

**GÜNEŞ ENERJİLİ KİMYASAL
REAKTÖRLERİN İNCELENMESİ**

Murat ÖZTÜRK

**Yüksek Lisans Tezi
FİZİK ANABİLİM DALI
ISPARTA 2005**

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ ENERJİLİ KİMYASAL
REAKTÖRLERİN İNCELENMESİ

Murat ÖZTÜRK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

ISPARTA, 2005

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Bu çalışma jürimiz tarafından FİZİK ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan

Üye

Üye

ONAY

Bu tez/...../20.. tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda, yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

...../...../20..

Prof. Dr. Çiğdem SAVAŞKAN
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK BİLGİSİ	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	7
3.1. Güneş Enerjisi	7
3.2. Güneş Geometrisi	9
3.2.1. Güneşin Hareketi	9
3.2.2. Güneş Işınımı	9
3.2.3. Güneş Işınımının Doğrultusu ve Güneş Açıları	10
3.3. Güneşimizin Enerjisi	13
3.3.1. Güneş Radyasyonu	15
3.4. Günlük Toplam ve Saatlik Olmak Üzere Direkt ve Yayılı Işıma Değerlerinin Hesap Yolu İle Bulunması	16
3.4.1. Aylık Ortalama Günlük Işıma Değerinin Hesabı	16
3.4.2. Günlük Ortalama Değerlerin Hesabı	17
3.4.3. Saatlik Ortalama Değerlerin Hesabı	18
3.5. Yoğunlaştırıcı Sistemlerin Özellikleri	19
3.6. Güneş Yoğunlaştırıcıları	19
3.7. Güneş İzleme Tipinin Seçimi	21
3.7.1. İki Eksenli İzleme	22
3.7.2. Doğu-Batı Yatay Ekseninde Sürekli İzleme	22
3.7.3. Kuzey-Güney Yatay Ekseninde Sürekli İzleme	23
3.7.4. Kuzey-Güney Kutup Ekseninde Sürekli İzleme	23
3.8. Parabolik Yalak Tipi Kollektörün Yoğunlaştırma Oranı	24

3.8.1. Yoğunlaştırmanın Tanıtılması	24
3.8.2. Silindir Hedefi Olan Parabolik Toplayıcının Yoğunlaştırma Oranı	25
3.9. Yoğunlaştırıcı Güneş Kollektörlerinde Enerji	27
3.9.1. Silindir Parabolik Reflektör Sisteminde Enerji	27
3.9.2. Parabolik Yalak Tipi Kollektöre Gelen Anlık Enerjinin Optik Analizle Bulunması	31
3.9.2.1. Yansıtıcı Yüzeye Gelen Güneş Işınımı	31
3.9.2.2. Alıcı Kesitindeki Toplam Enerji	33
3.10. Parabolik Kollektörün Isıl Analizi	35
3.10.1. Parabolik Kollektörün Toplam Isı Kayıp Katsayısı	35
3.10.2. Alıcı Borudaki Yararlı Isı Miktarının Bulunması	37
3.11. Parabolik Yalak Tipi Kollektörün I. ve II. Yasa Analizleri	39
3.11.1. Isparta İçin Uygulama Hesabı	40
3.12. Silindirik Parabolik Yalak Tipi Kollektörde Kullanılan Malzemelerin İncelenmesi	41
3.12.1. Soğurucu Yüzey	41
3.12.2. Cam Boru	42
3.12.3. Yansıtıcı Yüzey	43
3.12.4. Sıcağa Dayanıklı Metal Malzemeler	43
3.12.4.1. Sıcağa Dayanım Tanınma Büyüklükleri	44
3.12.4.2. Sıcağa Dayanıklı Çelikler	44
3.12.4.3. Alaşımız ve Düşük Alaşımız Çelikler	45
3.12.4.4. Sıcağa Dayanıklı Krom Çelikleri	45
3.12.4.5. Sıcağa Dayanıklı Ostenitik Çelikler	46
3.12.4.6. Süper Alaşımızlar	47
3.12.4.7. Yüksek sıcağa Dayanıklı Nikel Alaşımızları	47
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	48
4.1. Reaktör Çeşitleri	48
4.1.1. Boru Reaktör	48
4.1.1.1. Kararlı Akışın Kabulü	50
4.1.1.2. Temel Tasarım Metodu	50
4.1.1.3. Kararlı Akış Kabulünden Sapmalar	53
4.1.1.4. Enine Sıcaklık Gradyanları: Genel Tartışma	53

4.1.1.5. Enine Sıcaklık Gradyanları: Baron Metodu	55
4.1.1.6. Basıncın Düşmesi	58
4.1.2. Sürekli Karıştırılmalı Tank Reaktör	58
4.1.2.1. Mükemmel Karışımın Olduğunun Kabulü	59
4.1.2.2. Reaktör Hacminin Hesaplanması	60
4.1.2.3. Karışım Tank Serileri	61
4.1.3. Akışkanlaştırılmış Yatak Reaktör	62
4.1.4. Reaktörlerin Diğer Tipleri	63
4.1.4.1. Kabarcık Fazlı Reaktörler	64
4.1.4.2. Katı ve Sıvı Fazın Birlikte Bulunduğu Reaktörler	64
4.1.4.3. Damla Yataklı Reaktörler	64
4.1.4.4. Oynar Yüklü Yatak Reaktörler	64
4.2. Su-Gaz Dönüşüm Reaksiyonu	64
4.2.1. Difüzyon Kinetiği	66
4.2.2. Polimer Difüzyon Katsayılarının Hesabı	68
4.2.3. Reaksiyon ve Reaksiyon Kinetiği	70
4.2.3.1. Su-Gaz Dönüşüm Reaksiyonu Hakkında Bilinenler	70
4.2.3.2. Reaksiyon Kinetiği	73
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	77
5.1. Tasarımı Yapılan Güneş Reaktörü	77
5.1.1. Parabolik Kollektörün Boyutlandırılması	77
5.1.2. Boru Reaktörün Boyutlandırılması	77
5.2. Sonuçlar	80
6. KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	87
EKLER	88
EK-1	89
EK-2	91
EK-3	95

ÖZET**GÜNEŞ ENERJİLİ KİMYASAL REAKTÖRLERİN İNCELENMESİ**

Sunulan çalışmada, parabolik yalak tipi yoğunlaştırıcı kollektörün birim alıcı yüzeyi üzerine toplanan anlık toplam enerjinin hesabı yapılmış, termodinamiğin birinci ve ikinci yasa analizleri incelenmiş, yapılan bu hesaplamalar tablo ve grafikler halinde sunulmuştur.

Reaktör tipleri incelenmiş ve bunlara ait boyutlandırma denklemleri sunulmuştur. Ekzoterm, heterojen katalitik, su-gaz değişim reaksiyonu olan $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ reaksiyonu incelenmiş ve oniki adet poliner difüzyon katsayısı elde edilmiştir. Geliştirilen yeni bir yöntemle sayısal olarak hesaplanan poliner difüzyon katsayıları, CO mol sayısının (x_1) değişim miktarına göre diyagramlar halinde sunulmuştur. Bu diyagramlardan altı tanesinin karbonmonoksit mol sayısı azalınca arttığı, diğer altı tanesinin ise azaldığı görülmüştür. Ayrıca reaksiyon sıcaklığının artışı poliner difüzyon katsayıları üzerine olumlu etki yaparak değerlerini artırdığı ilgili grafiklerde gösterilmiştir.

Hidrojen üretimi için güneş enerjili kimyasal reaktör tasarımı geliştirilmiştir. Bu reaktör ön ısıtıcısı parabolik yalak tipi yