandırılır ve diğer bitkisel yağlara göre önemli üstünlüklere sahiptir. Zeytin meyvesinin kimyasal bileşimi Çizelge 2.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Zeytin meyvesinin kimyasal bileşenleri [6]

Bileşik	Miktar
Su	% 51,9
Toplam katı madde (TKM)	% 48,1
Toplam şeker	% 2
Yağ	% 25,4
Protein	% 1,5
Na (mg/100g)	3,2
K (mg/100g)	457,2
Ca (mg/100g)	33,2
Mg (mg/100g)	12,5
Mn (mg/100g)	0,13
Fe (mg/100g)	1,73
Zn (mg/100g)	0,71
Cu (mg/100g)	0,01
P (mg/100g)	51,1
Karoten(mg/100g)	0,15 - 0,2
Vitamin C (mg/100g)	12,9 –19,1
Thiamin(mikrogram/100 gr)	0,54-1,10

Zeytinyağı, hiçbir kimyasal işlem görmeden zeytin meyvesinin etli kısmından (mesocarp) üretilen zeytin alt ürünüdür. Zeytin meyvesinin yağ çıkarma oranı oldukça yüksektir. Zeytinyağı üretiminde Avrupa Birliği ülkeleri en üst sıralardadır. Türkiye’de 2017/18 yılında zeytinyağı üretiminin 263 bin ton olduğu tahmin edilmektedir [2]. Türkiye’de 20. yüzyılın 2. çeyreğinden sonra zeytincilik ve zeytinyağı sektörü artış göstermektedir.

Çizelge 2.3. Dünya zeytinyağı ihracatı (Bin ton) [2]

ÜLKELER	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18 *	2018/19**
İspanya	236.8	297.8	291.3	304.0	367.5
İtalya	199.6	208.1	199.5	171.0	184.8
Tunus	304.0	102.5	89.5	200.0	130.0
Türkiye	30.0	15.0	45.0	65.0	55.0
Portekiz	47.6	40.6	39.5	39.7	39.7
Fas	25.0	17.0	9.0	15.0	20.0
Arjantin	12.0	31.0	16.5	36.0	21.4
Yunanistan	16.6	19.3	18.7	9.8	7.7
Filistin	6.5	4.5	4.0	4.0	4.0
Diğer	33.5	31.7	41.1	47.0	48.0
Toplam	929.0	788.5	780.0	910.2	890.5

* Tahmin **Öngörü- Kasım 2018 itibariyle



Şekil 2.2. Türkiye zeytin üretimi haritası

Zeytin ve zeytinyağı üretimindeki artış sayesinde, zeytin ve ürünleri yalnızca gıda maddesi olarak değil, kozmetik ve tıbbi ilaç olarak da kullanılmaktadır. Zeytinyağı A, D, E ve K vitaminlerini içermektedir. Mide koruma, idrar yolu ve safra kesesi hastalıklarını önleme özelliğine sahip olan bu yağ, aynı zamanda beyin ve kemik gelişimini de hızlandırmaktadır. Hayvansal yağlardan farklı olarak kolesterol değerini düşürür ve kalp sağlığını korur. Zeytin yaprağında bulunan "oleuropein" ve "eleonik" asit aktif bileşiklerinin vücutta antimikrobiyal olarak görev yapmaktadır.

Dünya çapındaki üretimin % 36'sı ile İspanya en büyük zeytinyağı üreticisidir. Zeytinyağı üretiminin % 24'ünü İtalya oluştururken, % 17'sini Yunanistan üretmektedir. Son on yılda, zeytinyağı üretimi dünyanın her yerinde yaklaşık % 40 artmıştır ve Avrupa ülkelerinde bu

oran % 45 olarak kendini göstermiştir. Avrupa üretiminin yaklaşık yarısını temsil eden İspanya, bu zaman süresince zeytinyağı üretiminde yaklaşık % 80’lik bir artış göstermiştir [1].

Çizelge 2.4. Dünya zeytinyağı üretimi (Bin ton) [2]

Zeytinyağı üretimi	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18*	2018/19**
AB ülkeleri	1434.5	2324.0	1752.0	2183.0	2212.0
İspanya	842.2	1403.3	1290.6	1256.2	1550.0
İtalya	222	474.6	182.6	428.9	270.0
Yunanistan	300.0	320.0	195.0	346.0	240.0
Portekiz	61.0	109.1	69.4	134.8	130.0
Diğer UZK ülkeleri	855.5	668.0	649.5	950.0	660.5
Tunus	340.0	140.0	100.0	280.0	120.0
Türkiye	160.0	150.0	178.0	263.0	193.6
Fas	120.0	130.0	110.0	140.0	145.0
Cezayir	69.5	82.0	63.0	82.5	76.5
Arjantin	30.0	24.0	24.0	43.5	20.0
Ürdün	23.0	29.5	20.0	20.5	20.5
Filistin	24.5	21.0	19.5	19.0	17.0
UZK üyesi olmayan ülkeler	168.0	184.5	189.5	181.5	181.5
TOPLAM	2458.0	3176.5	2561.0	3314.5	3049.0

* Tahmin **Öngörü -Nisan 2019 itibariyle UZK: Uluslararası Zeytinyağı Konseyi

Türkiye gerek iklim gerekse toprak özellikleri bakımından zeytin üretimi için en uygun coğrafyalardan biri konumunda olup, zeytinyağı üreten ve dış satım yapan ülkeler arasında önemli bir yere sahiptir. Çizelge 3.2.’den de görüleceği üzere, zeytinyağı ihracatında üretimle paralel olarak ilk sırayı AB ülkeleri almakta, bu ülkeleri Tunus ve Türkiye izlemektedir.

2.1. Zeytinyağı Çeşitleri

Zeytinyağları, üretim teknikleri, asitlikleri vb. uluslararası standartlara göre birkaç sınıfa ayrılırlar. Oleik asit cinsinden % 3,3’ten daha az asitlik oranına sahip zeytinyağları natürel (virgin) zeytinyağı olarak adlandırılırlar. Natürel yağlar, biyolojik açıdan en değerli yağlar olarak kabul edilmektedir. Natürel zeytinyağları kendi aralarında asitlik derecelerine göre Uluslararası Zeytinyağı Konseyi (UZK) ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından TS

341 Yemeklik Zeytinyağı Standardı ile belirlenen standartlara göre üç grupta incelenmektedirler: Natürel sızma (Ekstra virgin) zeytinyağı, natürel birinci zeytinyağı, natürel ikinci zeytinyağı. Yüksek asitlik, kötü tat ya da kokuya sahip olan zeytinyağlarının doğal yapısını bozmadan yağdan ayrıştırılarak (rafine edilerek) yenilenebilir hale getirilmiş yağlara rafine zeytinyağı denir. Rafinasyon işlemleri, yağ asitlerinin ayrıştırılması (nötralizasyon), renginin açılması (ağartma), kokusunun ayrıştırılmasına (deodorizasyon) gibi aşamalardan oluşur. Asitsiz, kokusuz ve renksiz bu yağlara iyi kaliteli yağlar karıştırılarak tekrar zeytinyağı özelliği kazandırılır [7].

2.1.1. Natürel zeytinyağı

Zeytin ağacının meyvesinden sadece mekanik veya diğer fiziksel yöntemlerle, doğal niteliklerinde değişikliğe neden olmayacak bir ısı ortamında sadece yıkama, sızdırma, santrifüj ve filtrasyon işlemleri gibi işlemler uygulanarak elde edilen, berrak, rengi yeşilden sarıya değişebilen, tadı ve kokusu kendine özgü olan, bulunduğu haliyle gıda olarak tüketilebilen yağdır.

2.1.2. Rafine zeytinyağı

Yağın doğal gliserit yapısında değişikliğe yol açmayan yöntemlerle, natürel zeytinyağının rafine edilmesi ile elde edilen zeytinyağıdır. Sarının değişik tonlarında rengi olan zeytinyağının kendine özgü tadı ve kokusu vardır. Serbest yağ asitliği oleik asit cinsinden her 100 gramda 0,3 gramdan fazla olmamalıdır.

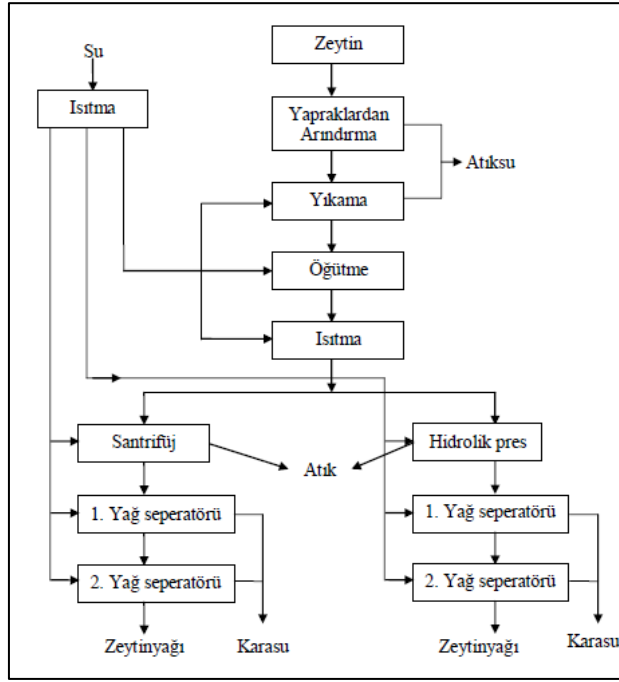
2.1.3. Riveria zeytinyağı

Rafine zeytinyağı ile gıda olarak doğrudan tüketilebilecek natürel zeytinyağı karışımından oluşan, rengi yeşilden sarıya değişebilen, kendine özgü tat ve kokusu olan bir yağdır. Serbest yağ asitliği oleik asit cinsinden her 100 gramda 1,5 gramdan fazla olmamalıdır.

2.2. Zeytinin Hazırlanması ve Zeytinyağı Üretim Prosesleri

Zeytin meyvesi, Akdeniz bölgesinde genellikle Kasım ayında olgunlaşmaya başlar. Daha sonra ağaçlardan toplanan zeytinler zeytinyağı işlemine girmeden önce yabancı maddelerden

arındırılır. Bunun amacı, oluşturulacak yağ içerisinde yabancı maddelerin oluşmasını önlemektir. Bir diğer sebebi ise, üretimi yapacak makinelere zarar vermemektir. Yaprak ayırma, yıkama temizlik işlemlerinden başlıca olanlarıdır. Temizlik işlemlerinden sonra temel işlem aşamalarına geçilir. Temel işlem aşamaları, kırma, yoğurma, dekantasyon ve seperasyon olarak sınıflandırılabilir.

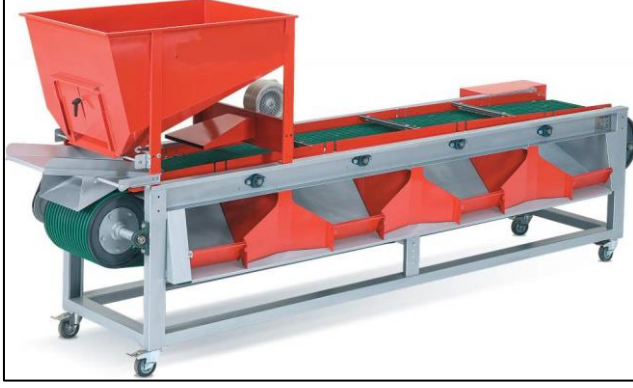


Şekil 2.3. Zeytinyağı üretiminin genel akış şeması

2.2.1. Zeytinin hazırlanışı

Yaprak ayırma

Zeytinyağı üretim işleminden önceki en temel ve önemli işlemlerden biri olan yaprak ayırma işlemi, basınçlı hava ile üfürme ya da vakumlama yöntemi ile yapılır. Genellikle vakumlama prensibine dayanan bu işlem, bir bant üzerinde hareket eden hasadın yüksek vakum yardımıyla yaprakların zeytinlerden ayrılmasını ve hasadın temizlenmesini sağlar. Emme prensibi ile oluşturulan bu hava akımı yaprakların bir arada toplanmasına yardımcı olur.



Şekil 2.4. Yaprak ayırma işleminde kullanılan bir zeytin eleme makinesi

Yıkama

Diğer temizlik işlemlerinden biri olan yıkamada, yerine göre basınçlı su yerine göre de hareketli su tankı uygulaması yapılır. Bu işlemin en temel amaçlarından biri zeytin içerisinde bulunan taşların su tankı içerisinde çökmesini sağlamaktır. Bir diğer amacı ise, zeytin üzerindeki çamurları temizlemektir.



Şekil 2.5. Zeytin yıkama prosesi

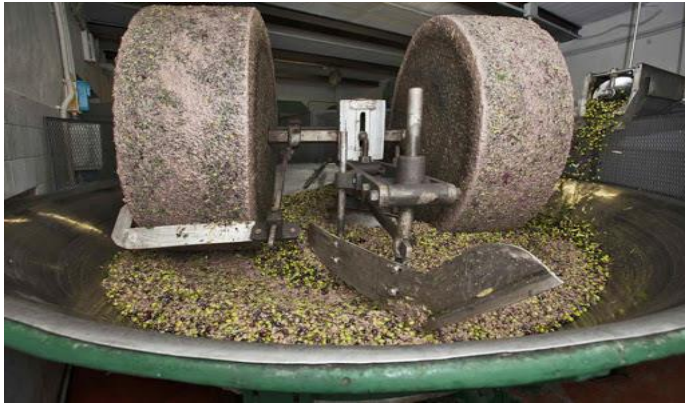
Kırma

Kırma işlemi yağın bitki dokularından çıkarılması, zeytinlerin ezilmesi için yapılır. Amaç yağın hücre içi boşluklardan dışarı çıkarılması için meyve eti hücrelerinin parçalanmasıdır. Bu şekilde daha büyük damlaların meydana gelmesi sağlanır ve daha sonra zeytin hacmindeki diğer sıvı ve katı fazlardan ayrılabilir. Zeytinleri kırmak için çeşitli tipte

makinalar kullanılmaktadır. Taş değirmenler, çekiçli metalik kırıcılar, diskli metalik kırıcılar bu makinaların en yaygın olanlarıdır.

Taş değirmen tipi kırıcı makinalarının avantajları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır [8];

- Hamurun hazırlanması zeytinlerin durumuna göre uygun bir Şekilde ayarlanmaktadır.
- Hücreler iyi bir Şekilde parçalanır ve yağ açığa çıkarılır.
- Hamurun ısınması ve metallerle bulaşma riski yoktur.
- Emülsiyon teşekkülüne yardımcı olmaz.
- Yağ damlacıklarının toplanmasını kolaylaştırır ve kısmen yoğurma işleminin yerini tutar.
- Yoğurma zamanını azaltır.



Şekil 2.6. Geleneksel yöntemlerde kullanılan taş değirmen tipi zeytin kırıcı makinası

Metal kırıcı makinalarının avantajları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır [8];

- Sürekli ve otomatik olarak çalışır.
- Daha az maliyetlidir.
- Çok yer kaplamaz.
- Saatteki ezme kapasitesi yüksektir.
- Yağa daha uzun bir raf ömrü verebilir.



Şekil 2.7. Kontinü sistemlerde kullanılan bir metal tipi kırıcı

Çekiçli kırıcı makinalarının avantajları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır [8];

- Hızlıdır. Sürekliliği vardır.
- Elde edilen yağ rengi hücreler daha fazla parçalandığı için daha yeşildir.
- Fenol miktarı yüksektir, böylece yağ daha uzun raf ömrüne sahiptir.
- Kolay temizlenebilir.



Şekil 2.8. Kontinü sistemlerde kullanılan çekiç tipi zeytin kırma makinesi

Yoğurma

Kırıcılardan sonra yer alan malaksörlerde, kırılmış zeytinler, sıcak su ile ısıtılarak hamur haline getirilir. Sıcak su kazanında, ısıtma bölmelerine pompa ile sıcak su pompalanır. Malaksör ısınması ile zeytin hamuru homojen hale gelir. Yoğurma işleminin sağladığı avantajlar, hamurun yağ açısından zenginleşmesi, yağın daha iyi alınması, homojen bir

karışım elde edilmesi gibi kalite açısından olduğu kadar, nicelik açısından da önemlidir. Yoğurma esnasında sıcaklık yükseltildiğinde yağ verimi artmaktadır. Maksimum sıcaklık 25–30 °C’dir. Karıştırıcılar daha çok metalik bir silindir içinde yavaşça dönen bıçaklardan (20 devir/dakika) oluşmaktadır [4].



Şekil 2.9. Zeytin yoğurma işlemi

Dekantasyon

3000-4000 devir/dakika hızla çalışan yatay dekantörlerde sulu hamura santrifüj kuvveti uygulanarak, aynı anda yağ, zeytin özsuyu ve pirina ayrılır. Dekantör içinde kat edilen yolu uzatarak, bu şekilde sıvıların veya zeytin pastasının tamburun içerisinde kalış süresini arttırmak mümkündür. Bu zeytinin özelliklerine ve kalitesine bağlı olmaktadır. Pirinada kalan yağ miktarını asgariye düşürmek açısından koniğin cidarları boyunca karşı akımda lavaj (pirinadaki atık yağ miktarının azalması) yapmak mümkündür. Bu da zeytinin özelliklerine ve kalitesine göre yapılır. Tamburun iç kısmında, konik kısım boyunca bir cihaz yerleştirilmiş bulunmaktadır. Bu cihaz sayesinde pirinanın dışarı çıkmadan önce karşı akımda lavajı yapılır [8].



Şekil 2.10. Kontinü sistemlerde kullanılan bir dekantör makinesi

Seperasyon

Seperasyon işleminde, yağ içinde kalması muhtemel posa, zeytin özsuyu gibi maddelerin tamamen temizlenmesi için santrifüj işlemi yapılarak, yemeklik zeytinyağı elde edilir. Santrifüj sonunda posa, zeytin özsuyu gibi elde edilen maddeler pirina muhtevasına verilir. Bu işlemlerin birbiri ardına uygulanmasının en önemli özelliği, yağ asidinin düşürülmesinin sağlanmasıdır [8].



Şekil 2.11. Zeytinyağı üretimindeki seperasyon işlemi

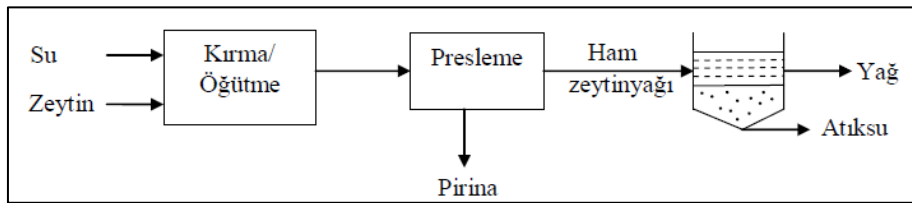
2.3. Zeytinyağı Üretim Yöntemleri

Zeytinyağı üretim prosesleri prosesin işletme şekline göre ikiye ayrılmaktadır. Bunlardan ilki konvansiyonel olarak bilinen kesikli presleme sistemi, diğeri ise modern sistem olarak

adlandırılan sürekli (kontinü) sistemlerdir. Ayrıca zeytinyağı üretim prosesleri çıkan ürünlerin çeşitliliğine göre de ikiye ayrılırlar. Proses sonucunda zeytinyağı, karasu ve pirina üretilen sistemler 3 fazlı üretim prosesleri, proses sonrasında zeytinyağı ve pirina karasu karışımı elde edilen proseslere de 2 fazlı üretim prosesleri denilmektedir [6].

2.3.1. Geleneksel yöntem

Geleneksel yöntemde (kesikli yöntemde), zeytinler yıkanır, ezilir ve sıcak su ilavesiyle yoğrulur. Elde edilen zeytin çamuru daha sonra yağını vermesi için bastırılır. Preslerden çıkan sıvı atıklar bir karışımdan oluşturur. Zeytinin öz suyu ve ilave su ile yağ içerir. Son olarak, zeytinyağı dikey santrifüj ile sudan ayrılır. Yağdan arındırılmış katılar genellikle enerji ihtiyacı giderimi için yakılır ve yağ rafine edildikten sonra kalite güvence altına alınırsa, sabun üretimi veya yemeklik yağ için kullanılabilir. Geleneksel Yöntem, enerjiye ve teknolojiye az ihtiyaç duyan zeytinyağı çıkarma işlemidir. Ancak yüksek derecede kirlenmiş atık sular üretir [9].



Şekil 2.12. Geleneksel yöntem ile zeytinyağı üretim [4]

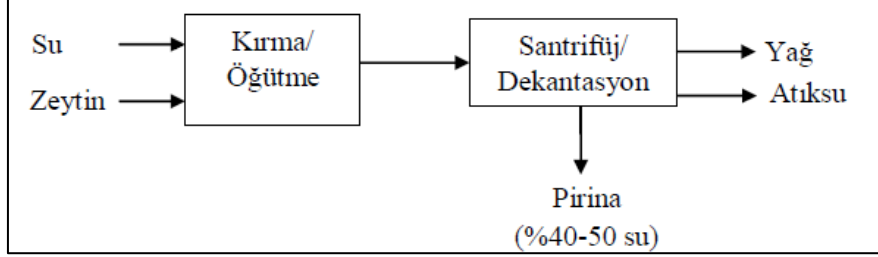
2.3.2. Sürekli yöntem

Sürekli işlemede, yatay bir santrifüj sürekli çalışır. Geleneksel pres teknolojisine göre sürekli santrifüjleme sürecinin ana avantajları; Artan üretim, minimum işçilik maliyeti, daha az alan gereksinimi, daha iyi kalite, geliştirilmiş proses kontrolü ve otomasyondaki kolaylıktır olarak sayılabilir. Ancak pres teknolojisine kıyasla yüksek sermaye maliyeti vardır [9].

Üç fazlı üretim yöntemi

3-fazlı üretim prosesinde, proses suyu kullanılmakta ve proses sonucunda yağ, atık su (karasu) ve katı kısım (pirina) olmak üzere üç faz oluşmaktadır. Bu proseste önemli

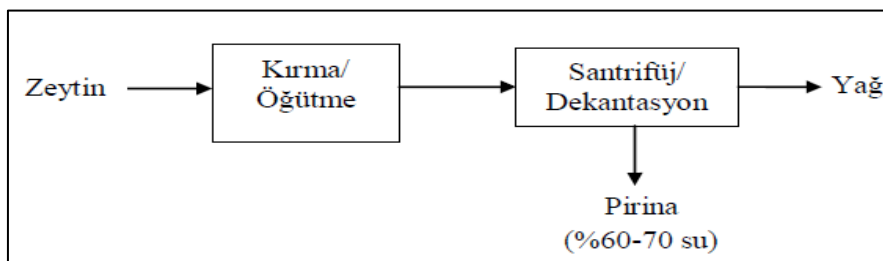
miktarlarda proses suyu kullanıldığından, geleneksel yöntemle göre üç kat daha fazla atık su oluşmaktadır. Oluşan atık suyun kirlilik yükleri; $BOI_5=5-48$ g/L, $KOI=45-60$ g/L, $pH=4,7-5,2$ şeklinde ifade edilebilir. Bu sistemin dezavantajları, fazla su tüketimi (70 – 80 L/100 kg zeytin) ve yüksek miktarda karasu oluşturmastır [4].



Şekil 2.13. Üç fazlı üretim yöntemi [4]

İki fazlı üretim yöntemi

2-fazlı üretim prosesinde, üretim esnasında proses suyu kullanılmamakta, işlem sonrasında yağ ve pirina olmak üzere iki faz oluşmaktadır. Bu proses sonucunda karasu oluşmadığından, sistem ekolojik olarak oldukça caziptir. Karasuyun büyük bir bölümü pirina ile birlikte açığa çıkmaktadır. Oluşan katı faz % 50-60 oranında su, % 2-3 oranında ise yağ içermektedir. İki fazlı üretim sisteminde kullanılan yatay santrifüjler, üç fazlı üretim sisteminde kullanılanların modifiye edilmiş halidir. Eğer yeni toplanmış taze zeytin kullanılacaksa, su ilavesine gerek yoktur. 1000 kg zeytinin işlenmesi sonucu 800 kg katı atık oluşmaktadır. Bu katı kısımda % 60 su, % 2,5 yağ bulunmaktadır. Oluşan atık suyun kirlilik düzeyi; $KOI=10-15$ g/L değeri ile ifade edilebilir. Zeytin özsuyu ile birlikte sistemden uzaklaşırken, doğal antioksidan olan ve suda çözünen polifenollerin çoğu yağın içinde kalmakta, böylece üretilen yağ da üç fazlı sistemin yağına göre daha dayanıklı olmaktadır [4].



Şekil 2.14. İki fazlı üretim yöntemi [4]

2.4. Zeytin Karasuyunun Özellikleri

Karasu olarak isimlendirilen zeytin vejetasyon suyu, zeytinin yapısından gelen su, zeytin yıkama suyu ve zeytinyağı üretim aşamasında ilave edilen suların karışımından oluşmaktadır. Zeytin karasuyunda ayrıca fenolik bileşikler de bulunmaktadır. Fenolik bileşikler suda çözüldükleri için, zeytinlerin yağa işlenmesi sırasında meyve eti dokusundan kolaylıkla zeytin vejetasyon suyuna geçebilmektedir [10].

Karasu genel olarak koyu kahve-siyah renkli, çok yüksek organik madde muhtevasına, polifenol ve katı madde içeriğine sahip asidik karakterli bir atık sudur. Sıvı atığa koyu renk veren polifenollerin ve taninlerin bulunması da karasuyun fitotoksik ve antimikrobiyal etki göstermesine neden olmaktadır [6].

Çizelge 2.5. Bir ton zeytinin işlenmesine bağlı olarak proseste madde ve enerji dengesi, girdi ve çıktı analizi [4]

Üretim Prosesi	Girdiler	Girdi Miktarları	Çıktılar	Çıktı Miktarları
Geleneksel Pres Prosesi	Zeytin	1 t	Yağ	~200 kg
	Yıkama suyu	0.1-0.12 m ³	Katı atık (% 25 su + % 6 yağ)	~400 kg
	Enerji	40-63 kWh	Karasu (% 88 su)	~600 L
3-Fazlı Dekantör	Zeytin	1 t	Yağ	200 kg
	Yıkama suyu	0.1 – 0.12 m ³	Katı atık (% 50 su + % 4 yağ)	500-600 kg
	Dekantörü temizleme suyu	0.5-1 m ³	Atıksu (% 94 su + % 1 yağ)	1000-1200 L
	Yağdaki safsızlıkları yıkama suyu	~10 L		
	Enerji	90 – 117 kWh		
2-Fazlı Dekantör	Zeytin	1 t	Yağ	200 kg
	Yıkama suyu	0.1 – 0.12 m ³	Katı atık (% 60 su + % 3 yağ)	800-950 kg
	Enerji	< 90-117 kWh		

Zeytinlerin yağa işlenmesinden elde edilen koyu kırmızı renkli, organik ve mineral maddeler bakımından zengin asidik nitelikte, oluşan miktarı kullanılan yağ çıkarma sistemine bağlı olarak değişen sıvı alt ürün olan karasuyun bileşimi, uygulanan üretim teknolojisi, üretim miktarı ve kullanılan zeytin hammaddesine bağlı olarak değişim göstermektedir [12].

Zeytinyağı üretimi sırasında oluşan karasuyun pH'sı asidik olup aynı zamanda organik madde içeriği de oldukça yüksektir. Yüksek organik madde, polifenol, şeker, askıda katı madde ve bunun yanında içerdiği pek çok bileşen nedeniyle bu suyun doğrudan şehir kanalizasyon şebekesine veya akarsu, nehir gibi alıcı ortamlara verilmesi çevre sağlığı açısından büyük sakınca oluşturmaktadır [10].

Çizelge 2.6. Farklı çalışmalarda kullanılan zeytin karasularının karakteristikleri [6]

Kaynak	KOİ (g/L)	BOİ (g/L)	İletkenlik (mS/cm)	pH	TKM (g/L)	AKM (g/L)	Yağ-gres (g/L)
Andreozzi vd. (2008)	134,1	-	-	-	-	-	-
Asses vd. (2009)	95,0	-	-	5,1	84,2	14,5	-
Chatzisyneon vd. (2009a)	47,0	-	17,0	4,6	50,3	-	-
Drouiche vd. (2004)	30,0	-	11,0	4,5	-	28,5	0,95
El Abbasi vd. (2009)	156,0	-	24,0	5,3	90,0	-	6,5
El Hassani vd. (2009)	120,0	67,5	14,9	4,7	-	-	26,0
Erkonak vd. (2008)	61,0	-	-	4,5	-	22,2	-
Eroğlu vd. (2009)	52,1	-	-	-	-	-	-
Fezzani vd. (2008)	60,0	-	-	5,0	57,0	24,0	-
Hodaifa vd. (2009)	151,4	42,0	7,9	5,4	66,0	-	15,4
Iamarino vd. (2009)	186,6	-	11,6	4,9	-	-	-
Jail vd. (2010)	180,0	81,3	-	4,4	120,0	83,7	-
Jarboui vd. (2008)	110,0	24,0	11,5	4,9	53,5	11,6	4,0
Jarboui vd. (2010)	85,0	24,0	12,4	4,9	-	7,0	-
Oktav ve Şengül (2003)	92,0	-	-	4,5	-	10,5	3,2

2.5. Karasu Giderme Yöntemleri

Zeytin karasu atıkları çevresel açıdan birincil öneme sahiptir. Bu atıklar hem geri kazanılacak bir kaynak hem de arıtılacak bir atık olarak düşünülebilir. Zeytinyağı fabrikalarındaki atık sular yüksek organik maddeye, askıda katı maddelere ve lipit içeriğine sahiptir ve yüksek akış hızlarında üretilir. Birçok bilim adamı verimli ve uygun maliyetli geri dönüşüm alternatifleri üzerinde çalışmaktadır. Bu doğrultuda, kimyasal, mekanik,

fiziksel, biyolojik ve termal yöntemler dâhil olmak üzere çeşitli alternatifler ve bunların kombinasyonları test edilmiştir [9].

2.5.1. Biyolojik yöntemler

Aerobik biyolojik arıtma

Aerobik biyolojik prosesler oksijen varlığında gerçekleşir. Oksijen varlığındaki aerobik mikroorganizmalar kirlilikleri okside ederek parçalarlar. Organizmalar kirlilikleri kullanarak biyokütle ve çamur gibi yeni hücreler üretirler [1].

Aerobik süreçler, atık konsantrasyonu nispeten düşüğe verimli bir şekilde çalışabilir (Örneğin, 1 g KOİ/litre). Daha yüksek konsantrasyonlar, yalnızca tesis uzun bir hidrolik tutma süresine sahipse veya yüksek geri dönüşüm oranıyla çalışıyorsa tolere edilebilir. Her iki olasılıkta bir arıtma tesisi için ekonomik değildir. Ayrıca, konsantre atık suların aerobik arıtımı, sistemden uzaklaştırılması gereken çok miktarda aşırı ikincil çamur üretir. Son olarak, polifenoller ve lipitler gibi kirlitici maddelerin gerekli temizleme verimliliğine ulaşmak için aerobik işlemlerin kullanılması çok zordur. Yukarıdaki tüm nedenlerden dolayı, aerobik süreçler zeytin karasuyunun doğrudan ve etkili geri dönüşümü için uygun değildir. Kullanılan ana tedavi sürecinin etkinliğini arttırmak için ön işlem veya son işlem adımları olarak kullanılabilirler [13].

Anaerobik biyolojik arıtma

Anaerobik süreçler çoğunlukla bakteriler tarafından yönlendirilir ve üç ana aşamaya sahiptir. İlk aşamada, anaerobik bakteriler polisakkaritler ve polifenoller gibi karmaşık organik bileşiklerini monomerlerine hidrolize eder (sırasıyla basit şekerler ve fenoller). Bu moleküller, işlemin ikinci aşaması sırasında asetojenik bakteriler tarafından asetik, laktik ve formik asitler ve alkol gibi organik asitlere dönüştürülür. Son aşamada, pH ve sıcaklık değişikliklerine duyarlılıkları ile karakterize edilen metanojenik bakteriler, organik asitleri biyogaza dönüştürür (% 60-80 metan ve esas olarak karbon dioksit gibi diğer gazların bir karışımı) [13].

Anaerobik arıtım teknolojileri, KOİ derişimi 1500 mg/L'den daha büyük olan atık suların arıtımında kullanılması, aerobik arıtıma göre 20 kat daha az atık çamur oluşturmaları, proses sırasında açığa çıkan gazların kullanılabilmesi ve az yer işgal etmesi nedeni ile günümüzde sıkça kullanılmaktadır. Fakat zeytinyağı üretimi atık sularının arıtımında kullanılan anaerobik reaktörler sadece pilot ölçeklidir, gerçek uygulaması yoktur [1].

Çizelge 2.7. Karasuyun ön arıtma ve biyolojik arıtma yöntemleriyle arıtımı [14]

Uygulanan Yöntemler	Verim	Açıklama	Referans
Fiziksel Ön Arıtma+Anaerobik Arıtma	UF prosesiyle % 99,9 oleik asit, % 60,2 polifenol ve % 65 KOİ giderimi sağlanmıştır. Ön+Anaerobik arıtmada, % 64,4-85 KOİ giderilmiştir.	Sedimentasyon, santrifüj, filtrasyon, Ultrafiltrasyon prosesleri denenmiştir.	Beccari ve diğ., 1999
Ozonlama, Aerobik Arıtma, Aerobik Arıtma+Ozonlama, Ozonlama+Aerobik Arıtma	Ozonlama ile % 28 KOİ giderimi, aerobik arıtma ile % 88 KOİ giderimi gerçekleştirilmiştir.	İki prosesin birleşik uygulaması sonucu % 82 KOİ giderimi sağlanmıştır.	Benitez ve diğ., 1999
H ₂ O ₂ /UV, Fenton prosesi Foto-Fenton prosesi, Anaerobik Arıtma	İleri oksidasyon prosesleriyle % 80-90 KOİ giderimi elde edilmiştir.	% 90 KOİ biyolojik arıtma ile giderilmiştir.	Benitez ve diğ., 2001
Kimyasal Oksidasyon+ Aerobik Arıtma	Aerobik biyolojik arıtma ile % 70 KOİ ve % 90 fenol giderimi sağlanmıştır.	Kimyasal oksidasyon olarak Fenton ve ozonlama kullanılmıştır.	Beltrán Heredia ve diğ., 2001
Oksidasyon+Aerobik Arıtma	Kimyasal arıtma ile % 80-90, biyolojik arıtma ile % 90 KOİ giderme verimi elde edilmiştir.	Katalitik oksidasyon ve biyolojik arıtmayı araştırmışlardır.	Bressan ve diğ., 2004
Kimyasal Oksidasyon+ Aerobik Arıtma	% 41 ve % 85 toplam ve basit fenol, % 70 oranında KOİ giderimi elde edilmiştir.	Biyolojik arıtmada Aspergillus niger bakterisi kullanılmıştır.	Kotsou ve diğ., 2004
İleri Oksidasyon+ Aerobik Arıtma	% 60 fenol ve % 23 KOİ Fenton prosesiyle, % 86 KOİ ve % 70 fenol aerobik arıtma ile giderilmiştir	Fenton prosesi ve biyolojik arıtma ile karasuyun arıtılabilirliği araştırılmıştır.	Bettazzi ve diğ., 2006

Çizelge 2.8. (devam) Karasuyun ön arıtma ve biyolojik arıtma yöntemleriyle arıtımı [14]

Elektro-Fenton+ Sedimentasyon+ Anaerobik Arıtma	Elektro-Fenton+sedimentasyon ile % 53 KOİ, % 77 AKM, % 78 polifenol, % 92 yağ giderimi sağlanmıştır.	Toksisitenin ön arıtma ile azaltılmasıyla biyolojik arıtmanın performansı arttırılmıştır.	Khoufi ve diğ., 2006
Fizikoelektrokimyasal Arıtma+ Anaerobik Arıtma	Elektrokimyasal arıtma ile KOİ % 43, renk % 90, fenol % 76, bulanıklık % 75, AKM % 71 oranında giderilmiştir.	Anaerobik arıtma ile % 70 KOİ giderimi elde edilmiştir.	Khoufi ve diğ., 2007
Plazma Teknolojisi Destekli Arıtma	Plazma ile arıtmada, KOİ ve BOİ oranları sırasıyla % 94,42 ve % 95,37 azalmıştır. Çözünmüş oksijen miktarı 0,36'dan 6,97 mg / l'ye çıkarılmıştır.	Sonuçlar, 2600°C'de bir plazma torçu ile çalışarak karbon monoksit (% 48 hacim) ve hidrojen (% 46 hacim) ve cam benzeri cüruf içeren yüksek kalorifik değere sahip bir sentez gazı üretmenin mümkün olduğunu gösterdi.	İbrahimoğlu ve Yılmazoğlu 2018

2.5.2. Fizikokimyasal prosesler ve ileri arıtma yöntemleri

Nötralizasyon ve flokülasyon

Bu süreçler, karasuyun askıya alınmış ve koloidal maddesinin dengesini bozmak ve atıklardan kolayca çıkarılabilen çözünmez bir katı oluşturmak için ilave kimyasalların kullanılmasını içerir. Yağ, askıda katı maddeler, KOİ ve BOİ bu şekilde azalır. Bu kolloidlerin dengesizleştirilmesi, pH'nın düşürülmesi veya arttırılması (nötralizasyon) veya bir çökelti indüklemeye ajanı (çökeltme = flokülasyon) ilavesiyle elde edilebilir [13].

Zeytin atık sularının kimyasal arıtma çalışmalarında, ferrik klorür, alüminyum klorür, demir sülfat, kalsiyum hidroksit gibi farklı pıhtılaştırıcılar ve bunların kombinasyonları, bazen farklı anyonik polielektrolitler ve sülfürik asit ilave edilerek yapılır. Bu kimyasal arıtma çalışmalarında yaklaşık % 50-90 oranında KOİ ve askıda katı madde giderme verimi elde edilebilmektedir [9].

Buharlaştırma-hidroliz-oksidasyon

Bu yöntemde, buharlaştırma ile bir ön konsantre etme aşamasının ardından, kontrollü ısı girdisi altında hidroliz ve daha sonra hava ile oksidasyon gerçekleşir. Bu sürecin adımları aşağıdaki gibidir [9];

- Kâğıt hamuru yağı üretiminde ve yakıt üretiminde kullanılmak üzere çamurun uzaklaştırılması.
- Artık yağ asitlerinin bir seramik ultrafiltrasyon membranı vasıtasıyla mümkün olduğu kadar uzaklaştırılması.
- Fitotoksik etkileri olan maddelerin atık sudan uzaklaştırılması.
- Endüstriyel yağların üretiminde veya yakıt olarak kullanılabilecek malzemelerin geri kazanımı.
- Zeytinyağı atık sularının toplanması ve taşınması ve gerekirse elde edilen suyun daha fazla arıtılması.

Bu yöntem prototip geliştirme aşamasındadır. Yıllık ortalama 1400 ton zeytinyağı üretimi yapan Yunanistan'daki bir zeytinyağı atık sularını işleyen pilot tesisin sermaye yatırımı

yıllık yaklaşık 1 milyon Euro, işletme maliyeti ise yaklaşık 14 milyon Euro olarak verildi. Bu nedenle ilk yatırım maliyeti oldukça yüksektir.

Çizelge 2.9. Farklı oksidasyon yöntemlerinde oluşan KOİ giderim verimleri [15]

Oksidasyon Yöntemi	KOİ Giderim Verimi (%)
Hava ile Oksidasyon	33
Katalitik Havalandırma	44
KMnO ₄ ile Oksidasyon	56
HOCl ile Oksidasyon	45
H ₂ O ₂ ile Oksidasyon	41
Fenton ile Oksidasyon	70

Membran ile arıtma

Karasuyun arıtımında, kaba filtrasyondan sonra membran filtrasyon yöntemi (ters osmoz veya ultrafiltrasyon) kullanılabilir. Membran filtrasyonda atık su iki faza ayrılır. Kimyasal/fiziksel yöntemler kullanılarak ön arıtmadan geçirilmiş karasu, membran filtrasyon ünitesinden geçirildikten sonra, permeat (arıtılmış su) ve çamur (konsentrat veya retentat) fazlarına ayrılmaktadır. Çamur, yakma tesisinde yakılır veya taş ocaklarında dolgu maddesi olarak kullanılabilir [16].

Elektroliz

Bu yöntem, bir Ti/Pt anodu ve paslanmaz çelik 304 katot kullanılarak bir elektroliz hücresindeki organikleri karbon dioksit ve suya oksitleyebilen güçlü oksitleyici hidroksil radikallerinin yerinde üretilmesine dayanmaktadır. Toplam kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), toplam organik karbon (TOK), uçucu süspansiyona alınmış katı maddeler (VSS) ve fenolik bileşiklerin azalmasının araştırıldığı bir seri laboratuvar ölçekli pilot tesisinde birkaç deney gerçekleştirilmiştir [9].

Adsorpsiyon yöntemi

Adsorpsiyon bir ara yüzey üzerinde çözeltide çözünmüş olan maddelerin toplanması işlemidir. Günümüzde yüzey yapılarına, kimyasal özelliklerine, göre farklı adsorbanlar

kullanılmaktadır. En yaygınları aktif karbon olmakla beraber, doğal zeolit, bentonit, kil, montmorillonittir [14].

Çizelge 2.10. Karasuyun ön arıtma ve ileri arıtma yöntemleriyle arıtımı [14]

Uygulanan Yöntemler	Verim	Açıklama	Referans
Kimyasal Arıtma+ Fenton Prosesi	Asitle parçalama ile % 38 KOİ giderimi, kireç ile % 13 KOİ giderimi sağlanmıştır. % 70 KOİ giderimi $H_2O_2/FeSO_4=0,5$ mg/L dozunda Fenton prosesiyle elde edilmiştir.	Kimyasal arıtma işlemlerinden asitle parçalamada pH=2'de, kireçle koagülasyonda pH= 10'da çalışılmıştır.	Oktav ve diğ., 2003
Ultrafiltrasyon+UV/ H_2O_2	UF prosesiyle % 94 KOİ giderimi, UF+UV/ H_2O_2 prosesi ile KOİ değeri 52 mg/L'ye ve TOK değeri 17 mg/L'ye indirilmiştir.	UV/ H_2O_2 prosesi 190-350 nm'de, 100 mmol dm ⁻³ H_2O_2 dozunda denenmiştir.	Drouiche ve diğ., 2004
Kimyasal Koagülasyon+ Çökelme+ Fenton Oksidasyonu	Fenton prosesiyle % 60 KOİ, % 40 BOİ ve % 100 fenol giderimi elde edilmiştir.	pH=2.5'da 120 dak. KOİ 80250 mg/L'den 30000 mg/L'ye indirilmiştir.	Vlyssides ve diğ., 2004
Santrifüj+Çöktürme+ Filtrasyon+ Adsorpsiyon	% 83 KOİ, % 94 fenol giderimleri adsorpsiyon ile elde edilmiştir.	Adsorpsiyonda 24 g/L aktif karbon kullanılarak 4 saatten daha az deneme yapılmıştır.	Azzam ve diğ., 2004
Fizikokimyasal Arıtma+ İleri Oksidasyon Prosesleri	Asitle parçalama ile % 38 KOİ, Kimyasal arıtmada % 95 KOİ, ileri oksidasyonun iki yönteminde de pH=2-9'da $H_2O_2=500$ mg/L dozunda % 99 KOİ giderimi sağlanmıştır.	Fizikokimyasal arıtmada asitle parçalama ve kimyasal koagülasyon yapılmıştır. İleri oksidasyon prosesinde H_2O_2/UV ve O_3/UV denenmiştir.	Kestioğlu ve diğ., 2005

Çizelge 2.9. (devam) Karasuyun ön arıtma ve ileri arıtma yöntemleriyle arıtımı [14]

Kimyasal Arıtma+ Fenton Prosesi	Kimyasal arıtmada % 40 KOİ, % 80 fenol giderilmiş, % 60 KOİ giderimi Fentonla sağlanmıştır.	Kimyasal arıtmada kireç, demir, magnezyum ve alüminyum tuzları ve anyonik, katyonik polielektrolit kullanılmıştır.	Ginos ve diğ., 2006
Fiziksel ve Kimyasal Arıtma+ Mikrofiltrasyon	Fiziksel arıtmada % 35 KOİ, kimyasal arıtmada % 49 KOİ, fiz. arıtma+MF ile % 48 KOİ, kim.arıtma+MF % 74 KOİ giderimi elde edilmiştir.	Fiziksel ve kimyasal arıtmalardan sonra ayrı ayrı MF prosesi uygulanmış ve en iyi verim kimyasal arıtmadan sonra uygulanan MF prosesinden sağlanmıştır.	Oktav Akdemir ve Özer, 2006
Fiziksel Arıtma+İleri Oksidasyon Prosesleri	Kireç ile koagülasyon sonucu fenol % 37, KOİ % 26 giderilmiş, ozonlama ile % 91 fenol, % 19 KOİ giderilmiş ve Fenton prosesi ile % 60 KOİ giderilmiştir.	Karasuyun arıtımında ozonlama, Fenton prosesi ve kireçle koagülasyonun uygulanabilirliği araştırılmıştır.	Bettazzi ve diğ., 2007
Asitle parçalama+ Kimyasal Arıtma+ Fenton Prosesi	Asitle parçalama+kimyasal arıtma ile % 73 KOİ, Fenton prosesi ile pH=3'de Fe+2/H ₂ O ₂ =1 oranında % 89 KOİ giderimi elde edilmiştir.	Kimyasal arıtmada 5 ppm anyonik ve 10 ppm katyonik polielektrolit kullanılmıştır. Katyonik polielektrolit kullanılan suya Fenton prosesi uygulanmıştır.	Gömeç ve diğ., 2007
Kireçle Çökeltme+ Filtrasyon+ Adsorpsiyon	Kireçle çökeltme ile % 71 fenol, % 39 KOİ, % 88 BOİ giderimi, adsorpsiyon prosesiyle toplam organiklerin ve fenollerin giderimleri sırasıyla % 99,7 ve % 80'dir.	Karasuyu arıtmak için kireçle çökeltme, membran ve aktif karbon ile adsorpsiyon prosesleri araştırılmıştır.	El Shafey ve diğ., 2007

Çizelge 2.9. (devam) Karasuyun ön arıtma ve ileri arıtma yöntemleriyle arıtımı [14]

Koagülasyon+Süzme+Filtrasyon+ Adsorpsiyon	pH=5'te, T=32°C'de, 6 saatlik UV ışınları altında, 2.75 g H ₂ O ₂ /g KOİ/L şartlarında % 95 renk ve % 90 KOİ giderimi sağlanmıştır.	UV ışınları altında H ₂ O ₂ 'nin bozunmasıyla oluşan hidroksil radikalleri, karasudaki organik maddeleri gidermede başarılı olmuştur.	Bedoui ve diğ., 2008
Koagülasyon+İleri Oksidasyon	Koagülasyonda, pH=4,3 ve 400 mg/L çitosan dozunda TAKM'de % 81, Fenton prosesiyle 2 saatte % 85 KOİ, foto-Fenton prosesiyle 1 saatte % 95 KOİ giderimi elde edilmiştir.	Koagülant olarak çitosan kullanılmıştır. İleri oksidasyon proseslerinde fotokataliz, Fenton ve foto-Fentonu denemişlerdir.	Rizzo ve diğ., 2008
Elektrokimyasal oksidasyon	% 30 KOİ giderimi, % 100 renk ve fenol giderimi elde edilmiştir.	T=80 °C'ta, Ti/IrO ₂ anod ve 5 mM NaCl kullanılmıştır.	Chatzisyneon ve diğ., 2009

2.5.3. Termal prosesler

Bu kategoride bulunan yöntemlerin ortak noktaları, karasu gideriminin insan yapımı bir ısı kaynağı veya doğal bir termal enerji kaynağı (hava, güneş) ile elde edilmesidir. En önemli termal işlemler buharlaşma, damıtma, lagünleme (doğal buharlaşma), yanma ve pirolizdir [13].

Lagünlerde doğal yolla buharlaştırma

Buharlaşma havuzlarında veya depolama göllerinde (lagünler) doğal yollarla karasuyun doğal buharlaşması çok daha düşük enerji maliyetlerine sahiptir ve uygulaması basit bir prosedürdür. Bu yöntem kullanılan ilk işlemlerden biridir ve % 20-30 ila % 75-80 arasında KOİ giderimi sağladığı bilinmektedir [13].

Atıkların, lagünlerde 7-8 aylık bir ikamet süresi vardır ve bu yöntem için geniş arazi yüzey alanları gereklidir (her 2,5 m³ karasu için yaklaşık 1 m³). Lagünün tabanı sızmaya uygun şekilde kaplanmamışsa, lagünlerde oluşan atığın anaerobik fermantasyonu gerçekleşir ve yeraltı suyu kirliliği olasılığı da dahil olmak üzere çeşitli ekolojik endişeler ortaya çıkabilir. Bu lagünler, böcek ve koku rahatsızlıklarından kaçınmak için konutlardan yeterince uzakta olmalıdır [13].



Şekil 2.15. Zeytin karasuyu buharlaştırma lagünleri

Portekiz'de yapılan bir çalışmada, katı ve sıvı fazları ayırmak için 30° eğimli plakalardan oluşan vakum buharlaştırma panelleri bir lagüne sabitlenmiştir. Sıvı faz buharlaştırılırken katı faz plakalar üzerinde kaldı ve gübre olarak kullanılmak üzere çıkarılmıştır [9].

Vakumlu buharlaştırma

Karasu arıtımında, 1997 yılında İtalya' da yapılan bir çalışmada, vakumlu buharlaştırma yöntemi uygulanmıştır. Bu çalışma vakumlu evaporatörde, 5 kPa vakum altında, 380 °C sıcaklıkta, gerçekleştirilmiştir [16].

Distilasyon verimi yaklaşık % 90'dır. Depolama tankına gönderilen renksiz distilatın kimyasal oksijen ihtiyacı 3000–4000 mg/L olup, yüksek kirlilik yükü, karasuyun içerdiği seker ve uçucu organik kısmın fermantasyonundan oluşan alkol ürünlerinden kaynaklanmaktadır [16].

Çizelge 2.11. Karasuyun vakumlu buharlaştırma ile arıtılabilirliği analiz sonuçları (Led Italia Raporu, 1997) [16]

Parametre	Ham karasu	Distilat
pH	4,1	3,4
Renk	Kırmızı	Renksiz
Koku	Karakteristik	Tipik
Yoğunluk (g/mL)	1,060	-
İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	85300	220
1050C'deki sabit katı (%)	9,3	
6000C'deki sabit katı (%)	6,8	
Askıda Katı Madde (mg/L)	1550	
Çökebilir Katı Madde (mL/L)	<0,1	
KOİ (mg/L)	32800	3900
Toplam Azot (mg/L)	26	<0,5
Yağ Gres (mg/L)	70	1,0
Anyonik Yüzey Aktif maddeler (mg/L)	<2	
Anyonik olmayan yüzey aktif maddeler (mg/L)	<3	
Toplam yüzey aktif maddeler (mg/L)	<5	

Evaporatörlerde genellikle iki akım oluşmaktadır. Bunlar; Distilat (sürekli üretilmektedir) ve konsantre kısım (otomatik olarak, kesikli deşarj). Distilasyon verimi yaklaşık % 90'dır. Distilat, depolama tankına gönderilmektedir. Distilatın KOİ değeri 3000-4000 mg/L olup, renksiz bir sıvıdır. Bu yüksek kirlilik yükü, karasuyun içerdiği şeker ve uçucu organik kısmın fermantasyonundan oluşan alkol ürünlerinden kaynaklanmaktadır. Distilasyon işleminden sonra, C:N:P oranının (azot ve fosfor eklenmesiyle) ayarlanması ve ayrıca pH kontrolü sonrasında biyolojik arıtım gerekmektedir. Böylece, arıtılmış su deşarj standartlarını sağlayacaktır. Evaporatörden çıkan konsantre kısım, sulu formdadır ve bu kısım, pirina ile veya santrifüj seperatörden çıkan çamur ile karıştırılarak, içeriğindeki yağın geri kazanılabilmesi için, tesisin başına gönderilebilir [16].

Distilasyon

Distilasyon ve buharlaştırma prosesinde karasuyun içerdiği su buharlaştırılarak, organik ve inorganik madde içeriği arttırılmaktadır. Bu yöntemin uygulanması ile ilgili olarak ilk problem, konsantre hale getirilmiş olan katı kısmın bertarafıdır. Katı kısmın, hayvan yemi katkısı olarak kullanılması, yüksek potasyum içermesi nedeniyle kısıtlanmıştır. Ayrıca katı

kısım distilasyona enerji sağlamak için yakıt olarak da kullanılabilir. Fakat yakma sırasında çıkacak gaz emisyonları, hava kirliliği yaratabilir [15].

Bu işlemlerin ana dezavantajı, üretilen emisyonların arıtma ve bertarafı ile ilgilidir. Distilat, su ile birlikte uçucu bileşiklerin (alkoller ve uçucu asitler) bir kısmını içerir. Bu bileşikler, distilatı çok asidik (pH 4-4,5), yüksek BOİ (> 4 g/litre) ve KOİ (> 3 g/litre) değerleri ile boşaltmadan veya yeniden kullanmadan önce ek bir işlem gereksinimine tabi tutar. Tüm bu süreçler, gerekli olan büyük enerji tüketimi ve korozyona dayanıklı malzemelerden yapılması gereken ekipman maliyetleri nedeniyle son derece yüksek maliyetlere sahiptir [13].

Piroliz

Piroliz, karbonlu malzemenin havasız ortamda, ısı yardımıyla termal parçalanması olarak tanımlanabilir. Piroliz sırasında ortamdaki gazların bileşimi, biokütlenin özellikleri ve bileşimleri gibi parametrelere bağlıdır. Karasu uygulamasında piroliz temel olarak, yoğun karasu çözeltisini bozundurmak için kullanılmaktadır. Karasuyun buharlaşma sonrası elde edilen yoğun çözeltisinde piroliz denemeleri yapılmıştır. Ürün ile oluşan gazların, yağ ve karbonlu kalıntı maddenin özellikleri incelenmiştir. Karasu, pirolizi öncesinde kurutma gibi maliyetli bir ön işlem gerektirdiğinden, piroliz işlemi için uygun bir biyokütle değildir [16].

3. GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ VE KULLANIM ALANLARI

Dünya yüzeyinden yaklaşık 160 km uzaklıkta atmosferin üst sınırında güneş ışınlarının gelişine dik bir yüzeye gelen ortalama güneş enerjisi yoğunluğu yani güneş sabiti yaklaşık 1.37 kW/m^2 'dir. Güneş enerjisinden en iyi yararlanan bölge ekvatorun 35° kuzey ve güney enlemleri arasında yer alan kısmıdır. Bu bölge 'Dünya Güneş Kuşağı' olarak adlandırılır. 1 yılda 2000-3500 saat güneş alır ve güneş potansiyeli $3,5\text{-}7 \text{ kWh/m}^2/\text{gün}$ arasında değişir. Dünya üzerindeki ortalama yıllık güneş radyasyonu miktarı kurak bölgelerde 2000-2500 kWh/m^2 ve daha üst enlemlerde ise 1000-1500 kWh/m^2 arasında değişir [17].

Çizelge 3.1. Güneş radyasyon miktarı [17]

Bölge	kWh/m^2
Kuzey Avrupa	800
Orta Avrupa	1000
Akdeniz Bölgesi	1700
Ekvator	2200

Türkiye'nin toprakları $36^\circ\text{-}42^\circ$ Kuzey paralelleri ve $26^\circ\text{-}45^\circ$ Doğu meridyenleri arasında yer alır. Göller ve adalar dâhil kapladığı gerçek alan 814.578 km^2 'dir. İz düşüm alanı ise 783.562 km^2 'dir. Türkiye bu coğrafi konumu nedeniyle güneş enerjisi potansiyeli olarak çok avantajlı konumdadır [18].

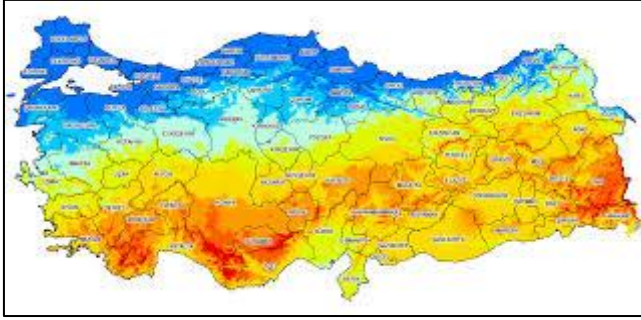
Çizelge 3.2. Türkiye'nin toplam kurulu güç büyüklükleri [18]

Kurulu Güç (28.02.2019 itibariyle)	
Birincil Kaynak Türü	Kurulu Güç (MW)
Akarsu	7 839.10
Asfaltit Kömür	405
Atık Isı	323
Baraj	20 538
Biyokütle	659
Doğalgaz	25 623.80
Fuel Oil	487.20
Güneş	5 238.80
İthal Kömür	8 938.90
Jeotermal	1 302.50
Linyit	9 842
LNG	2
Motorin	1
Nafta	4.70
Rüzgâr	7 031.10
Taş Kömürü	810.80
TOPLAM	89 046.90

Türkiye, coğrafi konumu itibariyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Türkiye ısısal güneş enerjisi üretimi ve kullanımı açısından Çin, ABD ve Japonya'dan sonra dünya dördüncüsü durumundadır [19].

Çizelge 3.3. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [19]

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² – yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)
G.Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971



Şekil 3.1. Türkiye'nin güneş atlası

Şekil 3.1.'den de anlaşılacağı üzere Türkiye'nin Ege ve Akdeniz Bölgesi güneş enerjisi bakımından oldukça zengindir. Zeytin üretimine bakıldığında da en yaygın bölgelerin yine Ege ve Akdeniz Bölgesi olduğu görülmektedir (Şekil 3.1.). Bu nedenle atık suların arıtımında güneş enerji kaynaklı sistemlerin kullanılması ekonomik ve sürdürülebilir olacaktır.

3.1. Termal Güneş Enerji Sistemleri

Güneş kolektörleri ve termal enerji depolama bileşenleri, güneş enerjisi termal uygulamalarındaki iki çekirdek alt sistemdir. Güneş kolektörlerinin iyi optik performansa sahip olmaları gerekirken, termal depolama alt sistemleri yüksek termal depolama yoğunluğu ve mükemmel ısı transfer oranı gerektirir. Güneş kolektörlerinin olabildiğince fazla emilime sahip olması gerekir. Depolama sisteminin küçük hacimli olması ısıyı gerekli hızda emilebilmesi için önemlidir. Bu sistemler uzun vadeli, inşaat maliyeti düşük ve dayanıklı sistemlerdir.

Güneş enerjisi termal uygulamalarında, güneş ışınımı bir güneş kolektörü tarafından ısı olarak emilir ve daha sonra çalışma sıvısına (hava, su veya yağ) aktarılır. Çalışma sıvısı tarafından taşınan ısı, kullanım sıcak suyu/ısıtma sağlamak veya ısının daha sonra kullanılmak üzere (gece veya bulutlu günlerde) çekilebileceği bir termal enerji depolama tankını şarj etmek için kullanılabilir.

PV uygulamalarda, bir PV modülü güneş ışınımını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmekle kalmaz (genellikle oldukça düşük verimlilikle), aynı zamanda PV kartını

taşıyıcı ile doldurulmuş reküperasyon tüplerine takarak termal kullanım için geri kazanılabilen bol miktarda atık ısı üretir.

Güneş kolektörleri genellikle konsantrasyon oranlarına göre iki kategoriye ayrılır. Bunlar, konsantre olmayan kolektörler ve konsantre kolektörlerdir. Konsantre olmayan bir kolektör, emici alanıyla aynı yüzey alana sahipken, güneş takipli yoğunlaştırıcı bir güneş kolektörü genellikle güneş ışınımını çok daha küçük bir alma alanına keser ve ışınımı odaklamak için içbükey yansıtıcı yüzeylere sahiptir. Böylece daha fazla ısı akısına neden olur. Konsantre kolektörler (genellikle güneş izleme teknikleri ile donatılmıştır), konsantre olmayan kolektörlerden çok daha yüksek konsantrasyon oranına sahiptir. Daha yüksek çalışma sıvıları sıcaklıklarına ulaşabilirler, yani daha yüksek bir termodinamik verimlilik elde etmek mümkündür.

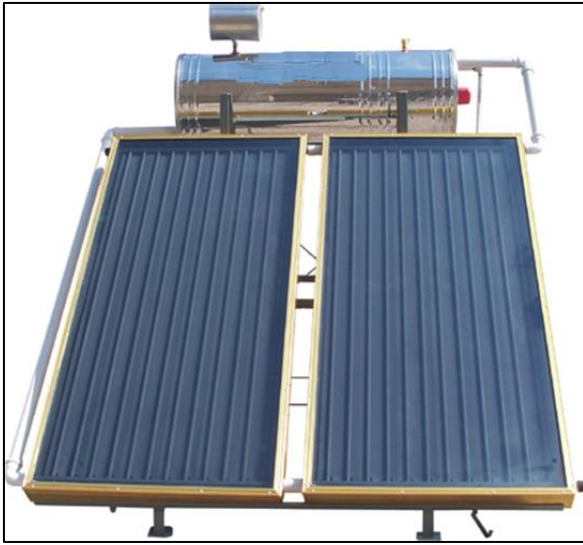
3.1.1. Yoğunlaştırıcı olmayan kolektörler

Düz plaka kolektörler

Düz plaka güneş kolektörleri genellikle kalıcı olarak sabitlenir ve bu nedenle uygun şekilde yönlendirilmesi gerekir. Tipik bir düz plaka güneş kolektörü genellikle cam kaplamalar, emici plakalar, yalıtım katmanları, geri kazanım tüpleri (ısı transfer sıvılarıyla dolu) ve diğer yardımcılarından oluşur. Cam kaplama, tek veya çoklu cam levhalardan veya kısa dalga radyasyonunun yüksek geçirgenliği ve uzun dalga radyasyonunun düşük geçirgenliği olan diğer malzemelerden yapılır. Sadece emici plakadan kaynaklanan konveksiyon kayıplarını azaltmakla kalmaz, aynı zamanda sera etkisi nedeniyle toplayıcıdan gelen ışınlama kayıplarını da azaltır. Düşük demir oranına sahip olan cam, güneş radyasyonu için nispeten yüksek geçirgenliği (yaklaşık 0.85-0.87) ve uzun dalga termal radyasyonu nedeniyle arzu edilen bir malzeme olarak kabul edilir.

Emici plaka, mümkün olduğunca fazla ısıyı emmek için genellikle karartılmış yüzeyle kaplanır. Arzu edilen seçici yüzeyler genellikle kısa dalga güneş radyasyonuna karşı oldukça emici olan ancak uzun dalga termal radyasyona nispeten şeffaf olan ince bir üst tabaka ve uzun dalga radyasyonu için yüksek yansıtma ve düşük emisyonu sahip ince bir alt tabakadan oluşur. Arzu edilen bir optik performansa sahip bu tür seçici yüzeyler genellikle yüksek bir imalat maliyetine sahiptir, ancak literatürde birkaç düşük maliyetli imalat fikri de

önerilmiştir. Bir plaka kolektörünün termal performansını daha da artırmak için, emiciden ısı kaybının da azaltılması gerekir. Yapılan çalışmalarda, şeffaf malzemeden yapılmış ve cam ile emici arasındaki hava boşluğuna yerleştirilen bir petek yerleştirmenin ısı kaybının azaltılmasında faydalı olduğu bulundu. Emici plaka tarafından emilen ısı, sistemin aşırı ısınmasını önlemek için hızlı bir şekilde çalışma sıvılarına aktarılması gerekir. Güneş kolektörlerinde mükemmel ısı transfer performansı gereklidir.



Şekil 3.2. Düz plaka güneş kolektörü

Ackermann ve arkadaşları (1995), iç kanatçıkların güneş kolektör panelleri üzerindeki etkilerini hesaplayarak, ısı transfer performansının kanatçıklar tarafından artırıldığı sonucuna varmış ve kanat yüzeyinin azaltılması ve kanat malzemelerinin termal iletkenliklerinin artırılmasıyla daha da geliştirilebileceği sonucuna varmışlardır [20].

Saha ve Mahanta (2001), düz plakalı güneş kolektörlerinin termodinamik optimizasyonunu araştırdılar ve modellerinde entropi üretimini etkileyen tüm faktörleri en aza indirmeye odaklandılar. Çalışmaları, optimum bir çalışma rejiminin var olduğunu gösterdi [21].

Hellstrom ve arkadaşları (2003), optik ve termal özelliklerin düz plaka güneş kolektörlerinin performansı üzerindeki etkisini incelemiş ve ikinci cam olarak bir teflon film eklemenin, konveksiyonu azaltmak için bir teflon petek takarken toplam performansı 50°C'de % 5,6 arttırdığını bulmuştur. Isı kaybı genel performansını % 12,1 artırmışlardır. Ayrıca, cam örtüsünün yansıma önleme işlemi, 50°C çalışma sıcaklığında çıkışı % 6,5 artırmışlardır [22].

Ho ve arkadaşları (2005), güneş alıcısı için çift geçişli bir yapı kullandılar ve daha iyi bir ısı transfer oranı elde ettiler [23].

Lambert ve arkadaşları (2006), salınlı akışın, güneş kolektörlerindeki çalışma akışkanlarının termal yayılmalarını artırarak ısı transferini önemli ölçüde artırabileceğini bulmuşlardır [24].

Selmi ve arkadaşları (2008), CFD kodlarını kullanarak düz plaka güneş kolektörlerinde, tüp yüzeyi, cam kapak, yan duvarlar ve toplayıcının yalıtım tabanı arasındaki iletim, konveksiyon ve radyasyonun karışık ısı transfer modlarını göz önünde bulundurarak simüle etmiştir. Sonuçları gerçek test verileriyle iyi bir uyum sağlamıştır [25].

Kumar ve Reddy (2009), gözenekli çıkıntılara sahip güneş alıcılarının ısı transferi artışını araştırmış ve önemli bir ısı transferi iyileştirmesi (% 64,3) elde etmişlerdir [26].

Farahat ve arkadaşları (2009), düz levha güneş kolektörleri için kombine enerji ve ekserjinin optimizasyon analizini gerçekleştirdiler. Optik verimliliği ve olay güneş ışığı akısını arttırırken ekserji verimliliğinin arttığı, ancak ortam sıcaklığını ve rüzgâr hızını arttırırken hızla azaldığı sonucuna varmışlardır. Ayrıca sıvı giriş sıcaklığı için en uygun noktayı belirlediler. Ayrıca, boru çapının ekserji verimliliği üzerinde sadece küçük bir etkisi olduğu bulunmuştur [27].

Martinopoulos ve arkadaşları (2010), güneş kolektörlerinde ısı transferini arttırmak için polikarbonat petekler kullandılar. Yüksek termal iletkenliklere ve geniş spesifik yüzey alanına sahip olan metal köpüklerin, birçok araştırmacı tarafından faz değişim malzemeleri (PCM'ler) için ısı transferini önemli ölçüde arttırma yeteneklerine sahip oldukları doğrulanmıştır [28].

Hibrid kolektörler

Hibrid fotovoltaiik/termal (PVT) toplayıcılar, aynı anda güneş enerjisini elektrik ve ısıya dönüştürür. Tipik bir PVT toplayıcı, % 5-20 aralığında pik verimine sahip bir PV modülünden ve PV modülünün arkasına takılan bir emici plakadan (ısı çıkarma cihazı olarak işlev görür) oluşur. Isı çıkarma plakası, PV modülünü daha iyi elektrik performansı için

uygun bir sıcaklığa kadar soğutur ve aynı zamanda atık ısıyı toplar. Bu daha sonra kullanım sıcak suyu üretimi ve adsorpsiyon soğutma sistemleri gibi düşük sıcaklık uygulamaları için kullanılabilir.

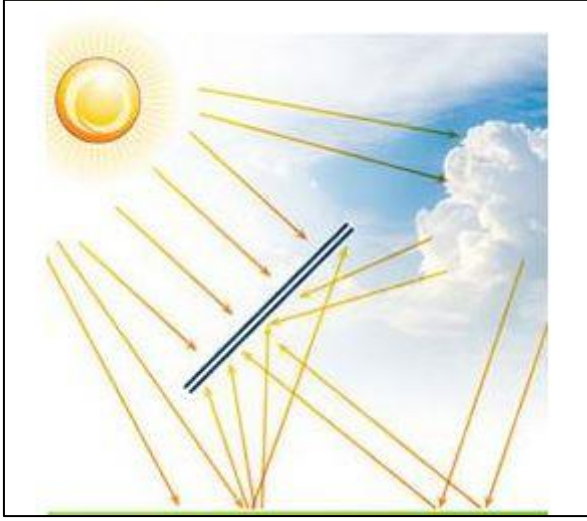
Son zamanlarda PVT kolektörleri üzerine yapılan önemli araştırmaların çoğu, plakalı kolektörler ve tüp boyutları, sıvı akış hızları, tank boyutu ile ilgilidir. Hibrid PVT toplayıcılar ile geleneksel PV sistemler arasında performans karşılaştırmaları da yapılmıştır. Tüm sonuçlar hibrid PVT sistemlerinin potansiyel maliyet faydaları ile daha yüksek enerji dönüşüm verimliliği sağlayabildiğini göstermiştir.



Şekil 3.3. PV-T güneş panelleri

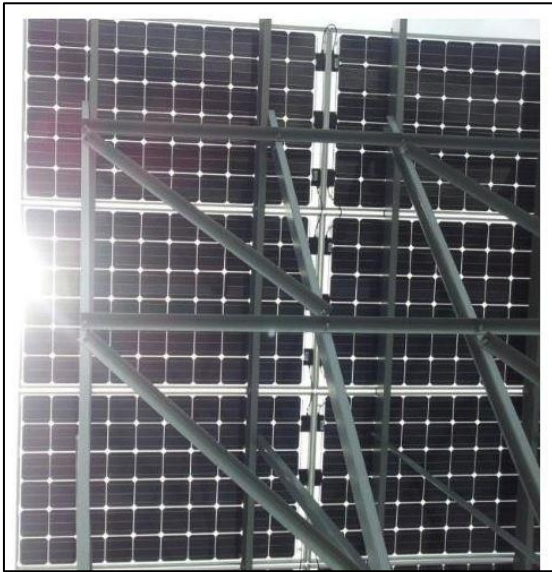
Gelişmiş hibrid PVT toplayıcılar-İki odaklı PVT

Hibrid PVT toplayıcılar, ısı çıkarma ortamı olarak su kullanan ve hava kullananlara sınıflandırılabilir. Su, yüksek ısı kapasitesi ve mükemmel optik özellikleri nedeniyle hibrid PVT toplayıcılarda istenen bir çalışma sıvısıdır.



Şekil 3.4. İki yüzlü bir PV-T modülünün çalışma prensibi

Evsel sıcak su üretmek için atık ısı geri kazanıldığı durumlarda, iki-yüzlü bir PVT modülündeki sistem verimliliği daha da artırılabilir. Daha yüksek verimlilik elde etmek için, ilgili akış geçişi tasarımının ve ısı transfer özelliklerinin optimizasyonunun incelenmesi gerekmektedir. Çift yönlü akış geçişinin çift yönlü PV modülünde sistem verimliliğinin daha da artırılması için kullanılabilir. Çift akışlı geçit, sadece fazla ısıyı daha verimli bir şekilde gidermekle kalmaz, aynı zamanda pompayı sistemde aktif tutarak daha da yüksek bir elektrik çıkışı sağlar. Böyle bir PVT sistemi için en büyük sorun, aşırı soğuk bölgelerde kullanılma zorluğudur. Çünkü donma olayı toplayıcıları kolayca parçalayabilir.



Şekil 3.5. Çift taraflı PV modül

Robles ve arkadaşları (2007), su ile kaplanmış, ısı üretmek için uzun dalga boyu ışınlarını emebilen ve elektrik üretmek için kısa dalga boyu ışınlarını PV modülüne iletebilen iki yüzölçümlü bir PV modülü yaptı. İki odaklı PV modülünün, geleneksel PVT sisteminden yaklaşık % 40 daha fazla elektrik enerjisi ürettiğini ve sistem maliyetinde belirgin bir artış olmadığını gösterdiler [29].

Tina ve arkadaşları (2012), suya batırılmış bir güneş paneli sistemini test ettiler ve 4 cm kalınlığında bir su tabakasının sistemlerindeki optik yansımayı ve termal kaymayı azalttığını, bunun da fotovoltaiik verimliliği % 15 oranında artırdığını buldular. Böyle bir verimlilik artışının iki ilgili nedeni vardır. İlk olarak, su güneş ışığını esasen kızılötesi bölgede emer. İkincisi, su kısa dalga boyu bölgesinde tamamen saydamdır, böylece uzun dalga boyu ışınlama ısı üretmek için su tarafından emilebilir ve kısa dalga boyu ışınlama elektrik üretmek için PV modülleri tarafından kullanılabilir. Diğer araştırmacılar da suyun PV modüllerine doğal bir uyumluluğunu doğrulamışlardır [30].

3.1.2. Yoğunlaştırıcı kolektörler

Heliostat güneş kolektörleri

Merkezi alıcı toplayıcı olarak da adlandırılan heliostat alan toplayıcı, bir dizi düz ayna/heliostattan oluşur. Gün boyunca güneşin konum değişikliği nedeniyle, tüm ayna/heliostat dizisi, gelen güneş ışıklarını ortak bir kuleye yansıtacak şekilde tam olarak yönlendirir. Her bir heliostatın yönü, altazimut izleme teknolojisi ile güçlendirilmiş bir otomatik kontrol sistemi tarafından kontrol edilir. Heliostatları daha yüksek bir toplam optik verimlilik ile yerleştirmek için, optimize edilmiş bir alan düzeni tasarımı gereklidir.

Güneş enerjisini, termal enerjiyi emmek ve suyu yüksek sıcaklık ve yüksek basınçlı buhara (türbin jeneratörlerini çalıştırmak için) ısıtmak için bir buhar jeneratörünün bulunduğu merkezi kuleye verimli bir şekilde yansıtan bir saha düzeni heliostatlar için optimize edilmiş olarak gösterilebilir. Buhar jeneratörünün içindeki ısı transfer sıvısı su/buhar, sıvı sodyum veya erimiş tuzlar (genellikle sodyum nitratlar veya potasyum nitratlar) olabilirken, termal depolama ortamı ezilmiş kaya, erimiş nitrat tuzu ile karıştırılmış yüksek sıcaklıkta sentetik yağ veya sıvı sodyum olabilir.

Isı kaybını azaltmak için, alıcının alanı genellikle mümkün olduğunca minimum olacak şekilde tasarlanmalıdır. Bununla birlikte, alıcı alanının alt limiti, ısı transfer sıvısının aşırı ısınmasını önlemek için, ısı değişim tüplerinin maksimum çalışma sıcaklığı ve ısı transfer sıvısının ısı çıkarma kapasitesi ile belirlenir. Alıcı alanının alt sınırı, daha yüksek sıcaklık toleransı olan tüpler kullanılarak veya daha yüksek ısı giderme kapasitesine sahip ısı transfer sıvısı kullanılarak azaltılabilir. Isı transfer sıvısı, aralarında erimiş tuzların ve sıvı sodyumun buhar ve sentetik yağlardan çok daha yüksek ısı çıkarma kapasitesine sahip olduğu su/buhar, sentetik yağlar, sıvı sodyum ve erimiş tuzları içerir.

Heliostat alanından gelen akı, bir açıklıktan (iç emici yüzey alanının yaklaşık üçte bir ila yarısı), boşluğun duvarlarını oluşturan emici yüzeylere yansıtılır. Açıklık boyutu, alıcıya gelen güneş akısını çok fazla engellemeden konveksiyon ve radyasyon kayıplarını azaltmak için minimize edilmelidir.



Şekil 3.6. Heliostat güneş kolektörleri

Çanak tipi parabolik kolektörler

Parabolik çanak toplayıcılar, güneş enerjisini çanak aynaların ortak odak noktasında bulunan bir alıcıya odaklamak için bir dizi parabolik çanak şeklindeki aynaları kullanır (uydu çanaklarına benzer Şekilde). Alıcıda bulunan ısı transfer sıvısı daha sonra alıcıya bağlı küçük bir motorda elektrik üretmek için arzu edilen çalışma sıcaklıklarına ve basınçlara kadar ısıtılır. Yüksek optik verimlilik, düşük yatırım bütçesi ve merkezi güç kaynağının çok pahalı

olduğu uzak alandaki güç ihtiyaçlarını karşılamak için kolayca ölçeklendirilebilen iyi modülerlik sağlaması, bu sistemlerin başlıca avantajlarındanır.



Şekil 3.7. Çanak tipi parabolik kolektörler

Parabolik güneş kolektörleri

Bu tür toplayıcıların temel bileşeni, her biri simetrik eksenine paralel olan güneş ışığını ortak odak hattına yansıtma yeteneğine sahip bir dizi parabolik aynadır. Odak hattında, toplanan ısıyı absorbe etmek için bir siyah metal alıcı (ısı kaybını azaltmak için bir cam tüp ile kaplanmıştır) yerleştirilir. Parabolik oluk tipi kolektörler, oluk boyutuna bağlı olarak yaklaşık güneş ışığını yoğunlaştırabilir. Odak hattı sıcaklığı 350 °C ila 400 °C kadar yükselebilmektedir. Parabolik oluk toplayıcıları güneşi kuzeyden güneye doğru takip ederek doğu-batı yönünde veya güneşi doğudan batıya doğru takip ederek kuzey-güney yönünde yönlendirilebilir.

Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılar, odak eksenı boyunca yerleştirilmiş emici boru içerisinden geçen akışkan, emilen enerjiyi alarak sıcaklığı yükselir. Parabolik şeklinde tasarlanmış yansıtıcı yüzeyler, güneş ışınımını odak ekseninde yer alan ve eksen boyunca uzanan emici boruya yansıtır. Emici boru üzerine gelen enerji, boru içindeki akışkana verilerek akışkanın sıcaklığı artırılmış olur. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılarıyla yüksek sıcaklıklara çıkılabilir (300 °C'nin üzeri) [31].

Güneş yoğunlaştırıcıları, güneş ışınlarını yoğunlaştırma işini yansıtıcı yüzeylerle yapmaktadır. Yansıtıcı yüzey üzerine düşen güneş ışınlarının bir kısmı yüzey tarafından soğurulur. Dolayısıyla güneş ışınları belirli bir kayıpla yoğunlaştırılmış olur. Yoğunlaştırma yapılan yüzeyin sıcaklığı yükselmektedir. Yüzeyden ısı transfer akışkanına iletim ya da taşınım ile ısı geçişi olmaktadır. Dış yüzeyin sıcaklığı belirli bir süreden sonra çevre ortamın sıcaklığından yüksek olacağından dış yüzeyden çevre ortama taşınım ile ısı geçişi olur. Bu durum sistem için ısı kayıptır [31].

Parabolik oluk toplayıcılar, diğer güneş sistemi türlerine göre çok farklı özelliklere ve avantajlara sahiptir. İlk olarak, oluklu ayna elemanlarının ortak odak hattı boyunca monte edilebileceği şekilde ölçeklenebilirler. İkincisi, sadece iki boyutlu izlemeye ihtiyaç duyarlar (çanak motorlu toplayıcıların üç boyutlu izlemeye ihtiyacı vardır, sistemleri daha karmaşık hale getirir), böylece çanak motorlu toplayıcılardan daha yüksek izleme doğruluğu elde edebilirler.

Parabolik oluk tipi güneş sistemleri, kullanılmakta olan yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri içerisinde en yaygın olanıdır. Dünyada kullanılan güneş enerjisinden elektrik üretim santrallerinin büyük çoğunluğu bu sistemi kullanmaktadır. Güneş kolektörü temel olarak parabol şeklindeki yansıtıcı yüzey, yansıyan ışınların toplandığı odak noktasından geçen emici boru, emici boru üzerini kaplayan cam kılıf ve emici boru içerisinden geçen ısı transfer sıvısından oluşmaktadır [54].

Güneşten ışınlar ilk önce sistemin yansıtıcı yüzeyine gelir. Parabol şeklindeki bu yüzey ışınları parabolün odak noktasında bulunan ve eksen boyunca uzayan toplayıcı kısımdaki emici boruya yoğunlaştırır. Bu işlem sonunda sıcaklığı yükselen emici borudan, emici boru içinden geçen ısı transfer akışkanına ısı transferiyle enerji aktarımı olarak akışkanın sıcaklığı yükseltilir. Sistemin amacı gelen güneş ışınlarını en az kayıpla odak noktasında toplayarak ısı transfer akışkanını ısıtmaktır. Bu amaç doğrultusunda sistemde kullanılacak malzemeler ve sistemin tasarımı, sistemin kurulacağı yer ve sistemin çevre ortamla ilişkisi çok önemlidir [54].



Şekil 3.8. Oluk tipi parabolik güneş kolektörü

Eltez (1986) yaptığı çalışmada, sabit yansıtıcı çizgisel odaklı bir kule projesi kapsamında yansıtıcı (odaklayıcı) yüzeyin Şekillendirilmesini araştırmıştır. Güneş azimut ve yükseklik açısındaki günlük değişimleri, kule üzerindeki alıcıya çok fazla hareketli elemana gerek kalmadan yansıtan, böylece çizgisel odaklamaya olanak sağlayan bir uzay yüzeyi üzerindeki ışınlam ile ısı transferinin optik ve geometrik analizini yapmıştır [32].

Prapas ve arkadaşları (1987), ışın takip metotlarıyla parabolik yoğunlaştırıcıların detaylı optik analizini yapmışlardır. Bu tip yoğunlaştırıcıların faydalanabileceği difüz güneş ışımasının yüzdesini belirlemişlerdir [33].

Karaduman (1989), çalışmasında parabolik güneş yoğunlaştırıcısının etkinliğini belirlemek için, pompalı ve doğrudan akışkanı ısıtan sistemle çalışan bir parabolik güneş yoğunlaştırıcısının tasarımı, imali ve performans deneylerini gerçekleştirmiştir. Yoğunlaştırıcıda 145,5 cm uzunluğunda cam kılıflı ve seçici yüzey kaplamalı bir boru, toplayıcı olarak kullanılmıştır. Yansıtıcı parabolik yüzeyin boyu 145,5 cm, eni 114 cm, çevresel uzunluğu 134 cm ve odak uzaklığı 28,5 cm olacak şekilde planlanmıştır. Çalışmada yansıtıcı olarak iki farklı malzeme incelenmiş ve karşılaştırılması yapılmış, kolektör verimine etki eden tasarım parametreleri incelenmiştir [34].

Yeşilata (1990), güneşin hareketini izleyen parabolik oluk tipi güneşin yoğunlaştırıcısının tasarımını ve imalini gerçekleştirmiştir. Yoğunlaştırıcının ısı veriminin belirlenmesinde

kullanılacak bir deney düzeneği oluşmuştur. Bu deney düzeneğini kullanarak imal edilen güneş yoğunlaştırıcısının ısı verimini hesaplamıştır [35].

Eltez (1990), yoğunlaştırıcı tiplerinin, hareket sistemleri, ısı özelliklerini incelemiş ve çeşitli uygulama örnekleri vermişlerdir. Çalışmasında bir tekstil fabrikasının enerji ihtiyacını ve güneş yoğunlaştırıcısının bu enerji ihtiyacına katkısını incelemiştir [36].

Pereira ve arkadaşları (1991), boru soğutuculu iki kademeli parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcılar için deneyler yapmışlardır. Bu tip yoğunlaştırıcılarda toplam ısı kayıplarını azaltarak yüksek akışkan sıcaklıkları elde ettiler [37].

Pinazo ve arkadaşları (1992), parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcısında güneş ışınımının gelme açısının analizlerini yapmışlardır. θ_1 ve θ_2 geliş açıları için analitik bağıntılar elde etmişlerdir [38].

Usta (1995), güneş enerjisiyle çalışan $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ akışkan çifti kullanan soğurmalı soğutma sistemlerin tasarımlarının geliştirilmesi ve imalatı konusunda çalışmıştır. Sistemde yoğunlaştırıcı yüzeyi parabolik aynalardan oluşan, pyreks boru cam örtü içerisindeki siyaha boyanmış güneşi tek eksenle izleyen parabolik oluk tipi güneş kolektörü kullanmış ve 100°C 'nin altındaki sıcaklıklarda testler yapmış ancak verimin düşük olduğunu görmüştür [39].

Fradenraich ve arkadaşları (1997), çizgisel odaklı güneş kolektörlerinde sıcaklık ve ısı güçlerin hesaplamaları için yeni çözümler geliştirmişlerdir [40].

Çolak (2003), güneşi takip edebilen parabolik oluk tipi bir güneş kolektörünün tasarımını, matematiksel modellemesini ve optimizasyonunu yapmıştır [41].

Abdallah (2004), düz tip fotovoltaiklerin (FPPV) farklı tipte güneş takip sistemlerinin kullanılmasının voltaj-akım karakteristikleri ve elektrik gücü üzerindeki etkisini dört tip elektromekanik güneş takip sistemi ile karşılaştırarak deneysel olarak incelemiştir. Bu sistemler; iki eksen, bir eksen dikey, bir eksen doğu-batı ve bir eksen kuzey-güney. Elde ettiği sonuçlar, izleme yüzeylerindeki volt-amper özelliklerinin sabit bir yüzeydekenden

önemli ölçüde daha yüksek olduğunu ve dört tip için % 43,87; % 37,53; % 34,43; % 15,69'a kadar artan elektrik gücü kazanımını gösterdi [42].

Yazıcı (2005), yapmış olduğu çalışmada çizgisel odaklayıcı termal güneş enerjisi santralinin mekanik olarak çalışması için gerekli olan astronomik formülleri incelemiştir. Çok sayıdaki düzlemsel yansıtıcının tek eksenli oryantasyonu ile güneş ışınlarının gün içinde sürekli olarak bir toplayıcıda odaklanmasını sağlayacak formüller geliştirmiştir [43].

Bakos (2006) tarafından yapılan deneysel bir çalışmada, iki eksenle güneşi takip eden bir sistem ile sabit yüzey yönelimi (40° güneye doğru yatırılmış) kullanan durumla bir karşılaştırma yapılmıştır. Sonucunda, izleme yüzeyinde ölçülen toplanan güneş enerjisinin sabit yüzeye kıyasla önemli ölçüde daha büyük (% 46,46'ya kadar) olduğunu göstermiştir [44].

Öztürk ve arkadaşları (2009), farklı seçici yüzey ve emici boru malzemelerinin ısı performansına etkileri incelenmiştir [45].

El Fadar ve arkadaşları (2009), parabolik oluk tipi kolektörler ile soğutma sistemi tasarlamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre parabolik oluk tipi kolektör ile düz kolektörlerden daha yüksek performansa ulaşmışlardır [46].

Fernandez ve arkadaşları (2010), çalışmasında parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısının tarihi gelişimine ve son yüzyıl boyunca bu yoğunlaştırıcı sisteminin yapılması ve pazarlanmasını incelemişlerdir. Özellikle 400°C 'de buhar kullanılarak elektrik üreten sistemler üzerinde durmuşlardır [47].

Şanlı (2010), yapmış olduğu çalışmada da parabolik oluk tipi güneş kolektörünü teorik olarak ele almıştır. Sistem içinde yer alan yansıtıcı kısım, emici boru, cam örtü ve güneş takip mekanizması detaylı bir şekilde incelemiştir. Teorik olarak bir parabolik kolektör tasarlanmış ve tasarlanan kolektörün Denizli ili için güneş verilerine göre testini gerçekleştirmiştir. Test sonuçlarında sistemin buhar türbinine kadar olan verimini % 67, sisteme gerekli buhar türbini kapasitesinin 300-500 kW arasında olacağını belirtmiştir [48].

Reddy ve Kumar (2012), çalışmalarında güç üretimi amacıyla tasarlanan parabolik oluklu güneş kolektörü sisteminin deneysel analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, yağ ve su gibi farklı çalışma akışkanları kullanılmıştır [49].

Kumerasan ve arkadaşları (2012), depolama ünitesi entegre edilmiş parabolik oluklu güneş kolektörü sisteminin incelenmesi üzerine çalışmışlardır [50].

Ceylan ve Ergün (2013), yaptıkları çalışmada, sıcaklık kontrollü parabolik oluklu güneş kolektörü sistemini test etmişlerdir. Deneyler 40-100 °C sıcaklıklarında yapılmıştır. Çalışmada en yüksek enerji verimi % 61,2 olarak 100 °C sıcaklığında, en yüksek ekserji verimi ise % 63 olarak 70 °C sıcaklıkta bulunmuştur [51].

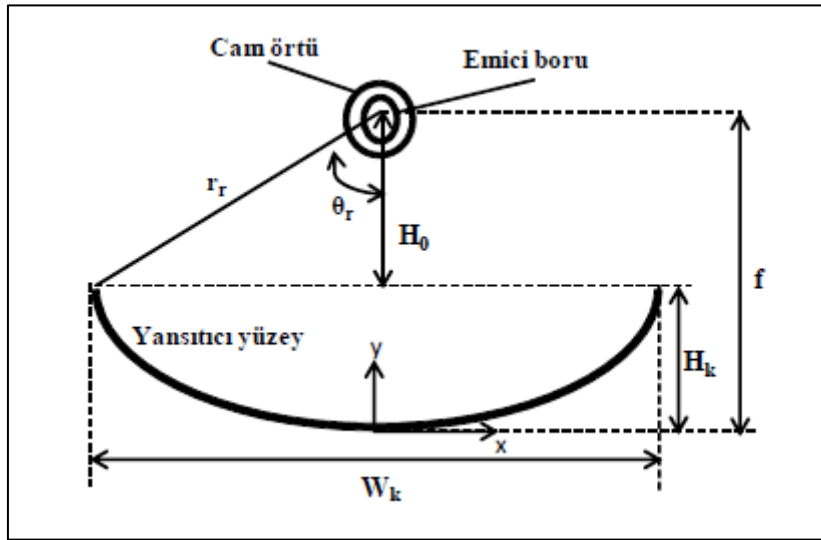
Ghasemi ve Ranjbar (2016), nano-akışkan katkılı su kullanılarak yapılan bir çalışmada ise nano-akışkanın parabolik güneş kolektörünün ısı performansına üzerine etkisi incelenmiş, nano-akışkan kullanılan kolektörün saf suya göre daha iyi performans sergilediği belirtilmiştir [52].

Çizelge 3.4. Odaklı sistemler ve güneş bacası için bazı parametreler

	Parabolik silindirik kolektör	Güç Kulesi	Dish/Motor	Güneş Bacası
Güç kaynağı	Merkezi	Merkezi	Lokal /Merkezi	Merkezi
Kapasite oranı	30-100 MW	30-400 MW	10 kW-50 MW	30-200 MW
Tipik Çalışma modu	Şebeke bağlantılı	Şebeke bağlantılı/ada	Şebeke bağlantılı/Şebekeden bağımsız	Şebeke bağlantısı
Alan Gereksinimi	18 m ² /kW	21 m ² /kW	20 m ² /kW	200 m ² /kW
Tipik Verim (%)	13-15	13-15	15-17	0,7-1.1
İşletme sıcaklığı	350 °C	600 °C	800 °C	50 °C

4. PARABOLİK OLUK TİPİ GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİNDE ISIL VE OPTİK ANALİZ

Bir parabolik güneş kolektörünün verimini etkileyen önemli unsurlardan birisi kolektörün dizayn parametreleridir. Yoğunlaştırıcı sistemler üzerine düşen güneş ışınlarını alıcı yüzeye yansıtmaktadır. Gelen güneş ışınlarından maksimum düzeyde faydalanabilmek ve buna bağlı olarak optik ve termal verimin yüksek olması için kolektör boyutlandırılması dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Parabolik oluk tipi güneş kolektörünün iki boyutlu görünümü ve önemli dizayn parametreleri Şekil 4.1.'de verilmektedir.



Şekil 4.1. Parabolik oluk tipi güneş kolektörü dizayn parametreleri [54]

Parabolik oluk tipi güneş kolektörünün genel parabolik yüzey eşitliği aşağıdaki gibidir. Bu eşitlik belirlenirken yansıtıcı yüzeyin her noktasına gelen ışınların emici boru üzerine odaklanması amaçlanmıştır.

$$y = \frac{x^2}{4f} \quad (4.1)$$

Parabolik yüzeyin orta noktası analitik koordinat düzleminde orijinde kabul edilirse, bu eşitlikte x ve y eksenlere olan uzaklıkları, f ise odak uzaklığını tanımlamaktadır.

Kenar açısı [54];

$$\theta_r = \tan^{-1} \left[\frac{8 \left(\frac{f}{W_k} \right)}{16 \left(\frac{f}{W_k} \right)^2 - 1} \right] = \sin^{-1} \frac{W_k}{2r_r} \quad (4.2)$$

Burada W_k açıklık eni, θ_r kenar açısı (açıklık açısı), r_r ise parabolik yansıtıcı yüzeyin eğiklik merkezinden kolektör kenarına olan maksimum yansıtıcı yüzey yarıçapıdır.

Parabolik oluk tipi güneş kolektörü kesitindeki temel geometrik ölçüler aşağıda tanımlanmıştır [54].

$$H_o = \frac{W_k/2}{\tan \theta_r} \quad (4.3)$$

$$r_r = \frac{W_k/2}{\sin \theta_r} \quad (4.4)$$

Yansıtıcı yüzeyin herhangi bir noktasındaki yansıtıcı yarıçapı aşağıdaki gibidir [54].

$$r = \frac{2f}{1 + \cos \theta} \quad (4.5)$$

Toplam odak uzaklığı [54];

$$f = H_o + H_k \quad (4.6)$$

Emici boru için gerekli minimum çap [54];

$$D_{\min} = \frac{W_k}{\sin \theta_r} \sin(\theta_s + \delta/2) \quad (4.7)$$

olarak tanımlanmaktadır.

θ_s = Güneş kesişim açısı

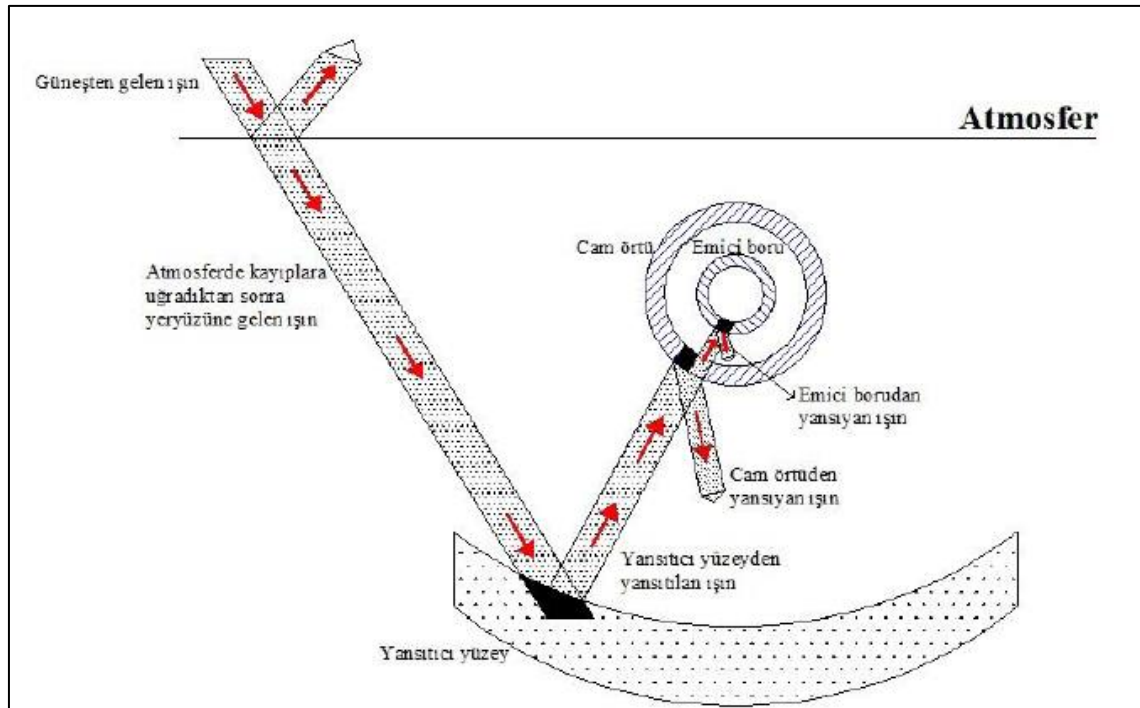
δ = Parabolik oluk tipi güneş kolektöründe ışın yayılım açısı. İdeal yansıtıcı yüzeylerde ihmal edilebilir.

Güneş ışınlarını odak noktasında doğrusal ya da noktasal olarak yoğunlaştıran sistemlerde önemli özelliklerden biri de yoğunlaştırma oranıdır. Yoğunlaştırma oranı (YO), yansıtıcı yüzey açıklık alanı A_y 'nin alıcı yüzey alanı A_a 'ye oranı şeklinde ifade edilmektedir [54].

$$YO = \frac{A_y}{A_a} \quad (4.8)$$

4.1. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektörlerinin Optik Analizi

Güneşten gelen ışınlar, ısı transfer akışkanına aynı şiddetle ulaşmaz. Belirli kayıplara uğradıktan sonra iş akışkanına ulaşırlar. Güneşten çıkan ışınlar atmosferde kayıplara uğrayarak dünyaya gelir. Atmosferi geçen ışınlar ısı transfer akışkanına gelene kadar sırasıyla, yansıtıcı yüzey, cam örtü ve emici boruda optik kayıplara uğrarlar.



Şekil 4.2. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısındaki ışın transfer şeması

Şekil 4.2.'de de görüldüğü gibi güneşten çıkan ışınlar ilk önce atmosferde belirli bir kayba uğradıktan sonra yeryüzüne ulaşırlar. Parabol şeklindeki yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınlar, yansıtıcı yüzey malzemesinin soğurma katsayısına bağlı olarak yansıtıcı yüzey tarafından bir kısmı soğurularak yansıtılır. Yansıtıcı yüzeyden yoğunlaştırılan ışınlar toplayıcı kısımda ilk önce cam örtüye gelir. Cam örtü malzemesinin yansıtma katsayı ve soğurma katsayısına göre bu yüzey gelen ışınların bir kısmı geri yansıtılır, bir kısmı soğurularak geçirilir. Cam örtüden geçen güneş ışınları emici boruya gelir. Emici boru yansıtma ve soğurma katsayısına bağlı olarak güneş ışınlarının bir kısmı yansıtılıp bir kısmı emici boru tarafında soğurularak ısı transfer akışkanına geçirilir [41].

Her kademedeki optik kayıp ve optik verimlerin tek tek belirlenmesi ve bize işlemlerde kolaylık sağlaması için Şekil 4.2.'de görülen ışınları adlandıracak olursak,

G_I = Sabit güneş ısı akısı (1367 W/m^2)

G_{I_A} = Atmosferde kayıplara uğradıktan sonraki güneş ışınları (Direkt gelen)

$G_{I_{YY}}$ = Yansıtıcı yüzeye düşen güneş ışınları (Dik olarak)

$G_{I_{YO}}$ = Yansıtıcı yüzeyden odağa yönlendirilen güneş ışınları

G_{I_C} = Cam örtüye isabet eden güneş ışınları

$G_{I_{EB}}$ = Cam örtüden emici boruya gelen güneş ışınları

$G_{I_{IE}}$ = Boruda depolanan güneş ısısı şeklinde olur.

Bu bilgiler doğrultusunda sistemin optik verimi,

$$\eta_{\text{optik}} = \frac{G_{I_{IE}}}{G_{I_A}} \quad (4.9)$$

olarak tanımlanır. Şekil 4.2.'deki ışın şemasındaki her kademedeki verim,

$\eta_1 = \frac{G_{I_{YO}}}{G_{I_{YY}}}$: Yansıtıcı yüzey yansıtma optik verimi (Literatürde gelme açısı düzeltme faktörü olarak tanımlanır.)

$\eta_2 = \frac{G_{I_{YO}}}{G_{I_{YY}}}$: Yansıtıcı yüzey yansıtma optik verimi

$\eta_3 = \frac{GI_C}{GI_{YO}}$: Yansıtıcı yüzey odaklama verimi (Literatürde kesişim faktörü olarak tanımlanır.)

$\eta_4 = \frac{GI_{EB}}{GI_C}$: Cam örtü optik verimi

$\eta_5 = \frac{GI_{IE}}{GI_{EB}}$: Emici boru optik verimi

$$\eta_{optik} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \eta_5$$

Verilen bilgiler doğrultusunda toplayıcı kısmındaki emici borunun yutması gereken enerji Q_G olarak tanımlanır ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

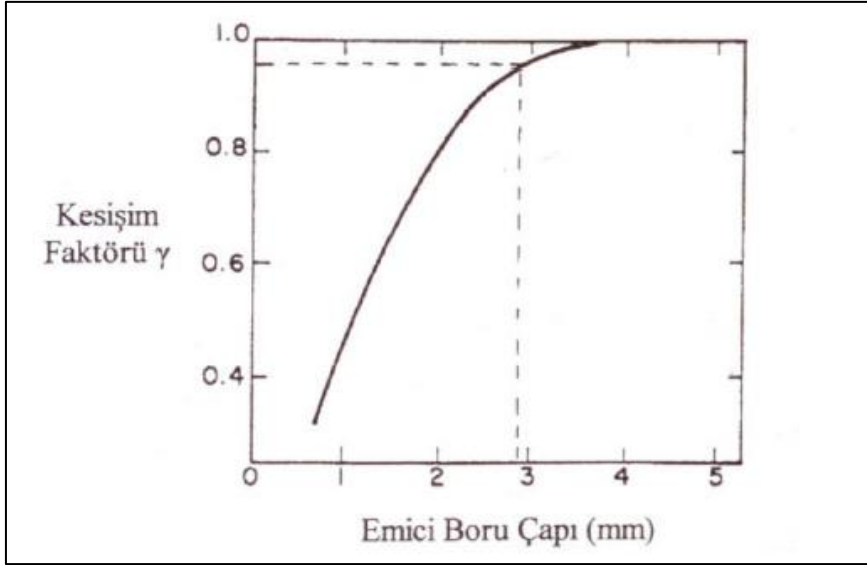
$$Q_G = GI_A * \eta_{optik} = GI_A * \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * \eta_4 * \eta_5 \quad (4.10)$$

$$GI_{YO} = GI_A * \rho_y * \eta_1 \quad (4.11)$$

$$GI_{EB} = GI_{YO} * \tau_{cö} * \eta_3 \quad (4.12)$$

$$Q_G = GI_{IE} = GI_{EB} * \alpha_{eb} \quad (4.13)$$

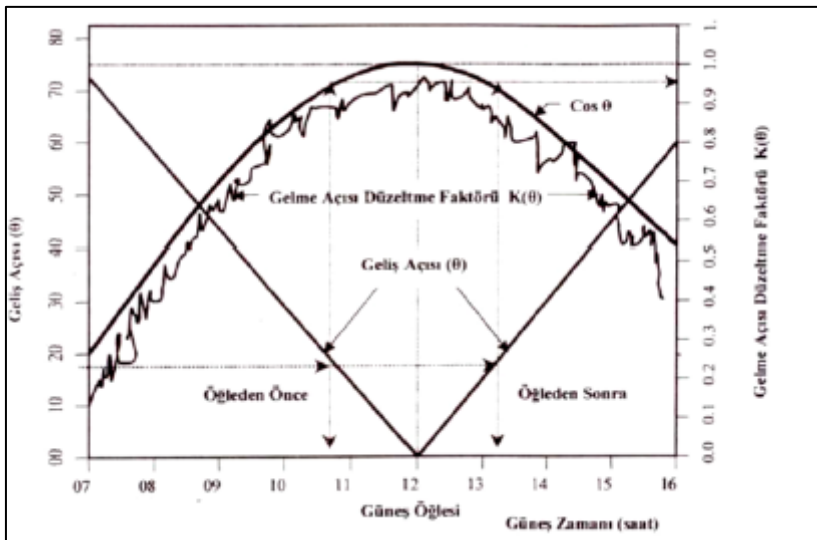
Kesişim faktörü, parabolik yansıtıcı yüzey tarafından yansıtılan güneş ışınlarının emici yüzeyde toplanan kısmını ifade etmektedir. Genellikle $\eta_3 > 0.9$ olarak verilmektedir. Yansıtıcı yüzeyin kirli olması değerini düşürmektedir. Bu yüzden yansıtıcı yüzey sürekli temiz tutulmalıdır. Emici boru çapının artırılması ile değeri artırılabilir. Burada dikkat edilmesi gereken emici boru çapı artırılırken ısı kayıplarında artacağıdır [41].



Şekil 4.3. Kesişim faktörünün emici boru çapına göre değişimi [53]

η_1 gelme açısı düzeltme faktörüdür. Kolektör açıklık alanına belirli bir açıda gelen güneş ışınlarının optik veriminin, dik geldiği konumdaki optik verimine oranıdır. η_1 yansıtıcı yüzey açıklık alanına gelen ışının geliş açısının bir fonksiyonu olup, yüzey normalinden olan sapmalarını hesaba katmak için kullanılır. Literatürde K olarak gösterilir ve aşağıdaki gibi hesaplanır [53].

$$K = \cos \theta \quad (4.14)$$

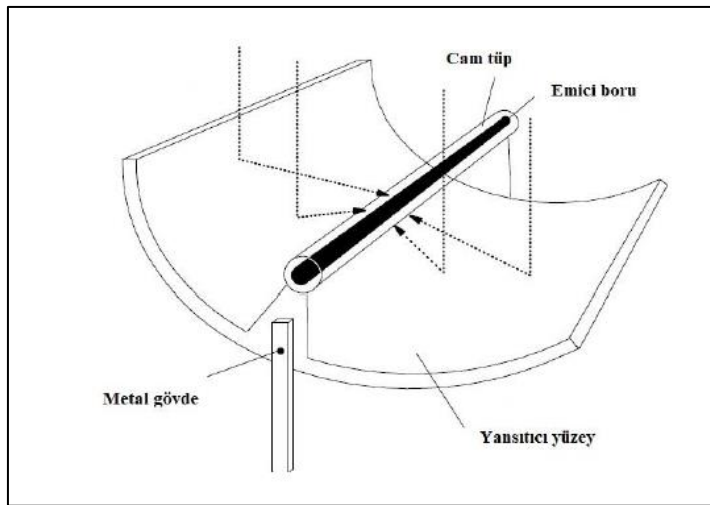


Şekil 4.4. Gelme açısı düzeltme faktörünün geliş açısına göre değişimi [54]

Yukarıdaki hesaplama yöntemleri kullanılarak güneşten gelen ışınların emici boruya aktarılana kadar uğrayacağı optik kayıplar ve emici boru yüzeyine güneşten gelen ısı miktarı hesaplanabilecektir.

4.2. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektöründe Isıl Kayıplar

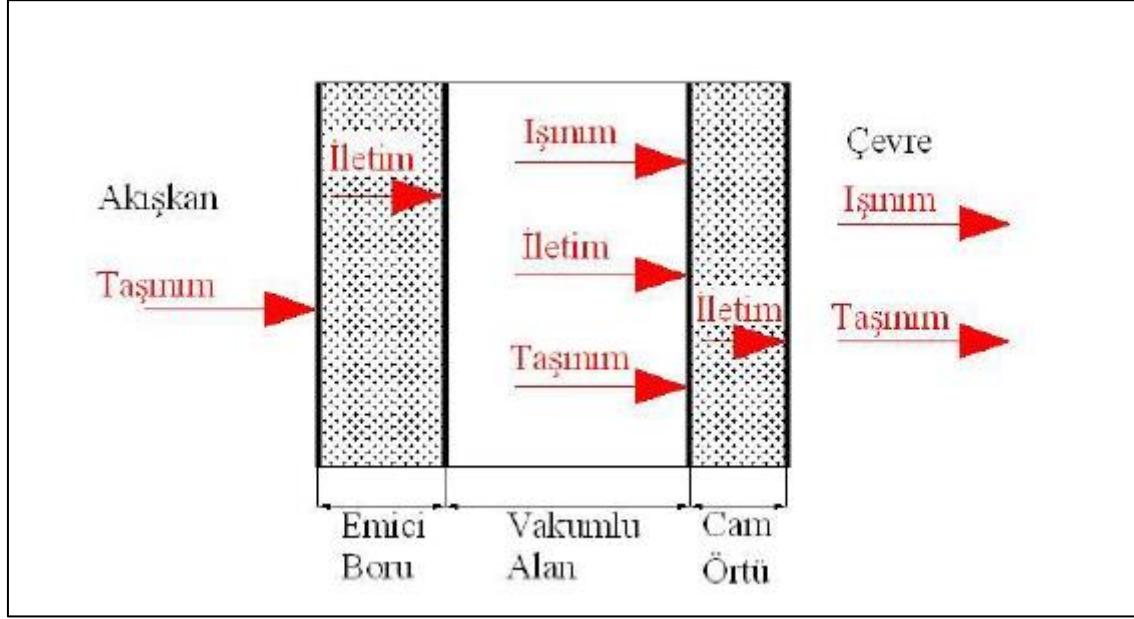
Parabolik oluk tipi güneş kolektöründe termal kayıpları hesaplama yöntemleri, düz plaka toplayıcılar için olduğu kadar kolay özetlenmemektedir. Şekiller ve tasarımlar büyük ölçüde değişkendir, sıcaklıklar daha yüksektir, kenar etkileri daha önemlidir, iletim terimleri oldukça yüksek olabilir ve problemler, alıcılar üzerinde radyasyon akısının tekdüzeliği ile birleşebilir ve bu da enerji boyunca önemli sıcaklık gradyanlarına neden olabilir. Termal kayıpları tahmin etmek için tek bir genel yöntem sunmak zordur ve sonuçta her kolektör geometrisi özel bir durum olarak analiz edilmelidir.



Şekil 4.5. Parabolik oluk tipi güneş kolektörünün yapısı [55]

Düz plaka sistemlerinde olduğu gibi, kayıpların olay radyasyonunun yoğunluğundan bağımsız olduğu tahmin edilebilir (şeffaf bir kapak kayda değer güneş radyasyonunu emerse bu kesinlikle doğru olmayabilir). Her durumda, odaklama sistemleri için etkili bir transmitans-absorpsiyon ürünü de tanımlanabilir. Ayrıca, odaklama sistemleri ile alıcıdaki radyasyon akısı genel olarak, sadece güneş radyasyonu için çok düşük emiciliğe sahip kaplama malzemesinin kapağa termal zarar vermeden kullanılabileceği Şekildedir. İletim kayıpları, destekleyici yapı ve alıcının ışınlanmayan kısımlarındaki yalıtım yoluyla meydana gelir.

Sistemde optik kayıpların yanı sıra ısı kayıplarda meydana gelmektedir. Yansıtıcı yüzeyden odak da yer alan emici boruya yansıtılan güneş ışınlarının büyük bir bölümü emici boru tarafından yutulur. Bu işlem sonunda emici boru içinde geçen akışkanın sıcaklığı yükselir. Dolayısıyla akışkan ve çevre arasında sıcaklık farkı oluşur. Bunun sonucunda da akışkandan çevreye ısı transferi meydana gelir [55].



Şekil 4.6. Isı transfer akışkanından çevreye olan ısı transfer şeması [55]

Akışkandan çevreye olan ısı transferi; akışkanla emici boru yüzeyi arasında taşınım, emici boru iç yüzeyi ve dış yüzeyi arasında iletim, emici boru dış yüzeyiyle cam örtünün iç yüzeyi arasında iletim-taşınım-ışınım (eğer vakumlu alan içindeki hava tam olarak alınmışsa iletim-ışınım, alınmamışsa taşınım-ışınım), cam örtü iç yüzeyi ile dış yüzeyi arasında iletim, cam örtü dış yüzeyiyle çevre arasında taşınım-ışınım şeklinde olmaktadır. Literatürde cam örtünün et kalınlığı diğer boyutlara oranla çok küçük kabul edildiğinden cam örtü iç yüzeyiyle dış yüzeyi arasında iletimle olan ısı kayıpları ihmal edilebilir [31].

Parabolik oluk tipi güneş kolektörlerinde ısı kayıplar daha çok sistemin emici boru-cam örtü kısmında olmaktadır. Emici boru sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki fark arttıkça ısı kayıplar artmaktadır [31].

Emici borudan çevreye olan ısı kaybını Q_k olarak tanımlarsak, emici boru ile cam tüpün iç yüzeyi arasındaki radyasyon ve taşınım ısı transferi toplamına eşit olmaktadır [53].

$$Q_k = \frac{2\pi k_{\text{eff}} L}{\ln\left(\frac{d_{\text{cöi}}}{d_{\text{ebd}}}\right)} (T_{\text{mbd}} - T_{\text{cöi}}) + \frac{\pi d_{\text{ebd}} L \sigma (T_{\text{ebd}}^4 - T_{\text{cöi}}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_{\text{eb}}} + \frac{1 - \varepsilon_{\text{cö}}}{\varepsilon_{\text{cö}}} \left(\frac{d_{\text{ebd}}}{d_{\text{cöi}}}\right)} \quad (4.15)$$

Yukarıdaki eşitliği düzenleyecek olursak;

$$Q_k = A_{\text{ebd}} [h_{\text{ar,t}} + h_{\text{ar,r}}] (T_{\text{ebd}} - T_{\text{cöi}}) \quad (4.16)$$

Bu eşitlikteki $h_{\text{ar,t}}$ taşınım ile olan ısı transfer katsayısını gösterir.

$$h_{\text{ar,t}} = \frac{k_{\text{eff}} (d_{\text{LM}})_{\text{ar}}}{x_{\text{ar}} d_{\text{ebd}}} \quad (4.17)$$

k_{eff} etkin iletim katsayısıdır. Emici boru ile cam örtü arasındaki alanda eğer hava tam boşaltılmışsa taşınım ile ısı transferi olmaz. Ancak içeride hava bulunursa, hava hareketsiz olacağından iletimle ısı transferi olacağı söylenmektedir. Bundan dolayı iletimle ısı transferi doğal taşınımın da etkisi düşünülerek hesaba alınır. Bu yüzden hesaplama da ısı iletim katsayısı k yerine k_{eff} katsayısı kullanılır [41].

$$\frac{k_{\text{eff}}}{k} = 0.317 (Ra^*)^{1/4} \quad (4.18)$$

$$Ra^* = \frac{\left[\ln\left(\frac{d_{\text{cbö}}}{d_{\text{ebd}}}\right) \right]^4}{l^3 (d_{\text{ebd}}^{-3/5} + d_{\text{cöi}}^{-3/5})^5} Ra \quad (4.19)$$

$$Ra = \frac{g \beta \Delta T l^3}{\alpha \nu} \quad (4.20)$$

Ra = Rayleigh sayısı

g = Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s^2)

ΔT = Emici boru ile cam örtü iç yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı ($\Delta T = T_{\text{mbd}} - T_{\text{cbi}}$)

β = Hacimsel genleşme katsayısı ($\beta = 1/T_{\text{mb,cb}}$)

$T_{\text{eb,cö}}$ = Emici boru ile cam örtü arasındaki ortalama sıcaklık ($T_{\text{eb,cö}} = \frac{T_{\text{ebd}} + T_{\text{cöi}}}{2}$)

α = Emici boru ile cam örtü arasındaki havanın $T_{eb,cb}$ sıcaklığındaki ısı yayılım hızı

ν = Emici boru ile cam örtü arasındaki havanın $T_{eb,cb}$ sıcaklığındaki kinematik viskozitesi

l = Emici boru ile cam örtü arasındaki boşluk ($l = \frac{d_{cöi} - d_{ebd}}{2}$)

Radyasyon ile olan ısı transfer katsayısı $h_{ar,r}$;

$$h_{ar,r} = \frac{C_{ar}\sigma(T_{ebd}^4 - T_{cöi}^4)}{(T_{ebd} - T_{cöi})} \quad (4.21)$$

$$C_{ar} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_{mb}} + \frac{1 - \epsilon_{cö}}{\epsilon_{cö}} \left(\frac{d_{ebd}}{d_{cöi}}\right)} \quad (4.22)$$

Metal boru ile cam boru arasındaki olan ısı transfer toplamı, cam örtüdeki et kalınlığından dolayı oluşan iletimle ısı transferine, cam örtü dış yüzeyinden çevreye olan ışıyım ve taşınım ile olan ısı transferi toplamına eşittir. Cam örtü et kalınlığından dolayı olan iletimle ısı transferi aşağıdaki gibi tanımlanır [41].

$$Q_k = A_{ebd} \left(\frac{d_{cöd}}{d_{ebd}}\right) \frac{(T_{cöi} - T_{cöd})}{R_{cö}} \quad (4.23)$$

$$R_{cö} = \frac{x_{cö} d_{cöd}}{k_{cö} (d_{LM})_{cö}} \quad (4.24)$$

$$x_{cö} = \frac{d_{cöd} - d_{cöi}}{2} \quad (4.25)$$

Cam örtü dış yüzeyinden çevreye olan radyasyon ve taşınım ile ısı transferi;

$$Q_k = A_{ebd} \left(\frac{d_{cöd}}{d_{ebd}}\right) [h_{d,t} + h_{d,r}] (T_{cöd} - T_d) \quad (4.26)$$

$$h_{d,r} = \frac{\epsilon_{cö}\sigma(T_{cöd}^4 - T_d^4)}{(T_{cöd} - T_d)} \quad (4.27)$$

Emici boru ile çevre arasındaki ısı kaybı;

$$Q_k = A_{ebd} U_{ebd} (T_{ebd} - T_d) \quad (4.28)$$

U_{ebd} = Emici boru dış yüzeyi ile çevre arasındaki toplu ısı kayıp katsayısı

$$U_{ebd} = \left[\frac{1}{[h_{ar,t} + h_{ar,r}]} + \frac{1}{\left(\frac{d_{cöd}}{d_{ebd}}\right) R_{eb}} + \frac{1}{\left(\frac{d_{cöd}}{d_{ebd}}\right) [h_{d,t} + h_{d,r}]} \right]^{-1} \quad (4.29)$$

Emici boru içindeki akışkandan emici boru iç yüzeyine taşınım ile olan ısı transferi olur. Isı taşınım katsayısı (h_a) akışın laminar veya türbülanslı olmasına göre farklılık gösterir. Boru içi akışın tam gelişmiş olması varsayılırsa h_a hesaplanabilir. Bu varsayımın yapılmasının nedeni uzunluk/çap oranının büyük olmasıdır, genellikle 20'den fazladır [31].

Reynold sayısı (Re) 2000'den küçükse akış laminardır ve Nusselt Sayısı;

$$Nu = 3,66$$

Re sayısı 2000'den büyükse akış türbülanslıdır ve Nusselt Sayısı;

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (4.30)$$

Re = Reynolds sayısı

Nu = Nusselt sayısı

Pr = Prandtl sayısı

$$Re = \frac{V d_{ebi}}{\nu_a} = \frac{\rho_a d_{ebi}}{\mu_a} \quad (4.31)$$

$$Pr = c_a \frac{\mu_a}{k_a} \quad (4.32)$$

$$Nu = \frac{h_a d_{ebi}}{k_a} \quad (4.33)$$

$$h_a = \frac{Nu k_a}{d_{ebi}} \quad (4.34)$$

k_a = Akışkanın ısı iletim katsayısı

ν_a = Akışkanın viskozitesi

ρ_a = Akışkanın yoğunluğu

c_a = Akışkanın özgül ısı

V = Akışkanın hızıdır. Akışkanın debisi $\dot{m}$ ise, V aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho_a \left(\frac{\pi}{4} d_{ebi}^2 \right)} \quad (4.35)$$

4.3. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektöründe Isıl Analiz

Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcının ısı analizinde, yansıtıcı yüzey, yansıtıcı yüzey alanına düşen güneş ışınların hepsini yansıtmaz. Sistemin odak noktasında yer alan ve boydan boya uzanan toplayıcı kısım en dışındaki boru olan cam örtü, yansıtıcı yüzeye alanı üzerine gölgeleme etkisi yapar. Hesaplamalar yapılırken, bu etki dikkate alınarak işlemler yapılır [41].

$$Q_{ITA} = Q_G - Q_k \quad (4.36)$$

$$Q_{ITA} = \dot{m} c_a \Delta T_s \quad (4.37)$$

$$Q_G = G_A A_{gka} \eta_{optik} \quad (4.38)$$

ΔT_s = Isı transfer akışkanı giriş ve çıkış sıcaklık farkı

A_{gka} = Kolektörün gölgelenmeyen alanı

$$A_{gka} = LW_K - Ld_{cö} \quad (4.39)$$

Bu eşitliklerden yola çıkarak birim kolektör boyunda ısı transfer akışkanına aktarılan güneş ısı enerjisi ($\dot{q}_{ITA}$);

$$\dot{q}_{ITA} = \frac{A_{gka} G_A \eta_{optik}}{L} - \frac{A_{ebd} U_L}{L} (T_{ebd} - T_a) \quad (4.40)$$

Literatürde Eşitlik 4.40'daki T_{ebd} yerine, hesaplamaları kolaylaştırmak için ortalama ısı transfer akışkanı sıcaklığı T_s yazılır. Bunun nedeni T_{ebd} değerinin bilinmemesi ve belirlenmesinin zor olmasıdır. Bu değişimi yaptıktan sonra Eşitlik 4.40.'ın hesaplanması için kolektör verim faktörü F^1 , ısı kazanç faktörü F_R ve akış faktörü F^2 'nin belirlenmesi gerekmektedir. $\dot{q}_{ITA}$ Eşitlik 4.40.'a eşit olmakla birlikte, ısı transfer akışkanı ile emici boru dış yüzeyi arasındaki ısı transferine (Eşitlik 4.41.) de eşit olmaktadır. Bu iki eşitlik birbirine eşitlenerek T_{ebd} yok edilir ve Eşitlik 4.42.'ye eşitlenir. Eşitlik 4.42.'de emici boru dış yüzey sıcaklığı (T_{ebd}) yerine hesaplamaları kolaylaştırmak için ısı transfer akışkanı ortalama sıcaklığı (T_s) kullanıldı. Ancak ısı transfer akışkanı ile emici boru dış yüzey sıcaklığı gerçekte birbirinden farklıdır. Gerçek durumda bu iki sıcaklığın eşit olması durumu için tanımlanan F^1 'in kullanılmasıyla T_{ebd} yerine T_s kullanılabilir [31].

$$\dot{q}_{ITA} = \frac{(A_{ebd}/L)(T_{ebd} - T_s)}{\frac{d_{ebd}}{h_f d_{ebi}} + \left(\frac{d_{ebd}}{2k_{eb}} \ln\left(\frac{d_{ebd}}{d_{ebi}}\right)\right)} \quad (4.41)$$

$$\dot{q}_{ITA} = F^1 \frac{A_{gka}}{L} \left[G_A \eta_{optik} - \frac{A_{ebd}}{A_{gka}} U_L (T_s - T_a) \right] \quad (4.42)$$

$$F^1 = \frac{1/U_L}{\frac{1}{U_L} + \frac{d_{ebd}}{h_f d_{ebi}} + \left(\frac{d_{ebd}}{2k_{eb}} \ln\left(\frac{d_{ebd}}{d_{ebi}}\right)\right)} \quad (4.43)$$

$$F^1 = \frac{U_o}{U_L} \quad (4.44)$$

Eşitlik 4.40'da ısı transfer akışkanına aktarılan faydalı ısı enerjisi $\dot{q}_{ITA}$, yutucu yüzey ve akışkan ortalama sıcaklığına bağlı olarak tanımlanmıştır. Ancak akışkan sıcaklığının akış doğrultusunda değişmesi ve ortalama değerinin tahmininin zor olması nedeniyle, akışkana

geçen ısı enerjisi kolektör giriş sıcaklığına bağlı olarak da tanımlanabilir. Kolektör ısı kazanç faktörü (F_R), kolektör tarafından toplanan ve ısı kayıplar çıkarıldıktan sonra ısı transfer akışkanına geçen faydalı ısı enerjisinin, emici yüzeyin her yerinin akışkanın giriş sıcaklığında olması durumundaki ısı transfer akışkanına geçen ısı enerjisi olarak tanımlanır [31].

$$F_R = \frac{\dot{m}c_a}{A_{ebd}U_L} \left[1 - \exp\left(-\frac{A_{ebd}U_L F^1}{\dot{m}c_a}\right) \right] \quad (4.45)$$

Kolektör akış faktörü F_F , kolektör ısı kazanç faktörü F_R 'nin, kolektör verim faktörünün F^1 'e oranı olarak tanımlanır. Eğer akışkanın akış yönünde bir sıcaklık artışı yoksa $F_R = F^1$ alınır. Kararlı hal koşullarında kolektör emici yüzeyinden ısı transfer akışkanına aktarılan ısı ($\dot{Q}_{ITA}$) Eşitlik 4.47. olarak bulunabilir [31].

$$F^2 = \frac{F_R}{F^1} = \frac{\dot{m}c_a}{A_{ebd}U_L F^1} \left[1 - \exp\left(-\frac{A_{ebd}U_L F^1}{\dot{m}c_a}\right) \right] \quad (4.46)$$

$$\dot{Q}_{ITA} = F_R A_{gka} \left[G_A \eta_{optik} - \frac{A_{ebd}}{A_{gka}} U_L (T_g - T_a) \right] \quad (4.47)$$

5. MATERİYAL VE YÖNTEM

5.1. Matematiksel Modelleme

Oluk tipi parabolik kolektörlerde faydalı ısı üretimi ($\dot{Q}_u$), aşağıda gösterildiği gibi çalışma sıvısı hacmindeki enerji dengesi ile hesaplanabilir.

$$\dot{Q}_u = \dot{m}C_p(T_\varphi - T_g) \quad (5.1)$$

Güneş kolektörünün termal verimliliği (η_{th}) üretilen faydalı ısının mevcut güneş enerjisine Q_s oranına eşittir. Eşitlik 5.2, kolektör termal verimliliğinin tanımıdır.

$$\eta_{th} = \frac{Q_u}{Q_s} \quad (5.2)$$

Faydalı ısı, emme borusu ile çalışma sıvısı sıcaklığı arasındaki ısı transferinin incelenmesi ile de hesaplanabilir. Isı transferi mekanizması, Eşitlik 5.3'in belirttiği gibi, ısı transfer katsayısı (h_s) kullanılarak modellenen konveksiyondur.

$$Q_u = h_s A_{ebi}(T_{eb,ort} - T_s) \quad (5.3)$$

Ortalama sıvı sıcaklığı (T_s), giriş (T_g) ve çıkış (T_φ) sıvı sıcaklıklarının ortalama değeri olarak hesaplanabilir. Bu sıcaklık değeri, aynı zamanda çalışma sıvısı özelliklerinin hesaplanması için de kullanılır.

$$T_s = \frac{T_g + T_\varphi}{2} \quad (5.4)$$

Isı transfer katsayısı, aşağıdaki Şekilde tanımlanan Nusselt sayısı kullanılarak tahmini olarak hesaplanabilir.

$$Nu = \frac{h_s d_{ebi}}{k_s} \quad (5.5)$$

Türbülanslı akış için ($Re > 2300$), Nusselt sayısı Dittus-Boelter eşitliği kullanılarak hesaplanabilir.

$$Nu_s = 0.023 Re_s^{0.8} Pr_s^{0.4} \quad (5.6)$$

Reynolds sayısı (Re) ve Prandtl sayısı (Pr) 5.7 ve 5.8 eşitliklerindeki gibi tanımlanabilir.

$$Re = \frac{4\dot{m}}{\pi d_{ebi} \mu_s} \quad (5.7)$$

$$Pr = \frac{\mu_s C_p}{k_s} \quad (5.8)$$

Emici boru tarafından emilen güneş enerjisi Q_{abs} , aşağıda gösterildiği gibi faydalı ısı (Q_u) ve termal kayıplara (Q_k) ile ifade edilebilir.

$$Q_{abs} = Q_u + Q_k \quad (5.9)$$

Daha önceden de belirtildiği gibi güneş kolektörünün termal kayıpları, emiciden cam tüpe ısı transfer mekanizmasını inceleyerek hesaplanabilir. Emici ve cam tüp arasındaki vakum nedeniyle, konveksiyon olgusu ihmal edilir ve sadece radyasyon termal kayıpları dikkate alınır.

$$Q_k = \frac{A_{emb} \sigma (T_{eb,ort}^4 - T_{cöi}^4)}{\frac{1}{\epsilon_{eb}} + \frac{1 - \epsilon_{cö}}{\epsilon_{cö}} \left(\frac{A_{ebd}}{A_{cöi}} \right)} \quad (5.10)$$

Kolektör emisyonu, sıcaklık seviyesinin bir fonksiyonu olarak alınabilir.

$$\epsilon_{eb} = 0.005599 + 1.039 \cdot 10^{-4} \cdot T_{eb,ort} + 2.249 \cdot 10^{-7} \cdot T_{eb,ort}^2 \quad (5.11)$$

Kararlı durum koşullarında, emiciden kapağa olan termal kayıplar, kapaktan çevreye olan termal kayıplara eşittir. Bu termal kayıplar, aşağıda verildiği gibi radyasyon ve konveksiyon kayıplarını içerir.

$$Q_k = A_{ebd} h_{hava} (T_{eb,ort} - T_a) + A_{ebd} \sigma \epsilon_{eb} (T_{eb,ort}^4 - T_{gök}^4) \quad (5.12)$$

Gökyüzü sıcaklığı (T_{sky}) radyasyon kayıpları hesaplanması için önemlidir ve bu sıcaklık seviyesi açık gökyüzü için Eşitlik 5.13. ile tahmin edilebilir.

$$T_{gök} = 0.0553 T_a^{1.5} \quad (5.13)$$

Cam örtü (kapak) ve ortam havası arasındaki ısı taşınım katsayısı, Nusselt sayısı için aşağıdaki eşitlik kullanılabilir.

$$Nu_{hava} = 0.193 Re_{hava}^{0.618} Pr_{hava}^{0.33} \quad (5.14)$$

$$Nu_{hava} = \frac{h_{hava} d_{ebd}}{k_{hava}} \quad (5.15)$$

$$Re_{hava} = \frac{u_{hava} d_{ebd}}{v_{hava}} \quad (5.16)$$

Havanın termofiziksel özellikleri kullanılarak, kolektör ve havanın ortalama sıcaklığı (T_{c-a}) hesaplanabilir.

$$T_{ebd-a} = \frac{T_{ebd} + T_a}{2} \quad (5.17)$$

Emici tüp boyunca basınç kayıpları (ΔP), aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanabilir.

$$\Delta P = f_r \frac{L}{d_{ebi}} \left(\frac{1}{2} \rho_s u_s^2 \right) \quad (5.18)$$

Sürtünme faktörü (f_r) türbülanslı akış için Eşitlik 5.19'a göre hesaplanır.

$$f_r = \frac{1}{[0.79 \cdot \ln(Re_s) - 1.64]^2} \quad (5.19)$$

Akışkanın ortalama hızı aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$u_s = \frac{\dot{m}}{\rho_s (\pi \frac{d_{ebi}^2}{4})} \quad (5.20)$$

Güneş kolektörünün ekserji analizi, güneş ışıınının ekserjisini, yararlı ekserji üretimini, ekserji kayıpları ve ekserji yıkımını içeren ayrıntılı bir analiz yapılarak gerçekleştirilir.

Parabolik oluk toplayıcıların ekserji analizinde sadece seyreltilmediği varsayılabilen ışınların kullanıldığı varsayılır. Böylece, Petela modeli, gelen güneş ışıınınındaki ekserji akışını tahmin etmek için kullanılabilir. Bu model, güneşin dış katmanlarda 5770 K olduğu tahmin edilen bir radyasyon sıcaklık deposu ($T_{güneş}$) olduğunu dikkate alır. Eşitlik 5.21, seyreltilmemiş güneş ışıınının (E_s) ekserji akışını gösterir.

$$E_s = Q_s \left[1 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_a}{T_{güneş}} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{T_a}{T_{güneş}} \right)^4 \right] \quad (5.21)$$

Yararlı ekserji çıktısı aşağıdaki eşitlike göre hesaplanabilir.

$$E_u = \dot{Q}_u - \dot{m} C_p T_a \ln \left[\frac{T_c}{T_g} \right] - \dot{m} T_a \frac{\Delta P}{\rho_s T_{fm}} \quad (5.22)$$

Eşitlik 5.22 hem sıvı hem de gaz çalışma sıvılarına uygulanabilir. Özellikle sıvılar için, basınç düşüşü (ΔP) genellikle küçüktür ve ihmal edilebilir. Öte yandan, gaz çalışma sıvıları ile çalışma, gazların düşük yoğunluğu nedeniyle yüksek basınç kayıpları ile ilişkilidir ve dikkate alınması gerekir.

Güneş kolektörünün ekserji verimi (η_{ex}), aşağıdaki eşitliğin gösterdiği gibi, yararlı üretiminin ekserji girdisine oranı olarak tanımlanır.

$$\eta_{ex} = \frac{E_u}{E_s} \quad (5.23)$$

Güneş kolektörünün tam bir ekserjetik analizini yapabilmek için ekserji kayıpları ve ekserji tahribatı hesaplanmalıdır. Ekserji kayıpları ($E_{kayıp}$) incelenen sistemin daha fazla kullanılmayan ısı kayıpları ile ilişkilidir. Bu kayıplar optik kayıplar ve termal kayıplar ile ilgilidir. Ekserjetik optik kayıplar ($E_{kayıp,optik}$) şu Şekilde hesaplanır.

$$E_{kayıp,termal} = Q_k \left(1 - \frac{T_a}{T_{eb,ort}}\right) \quad (5.24)$$

Toplam ekserjetik kayıplar şu Şekilde hesaplanır.

$$E_{kayıp} = E_{kayıp,optik} + E_{kayıp,termal} \quad (5.25)$$

Ekserji yıkımı, ısı transferlerinde var olan tersinmezlikleri ifade eder. Daha spesifik olarak, bu parametre, termal enerji bir ısıtıcıdan daha soğuk bir ısı rezervuarına aktarıldığında kaybolan olası işi ifade eder. Mevcut güneş kolektörü durumunda, iki ekserji tahribatı söz konusudur. Birincisi güneş ve alıcı ($E_{d,s-r}$) arasında, ikincisi alıcı ve çalışma sıvısı ($E_{d,r-f}$) arasındadır. Emicideki (güneşten alıcıya) güneş enerjisi emilimi sırasında ekserji tahribatı şu Şekilde hesaplanır.

$$E_{d,s-r} = \eta_{optik} E_s - Q_{abs} \left(1 - \frac{T_a}{T_{eb,ort}}\right) \quad (5.26)$$

Faydalı ısı üretimi (alıcıdan sıvıya) sırasında ekserji tahribatı şu Şekilde hesaplanır;

$$E_{d,r-f} = \dot{Q}_u \left(1 - \frac{T_a}{T_{eb,ort}}\right) - E_u \quad (5.27)$$

Toplam ekserji yıkımı (E_d) şu Şekilde verilir;

$$E_d = E_{d,s-r} + E_{d,r-f} \quad (5.28)$$

Son olarak, sistemin toplam ekserji dengesi aşağıdaki gibidir;

$$E_s = E_u + E_{kayıp} + E_d \quad (5.29)$$

Sistemde kullanılacak sirkülasyon pompası için aşağıdaki süreklilik eşitlikleri kullanılabilir.

$$\dot{m}_g + \dot{m}_\varphi = 0 \quad (5.30)$$

$$E_A + E_B + P_{pompa} = 0 \quad (5.31)$$

$$P_{pompa} = \dot{m}_g \frac{P_\varphi - P_g}{\frac{\rho_g + \rho_\varphi}{2}} \quad (5.32)$$

Boru demetinden karasuya iletilen ısı miktarı (q) aşağıdaki formül ile ifade edilebilir;

$$q = hA(T - T_s) \quad (5.33)$$

Buharlaştırma miktarını hesaplamak için sıcaklığa bağlı Penman yaklaşımı kullanılmıştır.

Eşitlik 5.34 bir günde buharlaşacak miktarı (E_0) hesaplamak için kullanılmaktadır [56].

$$E_0 = \frac{\frac{700T_m}{(100 - A)} + 15(T - T_d)}{(80 - T)} \left(\frac{\text{mm}}{\text{gün}} \right) \quad (5.34)$$

Burada T ile h, ortalama sıcaklık ve rakımı ifade etmektedir. Enlem (A) iklimi göre değişmektedir. T_d ise ortalama sapma miktarıdır [56].

$$T_m = T + 0,006h \quad (5.35)$$

$$T - T_d = 0,0023h + 0,37T + 0,53R + 0,35R_{ann} - 10,9 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (5.36)$$

İş akışkanı için aşağıdaki eşitlik yazılabilir;

$$\dot{m}_g = \dot{m}_ç \quad (5.37)$$

Nemli numune için korunum eşitlikleri aşağıdaki gibidir;

$$W_g \dot{m}_g + \dot{m}_n = W_ç \dot{m}_ç \quad (5.38)$$

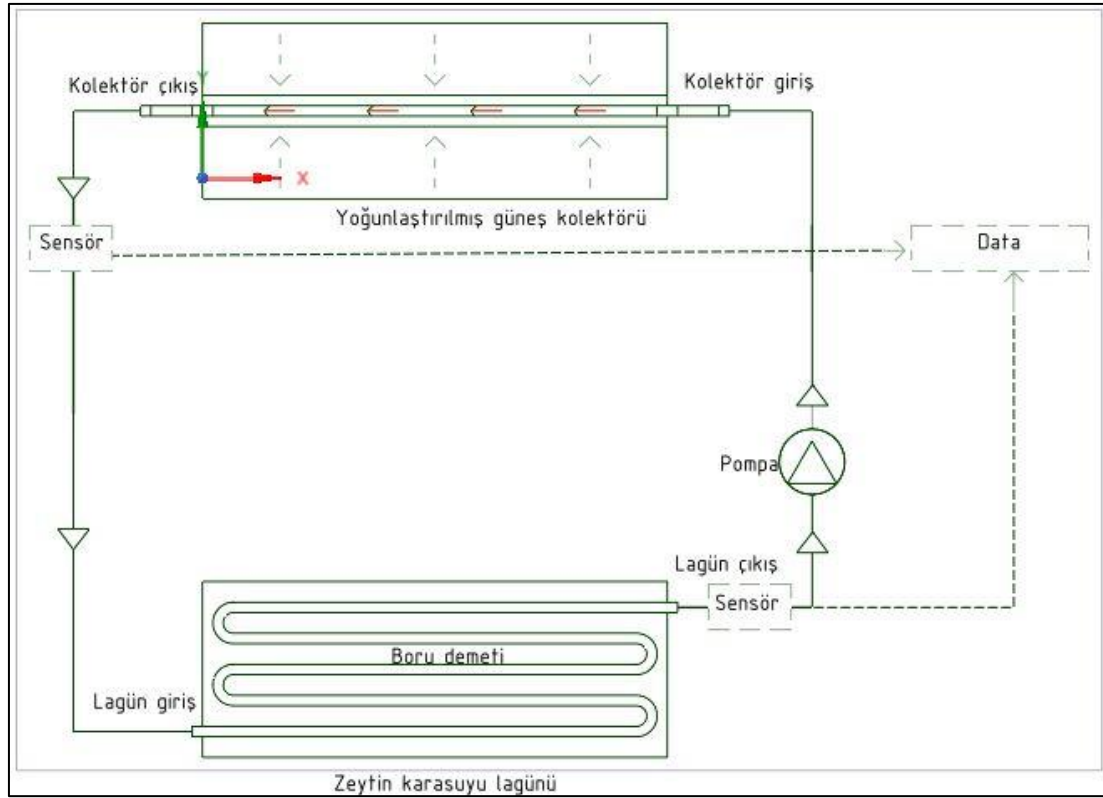
Lagüne giren ve çıkan enerji miktarı;

$$\dot{Q}_g = \dot{m}_s C_p (T_g - T_n) \quad (5.39)$$

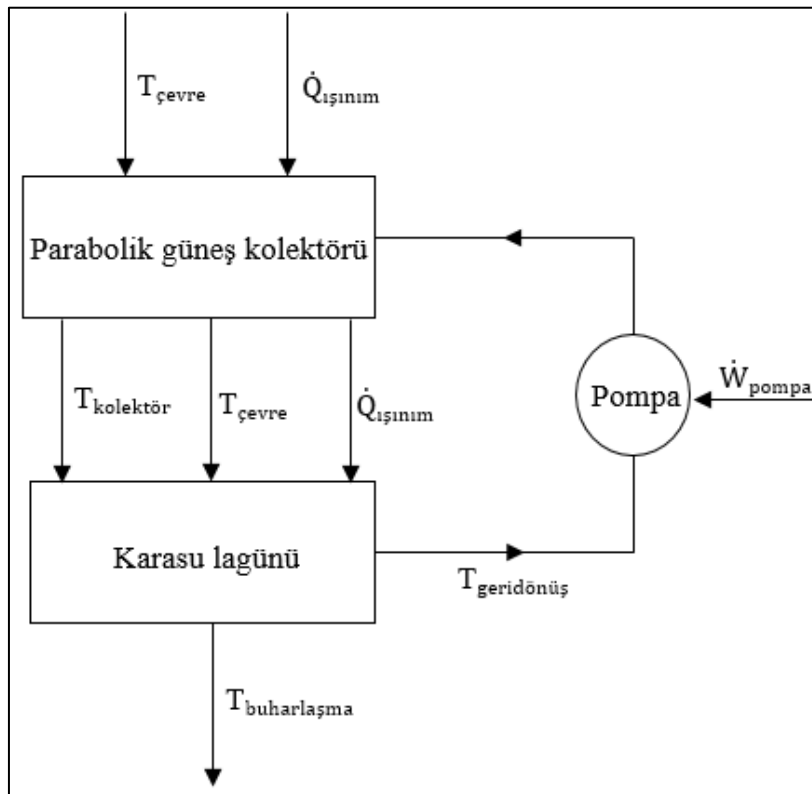
$$\dot{Q}_ç = \dot{m}_s C_p (T_ç - T_n) \quad (5.40)$$

5.2. 1B Modelleme ve Parametrelerin Belirlenmesi

Tasarlanan bu sistemin, bir boyutlu (1B) matematiksel modellemesi yapıp MATLAB paket programında simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında, oluk tipi parabolik kolektör içerisinden ısıtma akışkanı (su) geçirilip güneşten gelen ışıının ısısını bu boru içerisindeki akışkana aktarılması planlanmıştır. Isısı artan akışkanın lagün içerisine girerek, zeytin karasuyunu buharlaştırılması ve tekrardan kolektör modeline girerek döngüsünü tamamlanması öngörülmüştür. Simülasyonlar değişen gün sıcaklığı ve değişen direkt güneş ışıının miktarında, 3 farklı kolektör tipine göre gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu kolektörlerden en yüksek ısı transfer verimine sahip olan seçilip, farklı lagün alanları ve farklı lagün içi ısı transfer katsayıları ile simüle edilip, zeytin karasuyunun buharlaşma davranışı incelenmiştir.



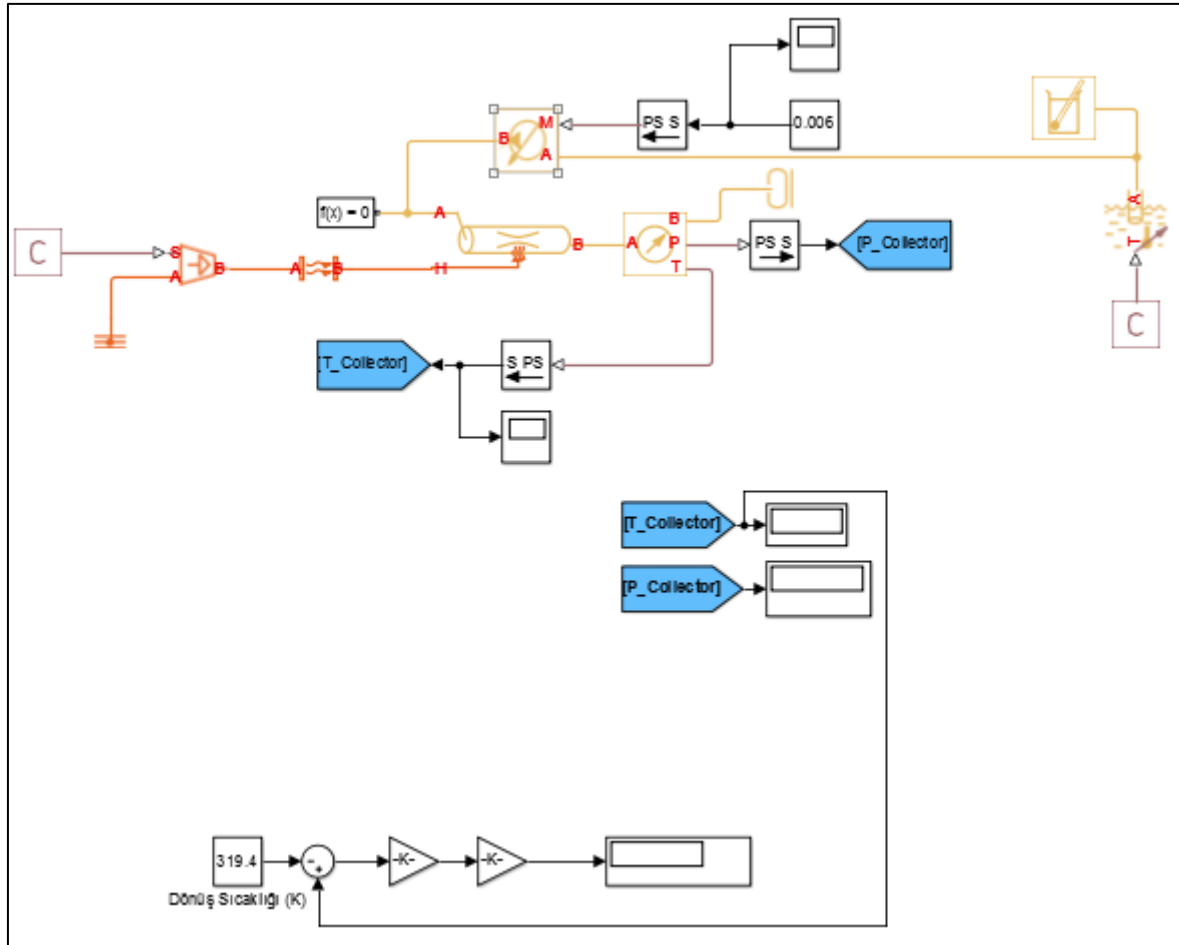
Şekil 5.1. Tasarlanan sistemin blok diyagramı



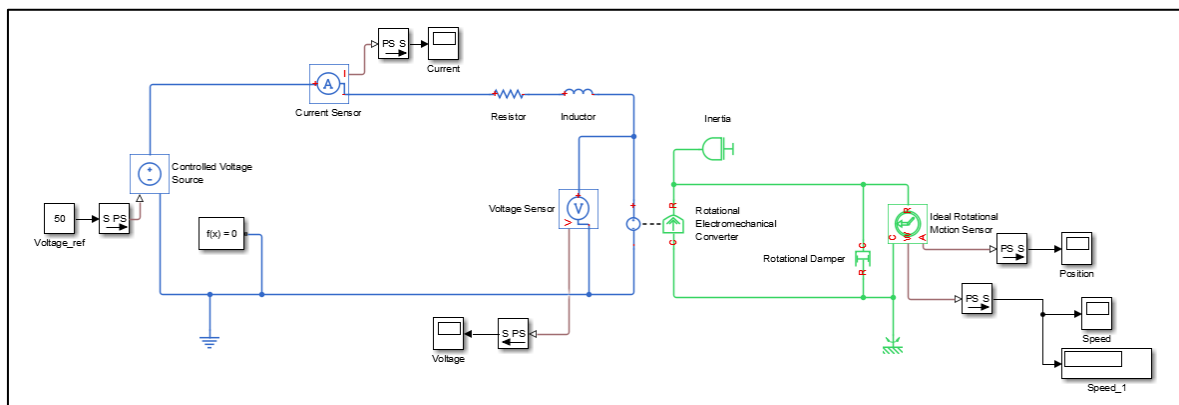
Şekil 5.2. 1B modelin girdi ve çıktı şeması

Bu çalışmadaki başlıca amaçlardan biri, farklı kolektör tiplerinin değişken direkt ısıtım değerlerinde akışkana aktardıkları ısı miktarının karşılaştırılması ve zeytin karasuyunun buharlaşmasındaki etkileri incelemektir. Öte yandan karasuyun lagün içerisinde buharlaştırmaya bırakılması ve buharlaşma için gerekli alan büyüklüğünün belirlenmesi için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, içerisinden iş akışkanı geçirilen boru demeti lagün üzerine bırakılacak ve zeytin karasuyu konveksiyon ile ısı ve kütle transferine maruz kalacaktır. Bunun yanı sıra, zorlanmış konveksiyonla zeytin karasuyun buharlaşma etkisinin incelenmesi için, ısı transfer katsayısı artırılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

Simülasyonu gerçekleştirilen kolektör modeli Şekil 5.3.'de verilmiştir. Emici boru içerisinden iş akışkanının hareketi sağlanması için debi hızı ayarlanabilen bir pompa kullanılmıştır. Pompanın hızını kontrol edebilmek için Şekil 5.4.'de verilen bir kontrol mekanizması oluşturulmuştur. Pompa iş akışkanı 90 °C değerine ulaştığı zaman akışkan debisini düşürüp bu değerin üzerine çıkmamasını sağlayacaktır. Böylelikle lagün modeli iş akışkanı kaynama noktasına gelmeden buharlaşmaya zorlanacak ve bu şartlar altında buharlaşma davranışı incelenmiştir. İş akışkanı kaynama sıcaklığına ulaşmadığı durumlarda ise pompa iş akışkanının sabit debide sirkülasyonu sağlayacak şekilde modellenmiştir. Kolektör çıkış ve girişlerine sıcaklık sensörü tanımlanarak faydalı ısı hesabı için alt model oluşturulmuştur. Bu model ile birlikte simülasyonun gerçekleştiği tüm zamanlarda faydalı ısı hesaplanmıştır. Lagün içerisinde ısınıp karasuya bırakan boru demedi içerisindeki iş akışkanın kolektöre dönüş sıcaklığı sistemde tanımlanmıştır ve her döngüden sonra kolektöre fiziksel sinyal olarak gönderilmiştir.



Şekil 5.3. MATLAB Simscape arayüzünde oluşturulan kolektör 1B modeli

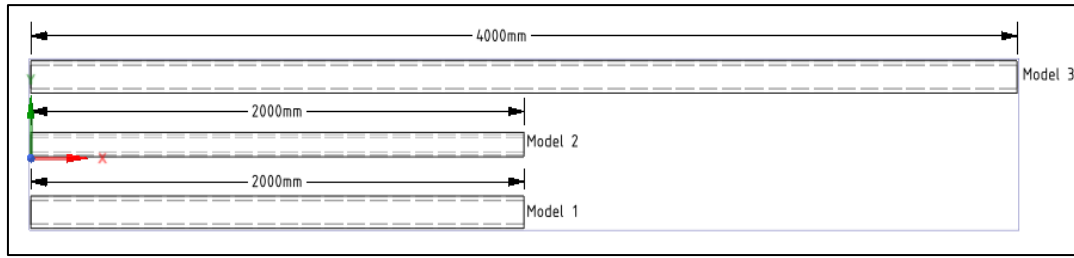


Şekil 5.4. Pompa debi kontrol 1B modeli

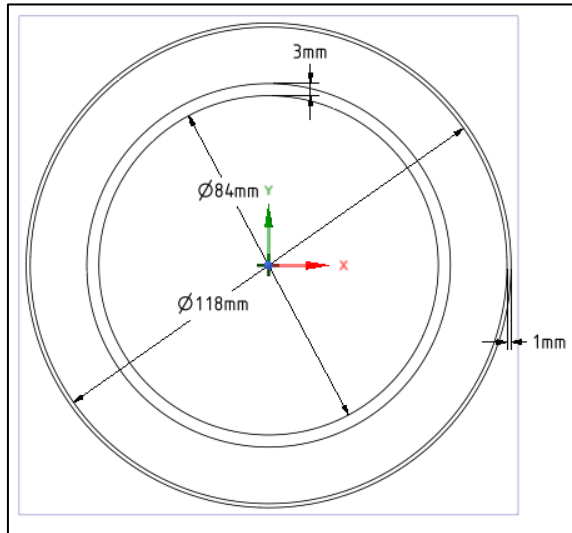
Tüm kolektör tiplerinde yansıtıcı yüzey sabit kabul edilmiştir. Emici tüp çapı, cam örtü çapı ve emici tüp ile cam tüp uzunluğu değişken olarak seçilmiştir. Çizelge 5.1.'de simülasyonlarda kullanılan kolektör modellerinin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. Kolektör tipleri için simülasyon parametreleri

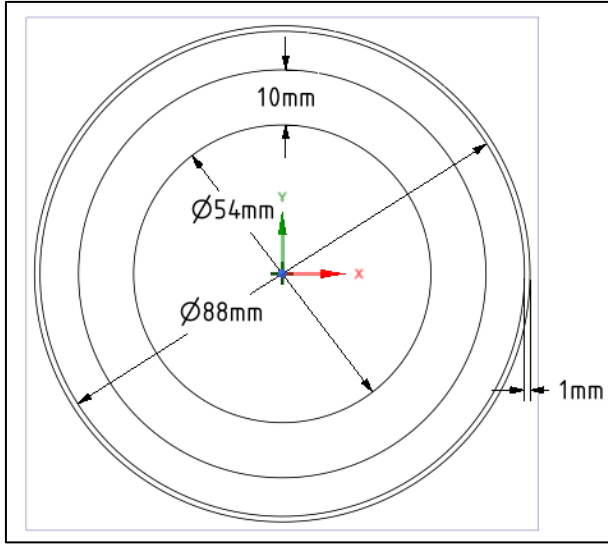
Parametreler	Kolektör Tipi		
	Model 1	Model 2	Model 3
Emici Boru Dış Çap(mm)	90mm	74mm	90mm
Emici Boru İç çap(mm)	84mm	54mm	84mm
Emici Boru Uzunluğu(mm)	2000mm	2000mm	4000mm
Emici Boru Et Kalınlığı(mm)	3mm	10mm	3mm
Emici Boru Malzemesi(mm)	Paslanmaz Çelik	Paslanmaz Çelik	Paslanmaz Çelik
Emici Boru Isı İletkenlik Katsayısı (W/m^2K)	16(W/m^2K)	16(W/m^2K)	16(W/m^2K)
Cam Örtü Dış Çapı(mm)	120mm	90mm	120mm
Cam Örtü İç çapı(mm)	118mm	88mm	118mm
Cam Örtü Uzunluğu(mm)	2000mm	2000mm	4000mm
Cam Örtü Et Kalınlığı(mm)	1mm	1mm	1mm



Şekil 5.5. Emici boru ve cam tüp uzunlukları



Şekil 5.6. Model 1 ve model 3 emici boru ve cam tüp çap değerleri

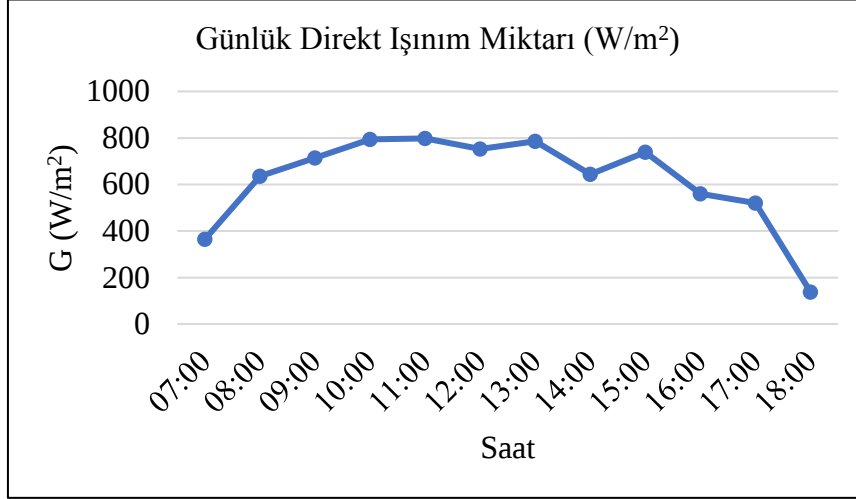


Şekil 5.7. Model 2 emici boru ve cam tüp çap değerleri

Emici boru tasarımında boru çapının belirlenmesi bir optimizasyon problemidir. Daha fazla güneş ışıınımı alması için boru çapı büyük seçilmelidir. Ancak bu durumda borunun kesit alanı büyüyecek ve yansıtıcı yüzeye düşen boru gölgesi genişleyerek yoğunlaştırma oranı azalacaktır. Diğer taraftan borunun dış yüzey alanının büyümesi ile çevreye olan ısı kayıpları da artacaktır. Boru çapı küçük seçilirse boru içi akışın türbülanslı hale getirilmesi sağlanır ve boru dış yüzey alanının küçülmesi ile çevreye olan ısı kayıpları azalır. Diğer yandan odağa yoğunlaştırılan güneş ışıınımını yakalamak zorlaşacak ve hassas bir odaklama yapılmazsa emici boruya yansıtılan enerji miktarı azalacaktır. Özetle boru çapı büyük seçilirse optik verim artarken ısı verim düşmekte, boru çapı küçük seçilirse optik verim azalırken ısı verim artmaktadır. Ayrıca kullanılacak emici boru malzemesinin, güneş ışıınlarını yansıtıcılık, yutuculuk veya soğuruculuk değerleri göz önüne alınarak seçilmesi de önemlidir. Emici boru malzemesinin yutuculuk değeri mümkün olduğu kadar büyük olması gerekirken yansıtıcılık değerinin mümkün olduğu kadar küçük olması gerekmektedir. Bu yüzden emici boru tasarımında malzeme ve çap için en uygun (optimum) değerler belirlenmelidir [31].

Parabolik sistemlerde cam örtü ısı kayıpları azaltmak için kullanılır. Parabolik yansıtıcı yüzeylerden emici boruya yoğunlaştırılan güneş ışıınları emici borunun ısınmasına neden olur. Sıcaklığı yükselen emici borudan çevreye ısı transferi olmaya başlar. Emici borudan çevreye olan ısı transfer miktarı ne kadar fazla olursa ısı transfer akışkanına aktarılan enerji

de o oranda düşmektedir. Bu istenmeyen bir durumdur. Bu durumu önlemek için emici boru çevresi cam örtü ile çevrelenir. Böylece ısı kayıplar azaltılmış olur [41].



Şekil 5.8. Günlük direkt ışıınım miktarı

Seçilen 3 farklı kolektör modeline göre simülasyonlar gerçekleştirildikten sonra, farklı lagün alanları ve farklı ısı transfer katsayılarına göre simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Seçilen ısı transfer katsayıları ve lagün alanları Çizelge 5.2.'de verilmiştir.

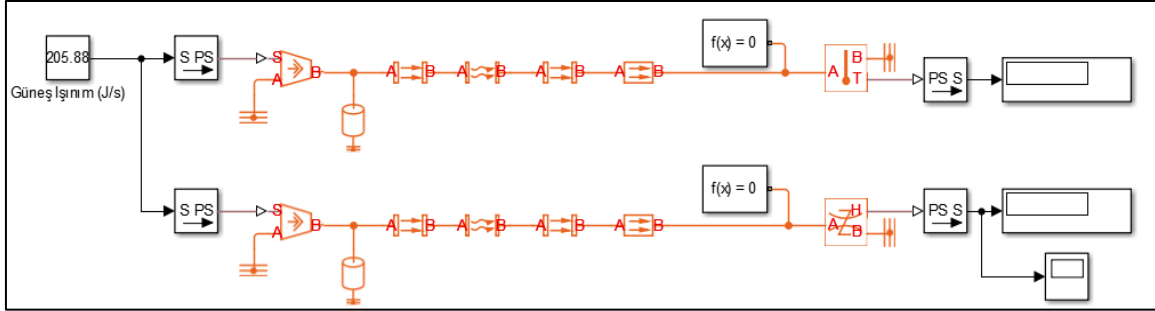
Çizelge 5.2. Simülasyon varyasyonları

Simülasyon No	Isı Transfer Katsayısı (W/m ² K)	Lagün Alanı (m ²)
1	20	225
2	20	400
3	20	625
4	60	400
5	90	400



Şekil 5.9. Isı Transfer katsayısı artırılacak alan

MATLAB Simulink/Simscape paket programında kolektör termal direnci aşağıda gösterildiği gibi modellenmiştir. Vakumlu alandaki iletim ve taşınım ile olan ısı transferi, cam örtüde iletimle olan ısı transferi simülasyonlarda ihmal edilmiştir. Program ara yüzünde kolektör ısı kayıp modellemesi Şekil 5.10.'da verilmiştir.



Şekil 5.10. Simscape arayüzünde modellenen ısı kayıp şeması

Kolektör emici boru simülasyonda, bir termal sıvının boru gibi kapalı bir kanaldan akışını şeklinde modellenmiştir. Borunun cidarı sert ve radyal yönde genişleme ve büzülme izin vermeyen bir yapıda kabul edilmiştir. Termal sıvı portları eşit yüksekliklerde kabul edilmiştir. Borudaki basınç kaybı, akışkan ve boru arasındaki sürtünmenin ve portlar arasındaki yükseklikteki artış veya düşüşün bir fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Hızlı akış değişikliklerinde, su darbesi etkisi ile ilişkili olduğu durumlarda, gelişmiş hassasiyet için blok, sıvının ve ataletinin dinamik sıkıştırılabilirliğini yakalamak için yapılandırılmıştır.



Şekil 5.11. 1B modellemesi yapılan emici borunun fiziksel görünümü

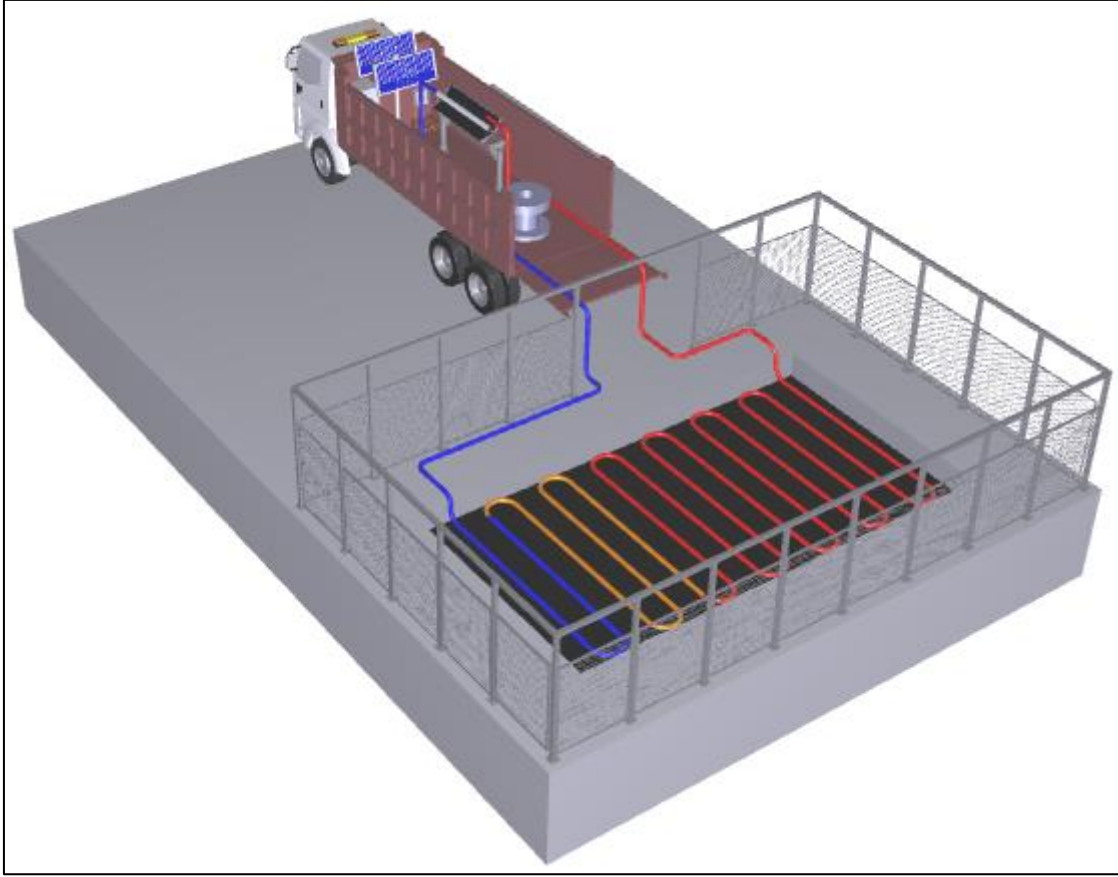
Boru boyunca sıcaklık değişimi, boru ile modelin geri kalanı arasındaki enerji alışverişlerinden belirlenmiştir. Bu değişiklikler arasında, termal enerjinin termal sıvı portları (kolektör giriş ve çıkış) yoluyla içsel olarak uyarılması ve iletilmesine ve ısının termal port (kolektör ısı kayıpları) yoluyla taşınmasına bağlı olanlar yer alır. Hesaplama

ayrıca, termal sıvı portları arasındaki simülasyon sırasında oluşan yükseklik ve statik basınçtaki farklılıkları da göz önünde bulundurulmuştur.

Program ara yüzünde lagün, değişken sıvı hacmine sahip bir termal sıvı kabını şeklinde modellenmiştir. Lagün sıvı hacminin mutlak basıncı sabit varsayılmıştır. Modellenen lagün, çevresi ile enerji alışverişi yaparak iç sıcaklığının ve basıncının zamanla değişmesine izin verecek şekilde tasarlanmıştır. İş akışkanı hazne içerisine girdikten sonra, ısı transferi konveksiyon ve iletim ile gerçekleşmektedir. Lagün basıncı, lagün hacmi boyunca sabit ve eşit kabul edilmiştir.

5.3. 3B Modelleme ve Ekonomik Analiz

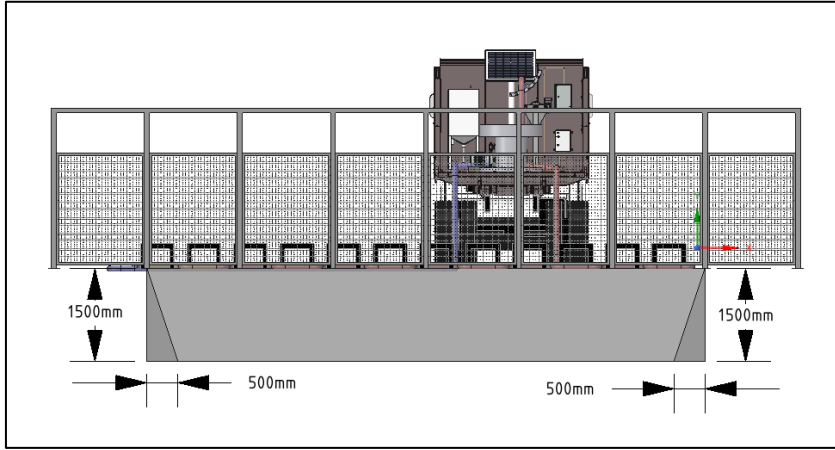
Yapılan bu çalışmanın başlıca amacı, zeytinyağı üretim prosesinden sonra ortaya çıkan pirinin karasudan arıtımının ekonomik ve hızlı bir şekilde gerçekleştirmektir. Bu nedenle sistemin 3B mekanik tasarımı hem zeytinyağı fabrikalarının entegre olarak kullanabileceği şekilde, hem de kiralama yoluyla kullanabilecekleri bir sistem tasarlanmıştır. Her iki kullanım şekli için de zeytinyağı fabrika tesisinin içerisine yıllık atık miktarını karşılayacak lagün inşa edilmelidir. Entegre kullanım için sistemde bulunan tüm ekipmanların zeytinyağı fabrikası içerisinde konuşlandırılması gerekmektedir. Kiralama metodunda ise yalnızca lagün inşası yeterli olacaktır. Sistemin tasarımında, oluk tipi parabolik güneş kolektörü, sirkülasyon pompası, pompanın ve kolektör güneş takip mekanizmasının enerjisini sağlayacak güneş paneli ve inverter kullanılmıştır. Isıtma (iş) akışkanının lagün üzerinde dolaşımını sağlamak için, literatürde ve sektörde HDPE olarak bilinen boru tipi kullanılması öngörülmüştür.



Şekil 5.12. Kiralama yolu ile kullanılabilecek sistemin 3B mekanik tasarımı

Zeytin karasu atıklarının buharlaştırılmasında lagünler kullanılmaktadır. Bu lagünler çevre ve insan sağlığı açısından, literatürde belirtilen standartlara uygun olarak tasarlanıp inşa edilmelidir. Çalışma kapsamında zeytin karasuyunun lagün modeli içerisinde konuşlandığı varsayılmıştır ve lagün modeli standartlara göre tasarlanmıştır. Zeytin karasuyu lagünlerinin etrafı koruyucu teller ile çevrilip, lagünün olduğu bölge belirgin hale getirilmelidir. Lagünlerin yan duvarları maksimum 1/3 eğim oranına sahip olmalıdır. Bu duvarların üzerine yine 1/3 oranında duvarın altında olabilecek kaçakların azaltılması ayrıca meydana gelebilecek diğer etkileri engellemek için toprak sedde inşa edilmelidir. İnşaat safhasında tabana ve yanlara serilen kaplama amaçlı kil tabakası ıslatma ve diğer metotlar kullanılarak kuruma, çatlama veya parçalanmalardan korunmalıdır. Lagünlerin inşaatının yapılması için lagün tabanı ile yer altı suyu seviyesi arasında minimum 2 m kot farkı olması gerekmektedir. Lagün taban ve yanlarında kullanılacak kil malzemesi orta derecede yoğrulabilir ve iyi kaliteye sahip olmalıdır. İçerisinde toprağın üst tabakasından, ağaç kök ve herhangi bir organik madde kalıntısı olmamalı ve maksimum kuru yoğunlukta sıkışabilir olmalıdır. Uygun kil bulunmaması durumunda sentetik kaplama malzemesi etkili bir kontrolün

sağlanması için kullanılmalıdır. Yapılan çalışma kapsamında, 1/3 oranı kullanılarak derinliği 1,5 m olan lagün modeli kullanılmıştır. Yapılan simülasyonlarda, yüzey alanı sırası ile 225 m², 400 m², 625 m² olarak modellenmiştir.

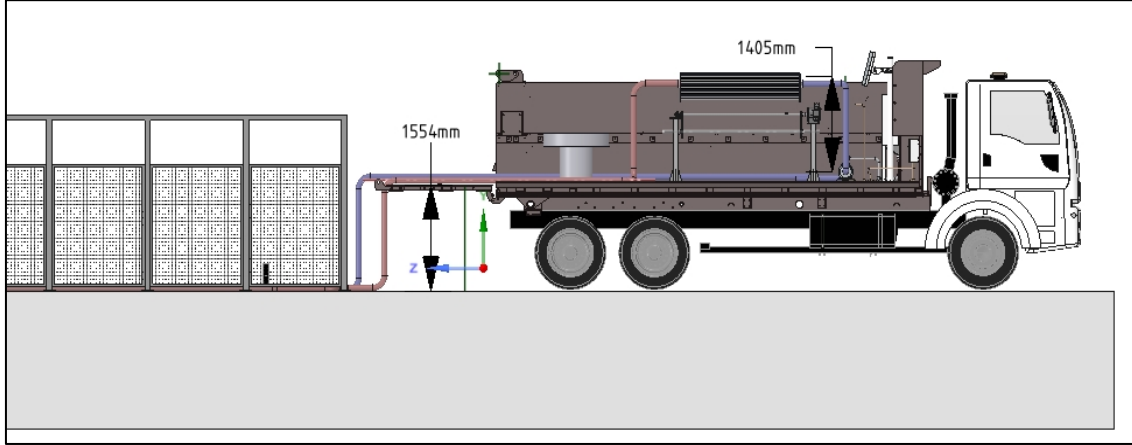


Şekil 5.13. 1/3 oranında tasarlanan lagün modeli

Sirkülasyon pompası halk arasında devir-daim olarak da bilinen, pompa sıcak sulu ısıtma tesisatlarının önemli bir parçasıdır. Pompa sıcak sulu ısıtma sistemleri, ısıtmasını boru hattında ısıtıcı akışkanın dolaşımını ayrıca bir ısıtma pompasıyla yapan sistemlerdir. Sirkülasyon pompası bu sistemde suyun, yani akışkanın devrini arttırmak üzere çalışır. Isıtma süresince bu pompalar çalışmayı bırakmaz. Kapalı ısıtma sisteminde akışkan olarak bilinen su, tesisat boyunca dolaşır. Bu dolaşımı sağlayan da en basit anlatımla sirkülasyon pompasıdır.

Sirkülasyon pompaları üç ayrı bölümden oluşan bir sistem ile çalışır. Bunlardan ilki elektrik motorudur. Elektrik motoru, dökme demirden üretilen motor gövdesi, Stator Sargılan isimli bobin teli, suda çalışmaya uygun rotor, bobinlerin suyla temas eden pompa kısmından koruyan ve paslanmaz çelik su geçirmez gömlek, karbon yataklar, 100 °C dayanıklı contalar ile mil ve pirinç kör tapadan oluşmaktadır. 2. kısım pompa gövdesi, dökme demirden üretilen ve salyangoz olarak da bilinen bölümdür. Pompanın dış bölümü suyun uygun şekilde akışından sorumludur. Pompanın daha verimli çalışmasını sağlayan birtakım bileşenlere sahiptir. Sirkülasyon pompasının 3. ve son bölümü ise fandır. Üretimi son derece kolay ve az maliyetli olan fan ile pirinçten fan göbeği ile birlikte üretilen bu parça pompalanacak akışkan ve çalışma koşullarına göre farklı özelliklerde üretilabilmektedir. Malzeme olarak paslanmaz çelik ya da noryl kullanılabilir.

Sirkülasyon pompası seçiminde, sistemin çalışma debisi ve basma yüksekliği önemlidir. Bu çalışmada, simülasyonu yapılan düzeneğin, yüksek debi altında ısı transfer yeteneğinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle, çalışma sıvısı yüksek debide çalıştırılacak ve çalışma sıvısı kaynama sıcaklığına geldiği zaman sirkülasyon pompası debisini düşürecektir. Sirkülasyon pompası için basma yüksekliği hesabı aşağıdaki formül ile yapılabilir.



Şekil 5.14. Kiralama yoluna gidilecek sistem için pompa çalışma yükseklikleri

Şekil 5.14.'den de görüleceği üzere, tasarlanan sistemin emme ve basma yükseklikleri oldukça düşüktür. Bu nedenle seçilecek olan pompanın düşük basınç ve yüksek debide çalışma yeteneğine sahip olması gerekmektedir. Literatürde ve sektörde tarımsal sulama ihtiyacı için kullanılan sirkülasyon pompaları mevcuttur. Bu sistem için aşağıdaki hesaplamalar yapılarak pompa seçimi yapılmıştır. Pompa seçimi, simule edilen en yüksek lagün alanı 625 m^2 seçilerek yapılmıştır. Simülasyonlarda en yüksek debi değeri $0,1 \text{ kg/s}$ olarak alınmıştır.

Debi değeri göz önünde bulundurulduğunda, bu çalışmadaki gibi bir sistem için, $1,1 \text{ kW}$ ($1,5 \text{ hp}$) motor gücüne sahip bir pompanın seçilmesi öngörülmüştür. Bu güce sahip bir pompanın aşağıdaki teknik özelliklere sahip olması beklenmektedir.

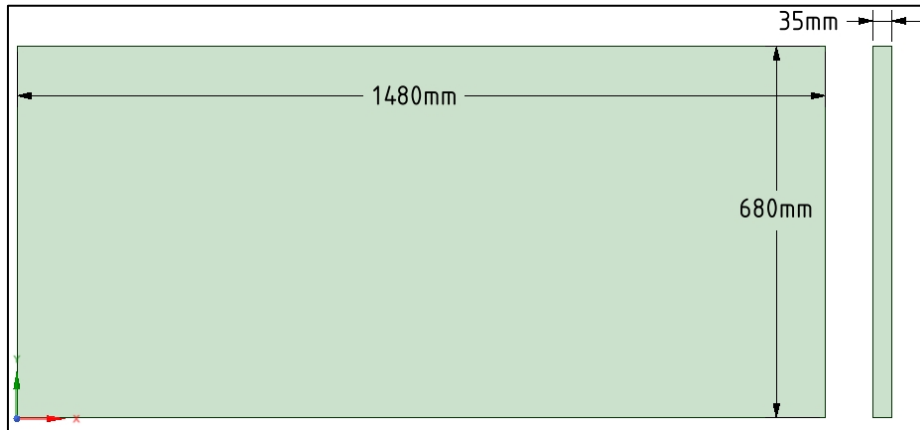
Çizelge 5.3. Seçilen pompanın teknik özellikleri

Motor							Pompa								
KW	HP	V	A	Emiş	Giriş	W	L	H	KG	m ³ /h	2	4	6	9	12
				m	Çıkış	mm	mm	mm							
1,1	1,5	220	6,3	6	1.1/2"	190	321	253	13,5	MSS	30	28	25	16	5

Seçilen pompa ve parabolik kolektörün güneş takip mekanizmasının elektrik enerjisi ihtiyacı için yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi kullanılması öngörülmüştür. Bu sistem için 1,5 kW'lık bir güneş enerji sistemi yeterli olacaktır. Güneş enerji sistemi aşağıdaki çizelgedeki özetlenmiştir.

Çizelge 5.4. 1,5 kW Güneş paneli paket içeriği

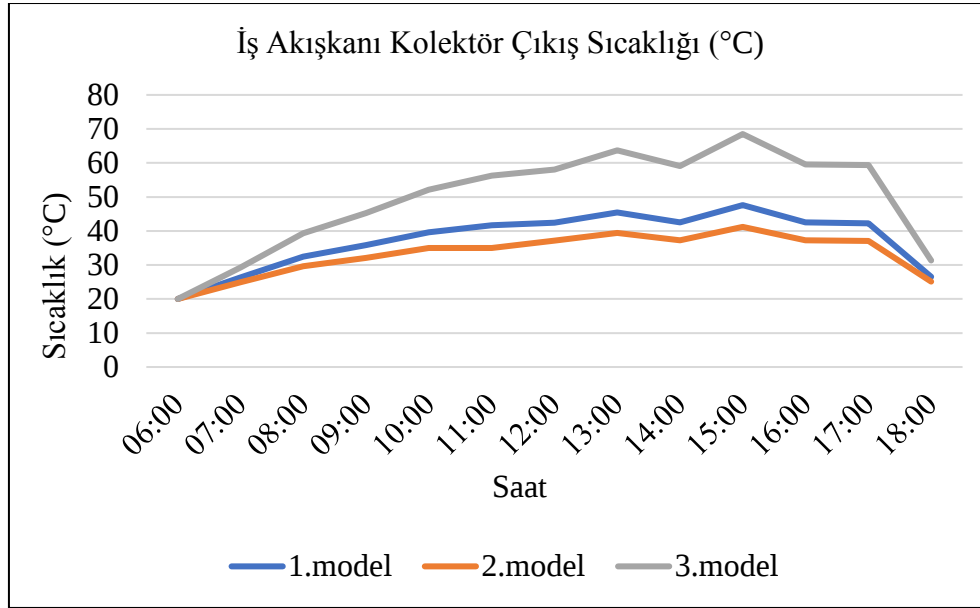
Malzeme İçeriği	Adet
150W Güneş Enerji Paneli	2 adet
1500Watt Inverter	1 adet
30Amper Şarj Regülatörü	1 adet
100Amper Jel Akü	2 adet
Solar Kablo	-
Paralleleme Konnektörü	-
Bağlantı Konnektörleri	-
Kontrol ve akü panosu	-
Pano montaj Profilleri	-
Güneş Paneli Bağlantı Profilleri	-



Şekil 5.15. Sistemde kullanılacak güneş paneli boyutları

HDPE borular, diğ er boru çeşitlerine nazaran yüksek performanslıdır ve kalitelidir. Dayanıklılığı ile dikkat çeken HDPE borular, yüksek dirence sahip olmalarının yanında aynı zamanda hafiftirler. Kesinlikle paslanma yapmayan HDPE borular, bu nedenle dağıtım sistemlerinde uzun süreli kullanılır. Bu tip borular kırılma tehlikesi içermez. Dayanıklılığı onun madencilik sistemlerinde, çiftliklerde ya da katı atık depolarında kabul görmesini sağlamıştır. Tasarlanan sistemde, en fazla lagün alanı göz önünde bulundurulduğunda yaklaşık 90 mm çaplı, lagün alanı ile değişen boru uzunlukları kullanılmıştır. Lagün alanı arttıkça boru demedi uzunluğu da artmıştır. Buharlaşma hesabı, İzmir ilinin coğrafik koşulları göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Rakım 29 m, enlem 38  olarak alınmıştır. Ortalama gün sıcaklığı 18  C, en yüksek ile en düşük sıcaklık farkı 10  C olarak seçilmiştir.

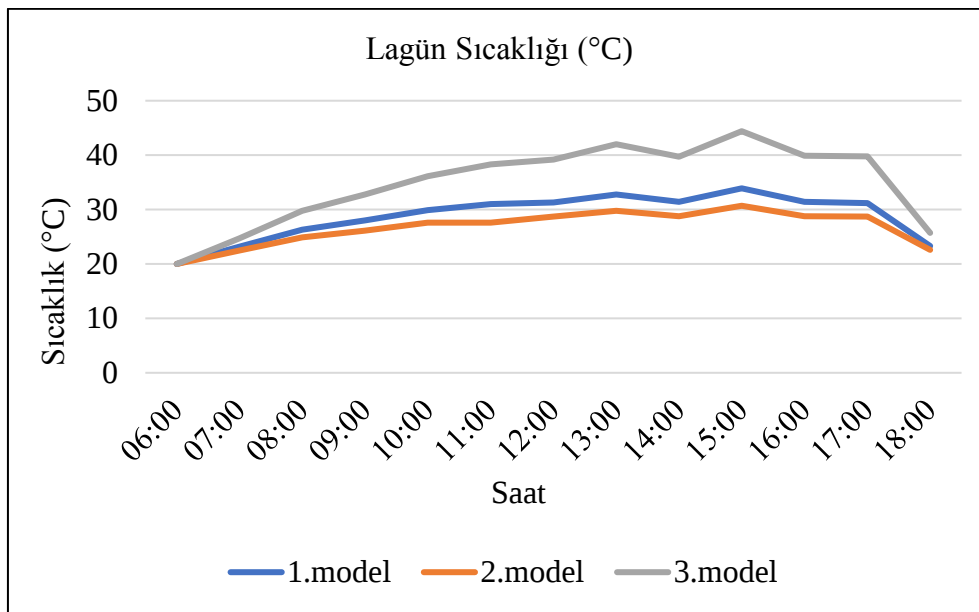
6. BULGULAR VE TARTIŞMALAR



Şekil 6.1. Farklı model tiplerine göre iş akışkanı sıcaklık grafiği

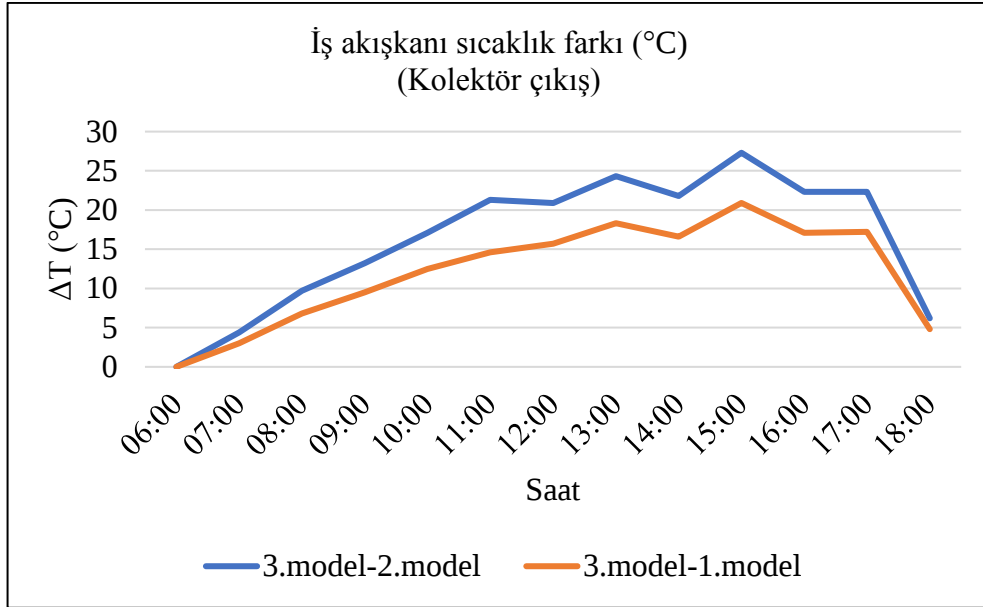
Yukarıdaki grafikte, seçilen farklı tip kolektör modellerine göre iş akışkanının sıcaklık eğrileri verilmiştir. Grafik eğrileri incelendiğinde, iş akışkanı sıcaklığının en yüksek olduğu modelin, 3. model olduğu görülmektedir. Daha sonra sırası ile 1. model ve 2. model olarak görülmektedir. 1. modelin, 2. modele göre avantajlarından birisi, emici tüp ve cam tüp çapının daha büyük olmasıdır. Böylelikle, güneş ışınımını daha fazla emme özelliği göstermiştir. Aynı Şekilde, 3. modelin, 2. modele göre daha yüksek ısı transfer sağlama yeteneğinin olduğu görülmüştür. 3. modelin, 1. modele göre emiciliğinin daha fazla olduğu söylenebilmektedir. Bunun sebeplerinden biri de emici tüp ve cam koyucu tüp uzunluğu arttıkça kolektör yüzey alanı da artmıştır. Böylelikle, güneş ışınımına maruz kalan yüzey alanı artmıştır. 2. modelde, boru dış yüzey alanının küçülmesi ile çevreye olan ısı kayıpları azalmıştır. Diğer yandan odağa yoğunlaştırılan güneş ışınımını yakalamak zorlaşmıştır ve emici boruya yansıtılan enerji miktarı azalmıştır. Güneş ışınımının ve kolektör sıcaklığının arttığı saatlerde (13.30 sonrası), 3. modelin sıcaklık artışının daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. 2. modelde ise sıcaklık artışının sabah saatlerine oranla, stabil artışı söz konusudur. Bu da emici tüp et kalınlığının diğer modellere göre daha kalın olması ve ısı ısınsını akışkana iletme esnasında çevreye olan ısı kaybının fazla olmasından kaynaklıdır. Sabah saatlerinde, 3. modelin emici tüp ve cam örtü çapının büyük olmasından dolayı, düşük kolektör sıcaklığı ve güneş ışınımında da diğer modellere göre iş akışkanı kolektör çıkış

sıcaklığı göz önünde bulundurulduğunda daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca 1. model ve 3. modelin emici tüp kalınlığının 2. modele göre az olmasının da bu iki modele avantaj sağladığı düşünülmektedir. Emici tüp kalınlığının az olması güneş ışınım ışınlarının sıcaklığını iş akışkanına daha kısa sürede ulaştırılacağı ve ısı kaybının daha az olacağı için daha verimli olabileceği söylenebilmektedir. Buharlaşmanın verimli olabilmesi için sistem iş akışkanı 363 K değerine ulaştığı zaman debiyi değiştirip iş akışkanının 363 K altında kalmasını sağlamıştır. Kaynama sıcaklığına ulaşan kolektör olmamıştır, bu nedenle debi sabit kalmış ve simülasyonlar 0,1 kg/s'ye göre gerçekleşmiştir.



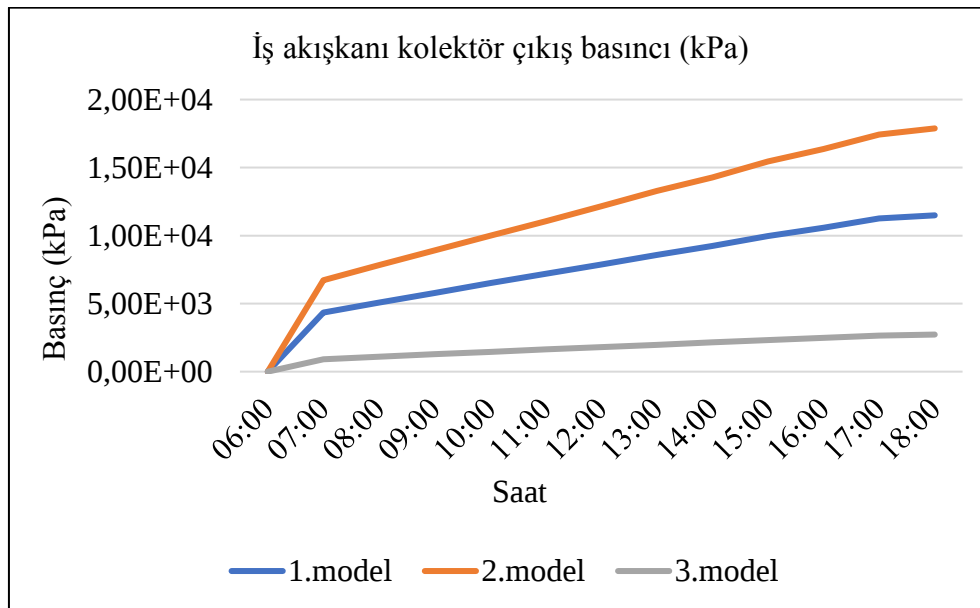
Şekil 6.2. Farklı model tiplerine göre lagün sıcaklık grafiği

Buharlaşmanın verimli olabilmesi için sistem iş akışkanı 363 K değerine ulaştığı zaman debiyi değiştirip iş akışkanının 363 K altında kalmasını sağlamıştır. Kolektör ve lagün arasında boru bağlantıları ile taşınan ısı artan iş akışkanının, taşıma esnasında ısı kaybı uğramadığı varsayılmıştır. Lagün sıcaklıklarına bakıldığında zaman, kolektör sıcaklıklarına paralel olarak, en yüksek sıcaklık 3. modelde, daha sonra sırasıyla; 1. ve 2. modellerde görülmüştür. Sabah saatlerinde sıcaklık artışı en fazla olan model 3. modeldir. Bu da lagün içerisindeki zeytin karasuyunun buharlaşmasında olumlu bir etki yaratacaktır. Sabah saatlerinde 1. ve 2. model arasında yüksek sıcaklık farkları görülmemiştir.



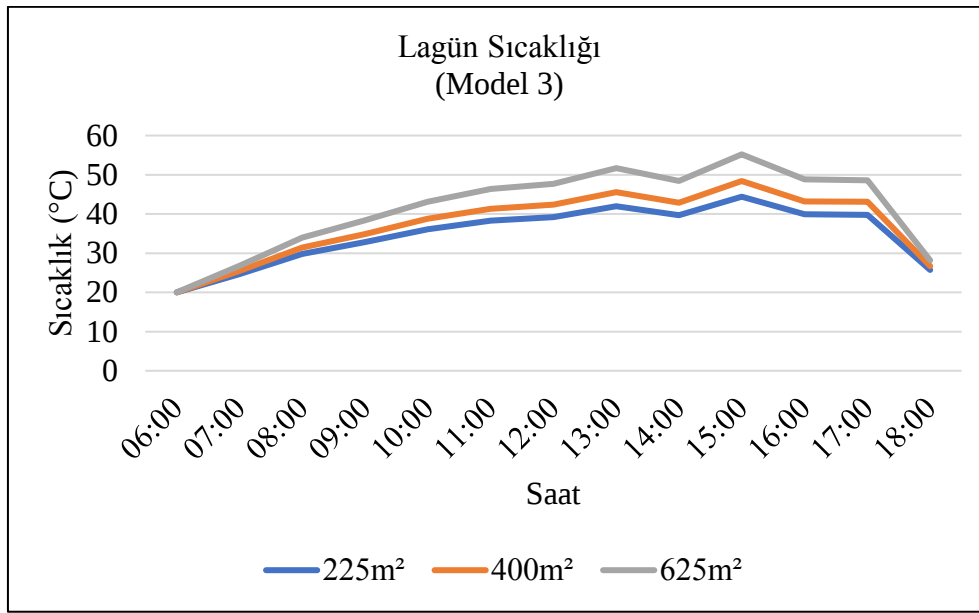
Şekil 6.3. Modeller arasında iş akışkanının sıcaklık farkı

Modeller arasında iş akışkanının sıcaklık farklarına bakıldığında zaman, günün tüm saatlerinde 3. modelin diğer modellere göre kolektör çıkışında, sıcaklığının yüksek olduğu görülmektedir. Bu sıcaklık farkının yüksek olması, 3. model için buharlaşma süresinin ve miktarını artırma yönünde avantaj sağlayacaktır. Özellikle güneş ışınlamı arttıkça, sıcaklık farkı artmaktadır. En yüksek sıcaklık farkı 27,3 °C ile saat 15.00'da görülmüştür.



Şekil 6.4. İş akışkanı kolektör çıkış basınç grafiği

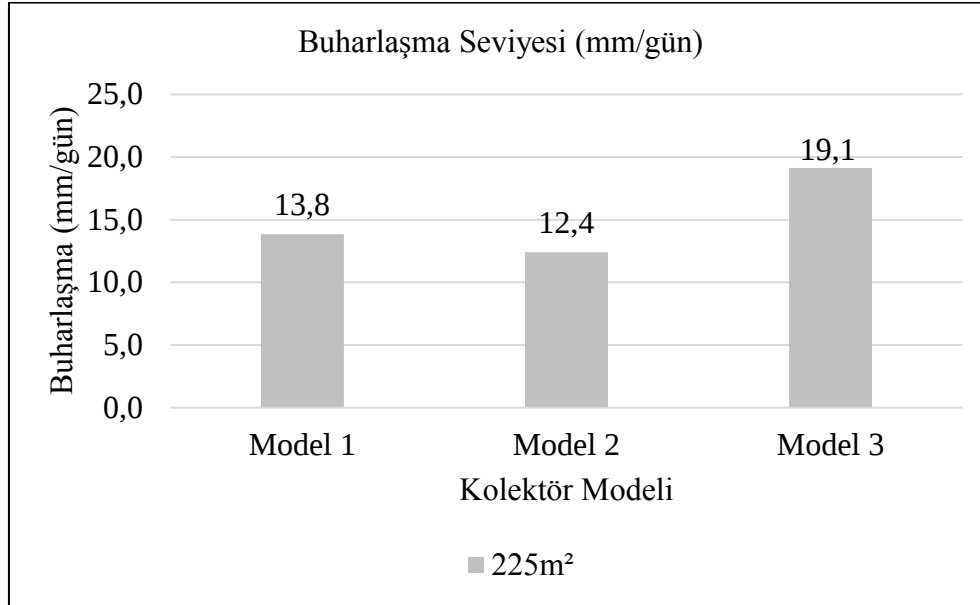
İş akışkanı kolektör çıkış basınç grafiğine bakıldığında, basınç değerinin en yüksek olduğu model 2. model, daha sonra sırasıyla 1. ve 3. model olduğu gözlemlenmiştir. 2. modelin basınç değerlerinin diğer modellerden daha fazla olmasının başlıca nedeni emici tüp çapının diğer modellere göre daha az olması olarak görülebilir. 1. ve 3. modelin çap değerleri 2. modele göre daha büyüktür. Bu nedenle iş akışkanına etki eden yüzey alanı 2. modele göre daha fazladır. Bu da basınç değerinin bu iki modelde daha az olmasına neden olmaktadır. Basınç grafiğine bakıldığında, her üç modelde de günün her saatinde artış söz konusudur.



Şekil 6.5. Farklı lagün alanlarına göre lagün içi sıcaklık grafiği

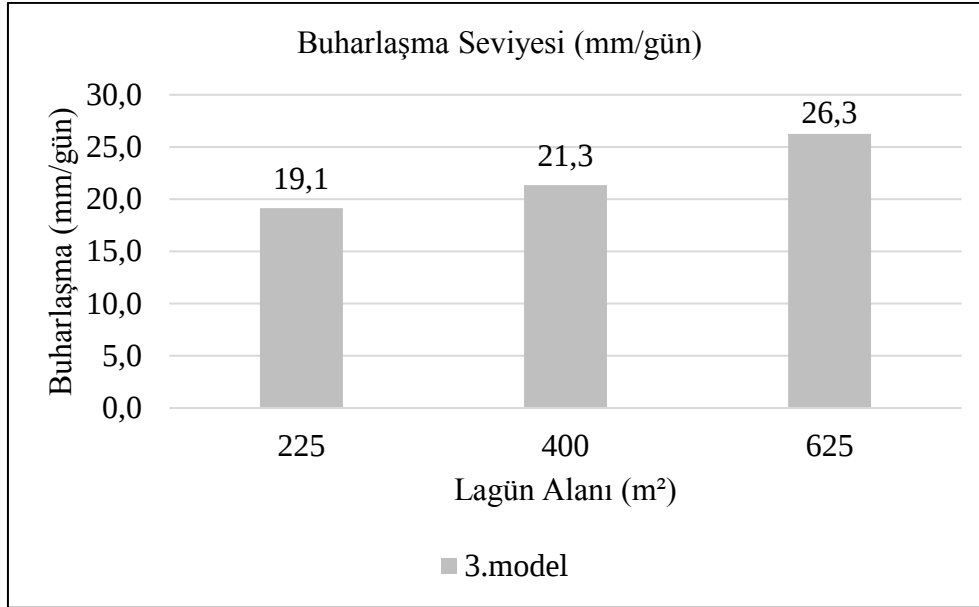
Şekil 6.2'ye göre, modellenen üç farklı kolektör tipinden en verimli modelin 3. model olduğu düşünülmektedir. Bunun en büyük sebebi, 3. lagün sıcaklığının diğer modellere göre daha fazla olmasıdır. 3. model diğer yapılan simülasyonlarla aynı şartlar altında (güneş ışıması, çevre sıcaklığı vs.), farklı lagün alanları seçilerek simüle edilmiştir. Şekil 6.5'de, farklı lagün alanlarındaki lagün içi sıcaklık değeri verilmiştir. Şekil 6.5.'den görüleceği üzere, lagün alanı arttıkça, lagün içi sıcaklık da artmaktadır. Bunun başlıca sebeplerinden biri de lagün alanının ısı transfer yüzeyinin artmasıdır. Aynı zamanda lagün alanı büyüdükçe, lagün üzerinde bulunan boru demeti sıklığı da artacaktır ve mevcut alan daha fazla iş akışkanı dolaşımına maruz kalacaktır. Lagün içi en yüksek sıcaklık 625 m² alanda olup, 55,2 °C olarak gözlemlenmiştir. Daha sonra, 400 m²'lik alanda 48,4 °C, 225 m²'lik alanda 48,4 °C

olarak hesaplanmıştır. Bu simülasyon sonrasında beklenen sonuç, bu tarz bir sistemin kolektör ve alan optimizasyonu açısından yol gösterici olmasıdır.



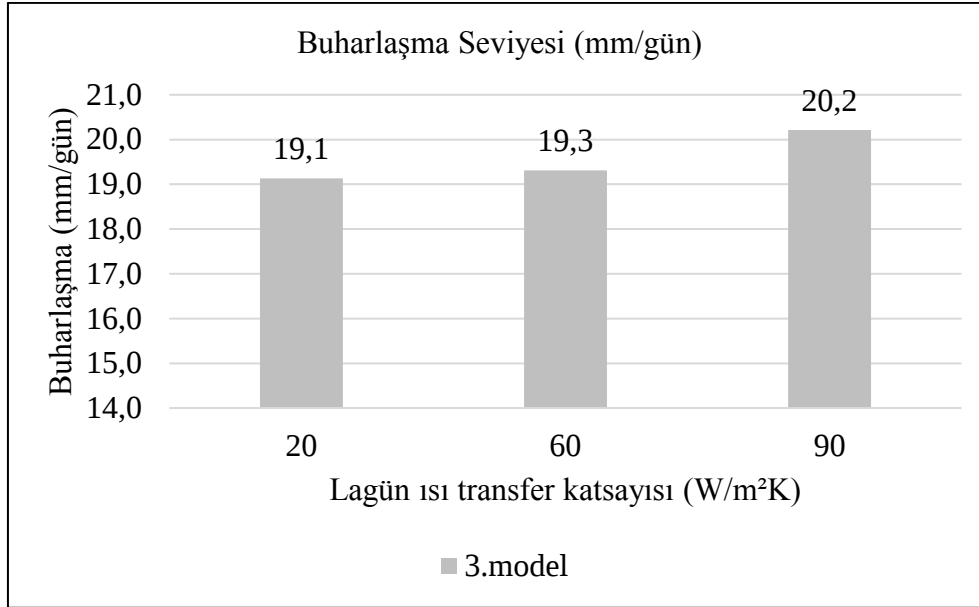
Şekil 6.6. Karasu buharlaştırma miktarı grafiği

Kolektör alanı 225 m². olarak seçilip, belirlenen kolektör modellerinin simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara bakıldığı zaman buharlaşmanın en fazla olduğu model3.model, daha sonra sırasıyla 1. model, 2. modeldir. Lagün alanının sıcaklığı arttıkça, buharlaştırma miktarı da artmıştır. Böylece, pirinadan ayrılan su buharı miktarı da buna paralel olarak artacaktır. Buharlaştırma miktarının fazla olması, buharlaştırma süresi açısından önemlidir. Buharlaştırma süresinin hızlı olması üretim hacminin yüksek olduğu fabrikalarda çevrim süresi açısından önem arz edecektir. Bu da zeytinyağı üreticilerinin pirina ticareti için önem derecesi yüksek olan bir konudur.



şekil 6.7. Buharlaşma sonrası kalan hacim miktarı farkı

Yukarıdaki grafikte, farklı alanların buharlaşma sonrası lagün içerisinde kalan miktarlar arasındaki fark verilmiştir. Buharlaşma sonrası en az karasu 625 m²'lik alanda, daha sonra sırasıyla; 400 m² ve 225 m²'lik alanlardadır. Grafikten de anlaşılacağı üzere, günün her saatinde 400 m²'lik lagünde diğer lagünlere oranla daha fazla buharlaşma olmuştur. Bunun en büyük sebeplerinden biri lagün içi sıcaklığın bu lagünde diğer lagünlere oranla daha fazla olmasıdır. Büyük lagünlerin avantajı karasu buharlaştırma süresinin diğer lagünlere göre daha hızlı olması olarak değerlendirilebilmektedir.



Şekil 6.8. Isı transfer katsayısının lagün sıcaklığına etkisi

Doğru lagün modeline karar verebilmek adına, 3. kolektör modeli, lagün içerisinde farklı ısı transfer katsayılarına göre simüle edilmiştir. Bu simülasyonun amacı, ortamın ısı transfer katsayısını artırarak, boru demetinde sıcaklığı yüksek iş akışkanı ile lagün içerisinde bulunan karasu arasında ısı transferi ilişkisini gözlemlemektir. Simülasyonlarda ısı transferi katsayısı olarak sırasıyla; 90, 60, 20 W/m²K değerleri seçilmiştir. Grafiğe bakıldığı zaman farklı ısı transfer katsayıları arasında buharlaşma miktarında belirgin fark görülmemiştir.

Bir zeytinyağı üretim tesisinde bulunan lagünlerin sayısı ve hacmi, üretim miktarı ile doğru orantılıdır. Bu çalışmada, lagün ve lagün hacimlerinin sayısı, sırasıyla 2 ve 3 fazlı sistemler için küçük, orta ve büyük ölçekli üretim kapasitesi olarak gösterilmiştir (Çizelge 6.1. ve 6.2.). Yönetmeliklere göre 2 fazlı üretim yöntemine geçilmesi gerektiği düşünülürse, atık su ve prina yan ürün olarak çıkacaktır. 3 fazlı zeytinyağı üretim tesislerinde ürün olarak sulu pirinanın yanı sıra atık suyun çıkması AB tarafından ihracat anlamında kota konulmasına sebep olmaktadır. 3 fazlı üretim tesislerinde lagünlerdeki taşmayı önlemek ve atık yönetiminin sürdürülebilir olarak yapılması Türkiye'nin Pazar payını artıracaktır. Güneş enerjisinin zeytinyağı üretim tesislerine entegre edilmesi hem zeytinyağı üreticisi hem de prina endüstrisi üzerinde olumlu bir etki yaratacaktır.

Çizelge 6.1. 2 fazlı üretim yöntemi için lagün sayısı ve özellikleri

	Küçük ölçekli tesis	Orta ölçekli tesis	Büyük ölçekli tesis
Zeytinyağı üretimi (ton/yıl)	205	569	1025
Atık su ve pirina çıktısı (ton/yıl)	923	2561	4613
Günlük sulu pirina çıktısı (ton/gün)	152	421	758
Günlük depolanması gereken atık miktarı (m ³)	145	402	725
Lagün boyutları	15x15x3	20x20x3	25x25x3
Bir lagünün hacmi (m ³)	675	1200	1875
Lagün sayısı	4	5	6

Çizelge 6.2. 3 fazlı üretim yöntemi için lagün sayısı ve özellikleri

	Küçük ölçekli tesis	Orta ölçekli tesis	Büyük ölçekli tesis
Zeytinyağı üretimi (ton/yıl)	205	569	1025
Atık su çıktısı (ton/yıl)	1127,5	3129,5	5637,5
Günlük atık su çıktısı (ton/gün)	185	514	927
Günlük depolanması gereken atık miktarı (m ³)	177	492	886
Lagün boyutları	15x15x3	20x20x3	25x25x3
Tek lagün hacmi (m ³)	675	1200	1875
Lagün sayısı	3	4	4

Seçilen 3 farklı ölçekteki zeytinyağı tesisinin yıllık zeytinyağı üretim miktarına bağlı olarak atık su ve pirina çıktısı hesaplanmıştır. Günlük depolanması gereken çıktı miktarına göre lagün alanları ve lagün sayısı seçilmiştir. Simülasyonlar sonucu bir günde en fazla buharlaştırma imkânı sağlayan 3. modelin buharlaştırma değerleri ekonomik analiz hesaplamalarında kullanılmıştır. Çizelge 6.3’de günlük buharlaşma miktarı ve boş lagün doldurma süreleri verilmiştir. Tüm atık su ve pirina karışımının pirina tesisine pirina üreticisi tarafından taşındığı kabulü yapılmıştır.

Çizelge 6.3. 2 fazlı tesis buharlaşma miktarı ve boş lagün doldurma süreleri

	Küçük ölçekli tesis	Orta ölçekli tesis	Büyük ölçekli tesis
Zeytinyağı üretimi (ton/yıl)	205	569	1025
Atık su ve pirina çıktısı (ton/yıl)	923	2561	4613
Günlük sulu pirina çıktısı (ton/gün)	152	421	758
Günlük depolanması gereken atık miktarı (m ³)	145	402	725
Lagün boyutları (mxmxm)	15x15x3	20x20x3	25x25x3
Bir lagünün hacmi (m ³)	675	1200	1875
Lagün sayısı (adet)	4	5	6
Toplam lagün hacmi (m ³)	2700	6000	11250
1 kolektör için buharlaşma miktarı (m ³ /gün)	5	8,8	16,7
1 kolektör için buharlaşmadan sonra kalan miktar (m ³ /gün)	140	394	708
1 kolektör için boş lagünü doldurma süresi (gün)	19,29	15,24	15,89
10 kolektör için buharlaşma miktarı (m ³ /gün)	50	88	167
10 kolektör için buharlaşmadan sonra kalan miktar (m ³ /gün)	95	314	558
10 kolektör için boş lagünü doldurma süresi (gün)	28,43	19,08	20,17
20 kolektör için buharlaşma miktarı (m ³ /gün)	100	176	334
20 kolektör için buharlaşmadan sonra kalan miktar (m ³ /gün)	45	226	391
20 kolektör için boş lagünü doldurma süresi (gün)	60,0	26,5	28,8

Çizelge 6.4. 3 fazlı tesis buharlaşma miktarı ve boş lagün doldurma süreleri

	Küçük ölçekli tesis	Orta ölçekli tesis	Büyük ölçekli tesis
Zeytinyağı üretimi (ton/yıl)	205	569	1025
Atık su ve pirina çıktısı (ton/yıl)	1127,5	3129,5	5637,5
Günlük sulu pirina çıktısı (ton/gün)	185	514	927
Günlük depolanması gereken atık miktarı (m ³)	177	492	886
Lagün boyutları	15x15x3	20x20x3	25x25x3
Bir lagünün hacmi (m ³)	675	1200	1875
Lagün sayısı	3	4	4
Toplam lagün hacmi (m ³)	5	8,8	16,7
1 kolektör için buharlaşma miktarı (m ³ /gün)	172	483	869
1 kolektör için buharlaşmadan sonra kalan miktar (m ³ /gün)	2025	4800	7500
1 kolektör için boş lagünü doldurma süresi (gün)	11,76	9,94	8,63
5 kolektör için buharlaşma miktarı (m ³ /gün)	25	44	83,5
5 kolektör için buharlaşmadan sonra kalan miktar (m ³ /gün)	152,19	447,81	802,46

Çizelge 6.4. (devam) 3 fazlı tesis buharlaşma miktarı ve boş lagün doldurma süreleri

5 kolektör için boş lagünü doldurma süresi (gün)	13,31	10,72	9,35
10 kolektör için buharlaşma miktarı (m ³ /gün)	50	88	167
10 kolektör için buharlaşmadan sonra kalan miktar (m ³ /gün)	127	404	719
10 kolektör için boş lagünü doldurma süresi (gün)	15,92	11,89	10,43
20 kolektör için buharlaşma miktarı (m ³ /gün)	100	176	334
20 kolektör için buharlaşmadan sonra kalan miktar (m ³ /gün)	77	316	552
20 kolektör için boş lagünü doldurma süresi (gün)	26,23	15,20	13,59

Tesislerde zeytinyağı üretiminin 60 veya 120 gün olarak yapıldığı varsayıp her iki zaman aralığı için de geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Güneş enerji sistemi olmadığı durumda, lagünde taşma olacaktır. Sistemin başlıca amacı taşmaları engellemek ve taşmalardan kaybedilen zeytinyağı üretim miktarını ihraç ederek tesislere kazanç sağlamaktır. Bu nedenle, hesaplamalarda doldurma ve sıkma oranları hesaplanmıştır. Oran aşağıdaki eşitlik 6.1 ile ifade edilebilmektedir.

$$\text{Doldurma/sıkma oranı} = \frac{\text{Boş lagün doldurma süresi (gün)}}{\text{Sıkım yapılan gün sayısı}} \quad (6.1)$$

Toplam üretim oranı (ton/yıl) eşitlik 6.2 ile ifade edilebilmektedir.

$$\text{Toplam üretim} = \text{Doldurma/sıkma} * \text{yıllık zeytinyağı üretim miktarı (ton)} \quad (6.2)$$

Tesislerin ilk yatırım maliyeti hesaplanırken ana elemanlar ve güneş enerji sistemi ayrı ayrı hesaplanmıştır. Simülasyonlar bir güneş kolektörünün kullanım şartlarında gerçekleştirilmiştir. Ekonomik analizde kolektör sayısının 1, 2, 10, 20 olarak kullanımındaki etkileri de hesaplanmış olup, geri ödeme süreleri değerlendirilmiştir. 2 ve 3 fazlı entegre tesis kurulumunda 10 veya 20 kolektör kullanım opsiyonu için geri ödeme süresi hesaplanmıştır. 2 fazlı kiralık sistem tercih edecek tesisler için ise, 1 ve 2 kolektör kullanıldığı düşünülmüştür. Ana elemanların ilk yatırım maliyeti Çizelge 6.5'deki gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 6.5. Ana elemanların ilk yatırım maliyeti

	Küçük ölçekli tesis	Orta ölçekli tesis	Büyük ölçekli tesis
Lagün inşa maliyeti (TL/adet)	12.521	22.260	34.781
Toplam lagün sayısı (2 fazlı tesisler için)	4	5	6
Toplam lagün sayısı (3 fazlı tesisler için)	3	4	4
Koruyucu tel kafes maliyeti (TL) [57]	2.721	4.839	7.562
Toplam ana eleman maliyeti (2 fazlı sistemler için)	52.805	116.137	216.246
Toplam ana eleman maliyeti (3 fazlı sistemler için)	40.284	93.878	146.685

Güneş enerji sistemi için ilk yatırım maliyetleri Çizelge 6.6’da verilmiştir.

Çizelge 6.6. Güneş enerji sistemi ilk yatırım maliyeti

	Küçük ölçekli tesis	Orta ölçekli tesis	Büyük ölçekli tesis
Parabolik kolektör (TL/adet) [58]	26.844	26.844	26.844
HDPE boru demedi (TL) [59]	1.937	3.444	5.381
Sirkülasyon pompası (TL) [60]	680	680	680
PV Sistemi (TL) [61]	8.680	8.680	8.680
Tek kolektörlü sistem maliyeti	38.141	39.648	41.585
Çift kolektörlü sistem maliyeti	76.281	79.295	83.169

Farklı kolektör sayılarına ve zeytinyağı üretim yöntemine bağlı ilk yatırım maliyetleri Çizelge 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Entegre tesis farklı kolektör sayılarına göre ilk yatırım maliyeti

	Küçük ölçekli tesis	Orta ölçekli tesis	Büyük ölçekli tesis
2 fazlı tesis 1 kol. ilk yatırım maliyeti (TL)	90.946	155.785	257.831
2 fazlı tesis 10 kol. ilk yatırım maliyeti (TL)	434.214	512.616	632.095
2 fazlı tesis 20 kol. ilk yatırım maliyeti (TL)	815.622	909.095	1.047.944
3 fazlı tesis 1 kol. ilk yatırım maliyeti (TL)	78.425	133.526	188.270
3 fazlı tesis 10 kol. ilk yatırım maliyeti (TL)	421.693	490.356	562.534
3 fazlı tesis 20 kol. ilk yatırım maliyeti (TL)	803.101	886.835	978.382

Türkiye'nin zeytinyağı endüstrisinde AB pazarına girdiği düşünüldüğünde, entegre tesislerin 60 günlük üretiminden elde edilen doldurma ve sıkma oranlarından ihracat kazancı ekonomik analiz hesaplamalarında kazanç olarak göz önünde bulundurulmuştur. 60 günlük zeytinyağı sıkım süresi şartları altında 3 fazlı tesis için net kazanç hesabı Çizelge 6.8'de verilmiştir. Kurulacak olan entegre sistemde 10 ve 20 kolektör kullanımına bağlı olarak geri ödeme süreleri Çizelge 6.9'da verilmiştir. Kazanç hesabı yapılırken 1 USD=8TL varsayımı yapılmıştır. Ayrıca zeytinyağının uluslararası pazardaki 1 litre için satış fiyatı göz önünde bulundurulmuştur [62].

Çizelge 6.8. Entegre sistem için 3 fazlı zeytinyağı tesisindeki kazanç çizelgesi

	Küçük ölçekli tesis	Orta ölçekli tesis	Büyük ölçekli tesis
Zeytinyağı üretimi (ton/yıl)	205	569	1025
Zeytin yağı üretimi (m ³ /yıl)	222,82	618,47	1114,13
Sistem sayesinde taşma olmadan üretilen miktar (m ³ /yıl)	97,4	156,7	252,3
Doldurma/sıkma oranı kadar ihraç edildiğinde gelir (TL/yıl)	779.398,34	1.253.348	2.018.505

Çizelge 6.9. Entegre sistem için 3 fazlı zeytinyağı tesisindeki geri ödeme süreleri

	Küçük ölçekli tesis	Orta ölçekli tesis	Büyük ölçekli tesis
10 kolektörlü entegre sistem (yıl)	0,54	0,39	0,28
20 kolektörlü entegre sistem (yıl)	1,03	0,71	0,48

Benzer hesaplamalar 2 fazlı zeytinyağı üretim tesisleri için de yapıldığında, Çizelge 6.10 ve 6.11'deki sonuçlar elde edilmektedir.

Çizelge 6.10. Entegre sistem için 2 fazlı zeytinyağı tesisindeki kazanç çizelgesi

	Küçük ölçekli tesis	Orta ölçekli tesis	Büyük ölçekli tesis
Zeytinyağı üretimi (ton/yıl)	205	569	1025
Zeytin yağı üretimi (m ³ /yıl)	222,8	618,4	1.114,13
Sistem sayesinde taşma olmadan üretilen miktar (m ³ /yıl)	223,0	273,2	534,4
Doldurma/sıkma oranı kadar ihraç edildiğinde gelir (TL/yıl)	1.783.600	2.185.494	4.275.525

Çizelge 6.11. Entegre sistem için 2 fazlı zeytinyağı tesisindeki geri ödeme süreleri

	Küçük ölçekli tesis	Orta ölçekli tesis	Büyük ölçekli tesis
10 kolektörlü entegre sistem (yıl)	0,24	0,23	0,15
20 kolektörlü entegre sistem (yıl)	0,46	0,42	0,25

Entegre kurulacak olan sistemden farklı olarak, kiralık kurulacak sistemde güneş enerji sistemi 3. taraf bir şirket tarafından kurulacaktır. Zeytinyağı sıkım tesisi sistemin yalnızca ana elemanlarının kurulum için ilk yatırım maliyeti yapacaktır. 2 fazlı bir zeytinyağı sıkım tesisinin sistemi kiralık kurması durumunda kazanç ve geri ödeme Çizelge 6.12 ve 6.13’de verilmiştir.

Çizelge 6.12. Kiralık sistem için 2 fazlı zeytinyağı tesisindeki kazanç çizelgesi

	Küçük ölçekli tesis	Orta ölçekli tesis	Büyük ölçekli tesis
Zeytinyağı üretimi (ton/yıl)	205	569	1025
Zeytin yağı üretimi (m ³ /yıl)	222,82	618,47	1114,13
Sistem sayesinde taşma olmadan üretilen miktar (m ³ /yıl)	71,6	157,1	295,0
Doldurma/sıkma oranı kadar ihraç edildiğinde gelir (TL/yıl)	573.083,76	1.257.088	2.359.863
Sıkma tesisi için kiralama maliyeti (1000TL/gün)	60.000	60.000	60.000
Net kazanç (TL)	513.083	119.708	2.299.863

2 fazlı bir zeytinyağı tesisinin sistemi kiralık olarak yılda 60 gün kullanması durumunda tesislerin geri ödeme süresi Çizelge 6.13’de verilmiştir.

Çizelge 6.13. Kiralık sistem için 2 fazlı zeytinyağı tesisindeki geri ödeme süresi

	Küçük ölçekli tesis	Orta ölçekli tesis	Büyük ölçekli tesis
Geri ödeme süresi (yıl)	0,10	0,10	0,09

3. taraf şirketin güneş enerji sisteminde 1 veya 2 parabolik güneş kolektörü kullanması durumundaki farklı opsiyonlar değerlendirilmiş olup, geri ödeme süresi Çizelge 6.14’de verilmiştir.

Çizelge 6.14. 3.taraf şirket için geri ödeme süresi

	Küçük ölçekli tesis	Orta ölçekli tesis	Büyük ölçekli tesis
1 kolektörlü sistem için	0,64	0,66	0,69
2 kolektörlü sistem için	1,27	1,32	1,39

Benzer hesaplamalar zeytinyağı sıkım tesislerinin 120 gün çalışma şartlarında yapıldığında geri ödeme süreleri Çizelge 6.15, 6.16 ve 6.17 gibi hesaplanabilmektedir.

Çizelge 6.15. Entegre sistem için 3 fazlı zeytinyağı tesisindeki geri ödeme süreleri (120 gün)

	Küçük ölçekli tesis	Orta ölçekli tesis	Büyük ölçekli tesis
10 kolektörlü entegre sistem (yıl)	1,08	0,78	0,56
20 kolektörlü entegre sistem (yıl)	2,06	1,42	0,97

Çizelge 6.16. Entegre sistem için 2 fazlı zeytinyağı tesisindeki geri ödeme süreleri (120 gün)

	Küçük ölçekli tesis	Orta ölçekli tesis	Büyük ölçekli tesis
10 kolektörlü entegre sistem (yıl)	0,49	0,47	0,30
20 kolektörlü entegre sistem (yıl)	0,91	0,83	0,49

Çizelge 6.17. Kiralık sistem için 2 fazlı zeytinyağı tesisindeki geri ödeme süresi (120 gün)

	Küçük ölçekli tesis	Orta ölçekli tesis	Büyük ölçekli tesis
Geri ödeme süresi (yıl)	0,23	0,20	0,19

7. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Zeytinyağı üretimi, özellikle Akdeniz'e kıyısı olan ülkelerde önemli bir ekonomik potansiyele sahiptir. Bu ürünün üretiminde farklı yöntemler kullanılmakta ve farklı miktarlarda yan ürün ve atıklar elde edilmektedir. Zeytin karasuyu, içeriğinden dolayı çevreye zarar verebilecek bir atıktır ve bertaraf edilmesi gerekir. Bu çalışmada, bu atık suyun farklı üretim yöntemlerine göre güneş enerjisi ile buharlaşmasının 1B analizleri yapılmıştır. Lagünlerde biriken bu atığın doğal olarak buharlaşması yerine güneş enerjisi ile buharlaşması düşünülmektedir. Analizlerde farklı kolektör geometrilerinin buharlaşma miktarı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca farklı lagün alanlarının etkileri de dikkate alınarak küçük, orta ve büyük kapasiteli tesislerde günlük buharlaşma miktarı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 3. model, bir günde buharlaşma miktarının en fazla olduğu modeldir. 3. modeldeki simülasyon sonuçları kullanılarak entegre ve kiralık olarak kurulabilecek sistemlerin ekonomik analizi yapılmıştır. Zeytinyağı sıkım tesisinin 60 ve 120 gün çalışma durumundaki opsiyonlar değerlendirilmiş olup, geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Pilot ölçekli bir zeytinyağı sıkım tesisine sistemin kurulması ve çıkan sonuçların bu çalışmadaki sonuçlar ile kıyaslanması gelecek çalışmalar için yol gösterici niteliktedir.

KAYNAKLAR

1. Kurdaş, İ. (2011). *Zeytin Karasuyundaki Kirleticilerin Gideriminin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1, 5, 11, 12, 14, 20, 21.
2. T.C. Ticaret Bakanlığı. (2019). *2018 Yılı Zeytin ve Zeytinyağı Raporu*. Esnaf, Sanatkârlar ve Kooperatifçilik Genel Müdürlüğü, 4, 6, 10, 11, 25.
3. Varınca, K., Gönüllü T. (2006). *Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma*. I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, ESOGÜ, Eskişehir. 271.
4. Yalılı Kılıç, M. (2011). *Zeytin Karasuyunun İleri Arıtma Yöntemleri ile Ekonomik Arıtılabilirliğinin Araştırılması*, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 5, 6, 7, 11, 13, 16, 17.
5. Özdek, H., Aybar, A. (2019). Türkiye’de Zeytincilik ve Zeytinyağı Sektörü. *Göller Bölgesi Aylık Hakemli Ekonomi ve Kültür Dergisi*, 24(2), 58.
6. Coşkun T. (2010). *Zeytin Karasularının Fizikokimyasal ve Membran Proseslerle Arıtımı*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 3, 6, 7, 9.
7. Gemicioğlu, Y. (2016). *Türkiye’de Zeytinyağı Üretiminde Kullanılan Yöntemler ve Makine Sistemlerinin Varlığı*, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 11.
8. Köseoğlu, O. (2012). *Zeytinyağı Elde Etme Sistemleri*. MS Powerpoint Sunusu, 15, 16, 18, 19, 20, 31, 32, 36.
9. Azbar, N., Bayram, A. Filibeli, A., Müezzinoğlu A., Şengül, F., Özer, A. (2010). A Review of Waste Management Options in Olive Oil Production. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 34(209-247), 214, 215, 216, 219, 220, 221, 222, 223.
10. Karaman, H., Varol, N. (2010). *Zeytin Karasuyunun Tarımda Kullanılma Olanakları*. Zeytincilik Araştırma Enstitüsü, İzmir, 2, 3.
11. Oktav, E., Özer, A. (2010). *Zeytinyağı Endüstrisi Atıksularının Fiziksel Ön Arıtımı*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 5.
12. Başkan, A. (2010). *Zeytinyağı İşletmelerinin Atıkları ve Değerlendirilme Yolları*. T.C. Güney Ege Kalkınma Ajansı, Denizli, 9.
13. Tsagaraki, E., Lazarides, H.N., Petrotos, K.B., (2007). *Utilization of by-products and Treatment of Waste in the Food Industry*. Springer, N. Y., 144, 145, 147, 148, 149.

14. Yalılı Kılıç, M., Kaya, G., Kestioğlu, K. (2009). Kimyasal, Biyolojik ve İleri Arıtma Yöntemleri ile Zeytin Karasuyunun Arıtımına Yönelik Bir Envanter Çalışması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 14(2), 188, 191, 192.
15. Kaya, G. (2009). *Zeytin Karasuyunun Pilot Ölçekli Tesislerde Fiziko-Kimyasal ve İleri Arıtma Yöntemleriyle Arıtılabilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
16. Güneysu, S. (2009). *Zeytinyağı Endüstrisi Atıksularının Farklı Yöntemlerle Arıtılmasının Araştırılması*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 20-21-24.
17. Aksungur, M., Kurban, M., Başaran Filik, Ü. (2018). Türkiye'nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi. *Dergipark*, 7(3). 10,17.
18. Erkoç, R. (2019). *Güneş Enerji Santrallerinin Modellenmesi, Ekonomik Analizi ve Değerlendirme: Almanya ve Türkiye Uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 4, 8.
19. Dinçer, F. (2011). Türkiye'de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli-Ekonomik Analizi ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme. *Journal of Engineering Sciences*, 14(1), 10, 11.
20. Ackermann, JA. Ong, LE. Lau, SC. (1995). Conjugate heat transfer in solar collector panels with internal longitudinal corrugated fins – Part I: Overall results. *Forschung Im Ingenieurwesen*, 84, 92.
21. Saha, SK. Mahanta, DK. (2001). Thermodynamic Optimization of Solar Flat-Plate Collector. *Journal of Renewable Energy*, 181, 193.
22. Hellstrom B, Adsten M, Nostell P, Karlsson B, Wackelgard E. (2003). The Impact of Optical and Thermal Properties on The Performance of Flat Plate Solar Collectors. *Journal of Renewable Energy*, 331, 344.
23. Ho, CD. Yeh, HM. Wang, RC. (2005). Heat-Transfer Enhancement in Double-Pass Flat-Plate Solar Air Heaters with Recycle. *Journal of Energy*, 2796, 2817.
24. Lambert, AA. Cuevasa, S. del Río, JA. (2006). *Enhanced Heat Transfer Using Oscillatory Flows in Solar Collectors*. International Symposium on Concentrating Solar Power and Chemical Energy Systems, 1296, 1302.
25. Selmi, M. Al-Khawaja, MJ. Marafia, A. (2008). Validation of CFD Simulation for Flat Plate Solar Energy Collector. *Journal of Renewable Energy*, 383, 387.
26. Kumar, KR. Reddy, KS. (2009) Thermal analysis of solar parabolic trough with porous disc receiver. *Journal of Applied Energy*, 1804, 1812.
27. Farahat, S. Sarhaddi, F. Ajam, H. (2009). Exergetic Optimization of Flat Plate Solar Collectors. *Journal of Renewable Energy*, 1169, 1174.

28. Martinopoulos, G. Missirlis, D. Tsilingiridis, G. Yakinthos, K. Kyriakis, N. (2010). *CFD Modeling of a Polymer Solar Collector*. Special Section: IST National Conference, 1499, 1508.
29. Robles-Ocampo, B. Ruíz-Vasquez, E. Canseco-Sánchezb, H. Cornejo-Mezac, RC. Trápaga-Martínezd, G. García-Rodrigueza, FJ. González-Hernández, J. Vorobiev, YV. (2007). Photovoltaic/Thermal Solar Hybrid System with Bifacial PV Module and Transparent Plane Collector. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 1966, 1971.
30. Tina, GM. Rosa-Clot, M. Rosa-Clot, P. Scandura, PF. (2012). *Optical and Thermal Behavior of Submerged Photovoltaic Solar Panel*. Sustainable Energy and Environmental Protection Conference, 17, 26.
31. Şanlı, G. (2010). *Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektörlerinin Teorik Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 5, 26, 48, 50, 59.
32. Eltez, M. (1986). *Sabit Yansıtıcı Çizgisel odaklı Kule Projesinde Yansıtıcı Odaklayıcı Yüzeyin Şekillendirilmesi*, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Güneş Enerji Enstitüsü, İzmir.
33. Prapas, E. D., Norton, B., Probert, S. D. (1987). Optics of Parabolic Trough Solar Energy. *Journal of Solar Energy Science and Engineering*.
34. Karaduman, A. (1989). *Parabolik Güneş Kollektörü Sisteminin Tasarımı ve Yapımı*, Lisans Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
35. Yeşilata, B. (1990). *Güneş Hareketini İzleyen Parabolik Yoğunlaştırıcı Tip Güneş Kollektörlerinin Tasarımı, Dizaynı ve Isıl Veriminin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
36. Eltez, M. (1990). Güneş enerjisi Yansıtıcı Yüzey Formlarının Endüstriyel Kullanımı. *Güneş Enerjisi Enstitüsü Dergisi*, 45, 50.
37. Pereira, M. C. Rabl, A. Winston, R. (1980). *Design and Performance Characteristics of Compound Parabolic Concentrators with Evacuated and with Non-Evacuated Receivers*. International Solar Energy Congress, New Delhi, India.
38. Pinazo, A. M. Canada, J. Arago, F. (1992). Analysis of the Incidence Angle of The Beam Radiation on CPC. *Journal of Solar Energy Science and Engineering*, 175, 179.
39. Sözen, A., Altıparmak, D., Usta, H. (2002). Development and Testing of a Prototype of Absorption Heat Pump System Operated by Solar Energy. *Journal of Applied Engineering*, 1847, 1859.
40. Fraidenraich, N. Gordon, J. M. Fernandes, R. (1997). Improved Solutions for Temperature and Thermal Power Delivery Profiles in Linear Solar Collectors. *Journal of Solar Energy Science and Engineering*, 141, 145.
41. Çolak, L. (2003). *Güneşi Takip Eden Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektörlerinin Matematiksel Modellemesi, Tasarımı ve Teknik Optimizasyonu*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 268.

42. Abdallah, S. (2004). The Effect of Using Sun Tracking Systems on the Voltage-Current Characteristics and Power Generation of Flat Plate Photovoltaics. *Journal of Energy Conversion and Management*, 1671, 1679.
43. Yazıcı, O. C. (2005). *Theoretical Modeling and Designing a Line-Focused Horizontal Receiver Solar Thermal Power Plan*, Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir.
44. Bakos, G. C. (2006). Design and Construction of a Two-Axis Sun Tracking System for Parabolic Trough Collector Efficiency Improvement. *Journal of Renewable Energy*, 2411, 2421.
45. Öztürk, H. Şanlı, G. ve Yılcı, A. (2009). Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektörlerin Performans Analizi. *Mühendis ve Makina*, Sayı 51, 19, 28.
46. El Fadar, A. Mimet, A. Azzabakh, A. Perez-Garcia, M. Castaing, J. (2009). Study of a New Solar Adsorption Refrigerator Powered by a Parabolic Trough Collector. *Journal of Applied Engineering*, 1267, 1270.
47. Fernandez-Garcia, A. Zarza, E. Valenzuela, L. Perez, M. (2010). Parabolic-Trough Solar Collectors and Their Applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1, 27.
48. Şanlı, G. (2010). *Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektörlerinin Teorik Olarak İncelenmesi*. Pamukkale Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
49. Kumar, K.R. Reddy, K.S. (2009). Thermal Analysis of Solar Parabolic Trough with Porous Disc Receiver. *Journal of Applied Engineering*, 1804, 1812.
50. Kumaresan, G. Sridhar, R. and Velraj, R. (2012). Performance Studies of a Solar Parabolic Trough Collector with a Thermal Energy Storage System. *Journal of Energy*, 395, 402.
51. Ceylan, İ. Ergün, A. (2013). Thermodynamic Analysis of a New Design of Temperature Controlled Parabolic Trough Collector. *Journal of Energy Conversion and Management*, 505-510.
52. Ghasemi, S. E. and Ranjbar, A.A. (2016). Thermal Performance Analysis of Solar Parabolic Trough Collector Using Nanofluid as Working Fluid: A CFD Modelling Study. *Journal of Molecular Liquids*, 159, 166.
53. Duffie, J. A. Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. (4). Solar Energy Laboratory: University of Wisconsin-Madison.
54. Cicibiyık, C. (2012). *Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektörü ile Enerji Üretimi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. 34, 35, 36.
55. Talay, İ. Çağlar, A. (2019). Tasarım Parametrelerinin Parabolik Oluk Tipi Bir Güneş Kolektörünün Performansına Etkisi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(2), 17, 18, 19.

56. Linacre, E. (1977). A Simple Formula for Estimating Evaporation Rates in Various Climates, Using Temperature Data Alone. *Agricultural Meteorology*, 409, 424.
57. İnternet: https://www.gittigidiyor.com/ev-bahce/100-cm-7x7-goz-aralikli-orgulu-cit-teli-1-1-mm-kalinliginda_pdp_625128006 , Son Erişim Tarihi: 29.10.2020
58. İnternet: https://turkish.alibaba.com/product-detail/parabolic-solar-collector_62007169593.html?spm=a2700.8699010.normalList.23.405a7299UmpHR5 , Son erişim tarihi: 29.10.2020
59. İnternet: https://www.kuzeyboru.com.tr/Data/EditorFiles/kuzeyboru-fiyat-listesi/Hdpe_Pipe_Price_List_2018.pdf , Son Erişim Tarihi: 29.10.2020
60. İnternet: https://sismist.com.tr/d%C3%BC%C5%9F%C3%BC_bas%C4%B1nC3%A7_jet_pompa_3_lt_dk_su_pompas%C4%B1_max_7_bar , Son Erişim Tarihi: 29.10.2020
61. İnternet: <https://www.gezegensolar.com/projelerimiz/gunes-paneli-enerji-sistemi-gunluk-1-5-kw-kirklareli-referansimiz-html> , Son Erişim Tarihi: 29.10.2020
62. İnternet: <https://www.amazon.com/Bragg-Organic-Extra-Virgin-Olive/dp/B0006Z7NPO> , Son Erişim Tarihi: 29.10.2020

EKLER

EK-1. MATLAB simülasyonunda kullanılan algoritmalar

```

parameters
    area = { 1e-4, 'm^2' }; % Area
    rad_tr_coeff = { 4e-8, 'W/(m^2*K^4)' }; % Radiation coefficient
end

function setup %#simple
    % Parameter range checking
    if area <= 0
        pm_error('simscape:GreaterThanZero','Area')
    end
    if rad_tr_coeff <= 0
        pm_error('simscape:GreaterThanZero','Radiation coefficient')
    end
end

equations
    Q == area * rad_tr_coeff * (A.T^4 - B.T^4);

```

Şekil 1.1. Cam tüp ile çevre arasında oluşan ışıınım ısı kayıp algoritması

```

parameters
    area = { 1e-4, 'm^2' }; % Area
    heat_tr_coeff = { 20, 'W/(m^2*K)' }; % Heat transfer coefficient
end

function setup %#simple
    % Parameter range checking
    if area <= 0
        pm_error('simscape:GreaterThanZero','Area')
    end
    if heat_tr_coeff <= 0
        pm_error('simscape:GreaterThanZero','Heat transfer coefficient')
    end
end

equations
    Q == area * heat_tr_coeff * T;

```

Şekil 1.2. Cam tüp ile çevre arasında oluşan taşınım ısı kayıp algoritması

EK-1. (devam) MATLAB simülasyonunda kullanılan algoritmalar

```
parameters
    area = { 1e-4, 'm^2' };           % Area
    rad_tr_coeff = { 4e-8, 'W/(m^2*K^4)' }; % Radiation coefficient
end

function setup %#simple
    % Parameter range checking
    if area <= 0
        pm_error('simscape:GreaterThanZero','Area')
    end
    if rad_tr_coeff <= 0
        pm_error('simscape:GreaterThanZero','Radiation coefficient')
    end
end

equations
    Q == area * rad_tr_coeff * (A.T^4 - B.T^4);
```

Şekil 1.3. Emici boru ile cam tüp arasında oluşan ışıyım ısı kayıp algoritması

```
parameters
    area = { 1e-4, 'm^2' };           % Area
    thickness = { 0.1, 'm' };         % Thickness
    th_cond = { 16, 'W/(m*K)' };     % Thermal conductivity
end

function setup %#simple
    % Parameter range checking
    if area <= 0
        pm_error('simscape:GreaterThanZero','Area'),
    end
    if thickness <= 0
        pm_error('simscape:GreaterThanZero','Thickness')
    end
    if th_cond <= 0
        pm_error('simscape:GreaterThanZero','Thermal conductivity')
    end
end

equations
    Q == area * th_cond * T /thickness;
```

Şekil 1.4. Emici boruda meydana gelen iletim ile olan ısı kayıp algoritması

EK-1. (devam) MATLAB simülasyonunda kullanılan algoritmalar

```

parameters
    area = { 1e-4, 'm^2' };           % Area
    heat_tr_coeff = { 20, 'W/(m^2*K)' }; % Heat transfer coefficient
end

function setup %#simple
    % Parameter range checking
    if area <= 0
        pm_error('simscape:GreaterThanZero','Area')
    end
    if heat_tr_coeff <= 0
        pm_error('simscape:GreaterThanZero','Heat transfer coefficient')
    end
end

equations
    Q == area * heat_tr_coeff * T;

```

Şekil 1.5. İş akışkanı ile emici boru iç duvarı arasında taşınım ile meydana gelen ısı kaybı algoritması

```

equations
    let
        % Across variables
        p_A = A.p;
        p_B = B.p;

        % Mass flow rate from port A to port B
        mdot = mdot_A;
    in
        % Commanded mass flow rate
        mdot == M;

        % Work done by the source on the liquid
        power == mdot * (p_B - p_A) / ((rho_A + rho_B)/2);

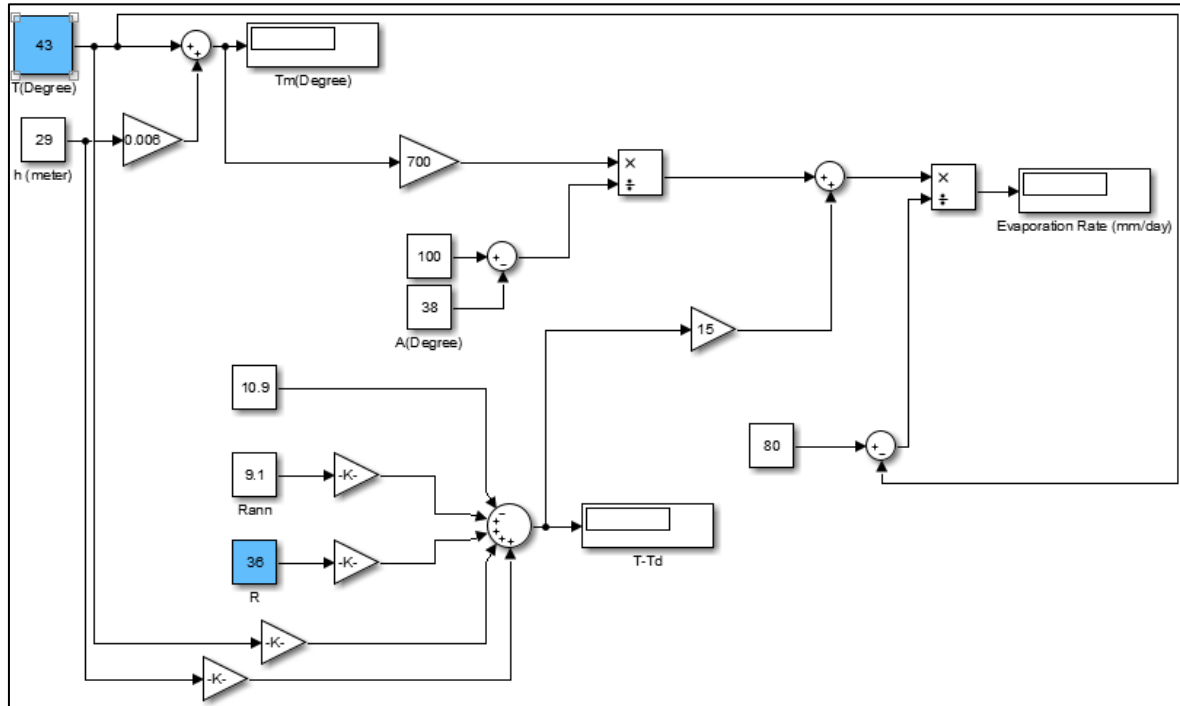
        % Mass balance
        mdot_A + mdot_B == 0;

        % Energy balance
        Phi_A + Phi_B + power == 0;
    end
end

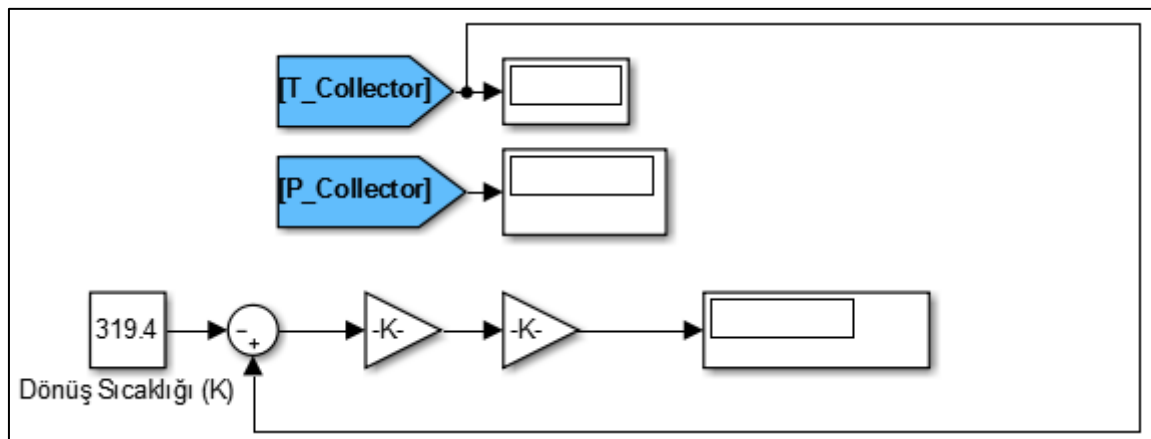
```

Şekil 1.6. Sistemde iş akışkanının sirkülasyonunu sağlayan pompa için algoritma

EK-1. (devam) MATLAB simülasyonunda kullanılan algoritmalar

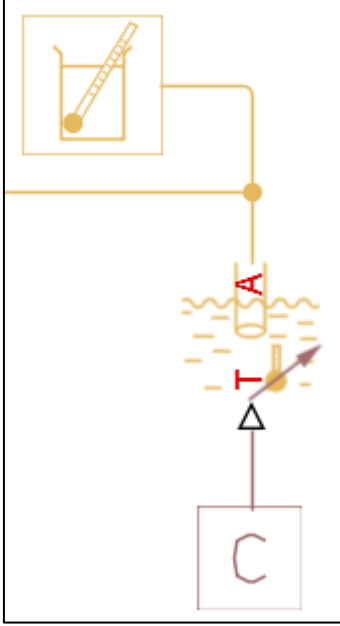


Şekil 1.7. Buharlaşma miktarını hesaplamak için oluşturulan algoritma



Şekil 1.8. Kolektör için faydalı ısı hesabını gerçekleştiren alt model algoritması

EK-1. (devam) MATLAB simülasyonunda kullanılan algoritmalar



Şekil 1.9. İş akışkanının geri dönüş sıcaklığını kolektör girişine yönlendiren algoritma

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı :BİNBOĞA, Özel
 Uyruğu :K.K.T.C. / T.C.
 Doğum tarihi ve yeri :06.03.1994, Lefkoşa
 Medeni hali :Bekar
 Telefon :+90 (507) 850 81 10
 e-mail :ozel.binboga@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Bilgisi	Durum
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/Makine Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	ESOGÜ/Makine Mühendisliği	2017
Lise	Bülent Ecevit Anadolu Lisesi	2012

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
Tasarım Mühendisi	KEMSAN	2017-2019
Kalite Mühendisi	Ford Otosan	2019-Halen

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Binboğa, Ö. (2020, 24-25 August). *1D Modeling of Olive Oil Mill Wastewater Evaporation with a Parabolic Trough Solar Collector*, Presented in 8th European Conference Renewable Energy Systems.

Hobiler

Fotoğraf, kamp ve doğa sporları



GAZİ GELECEKTİR..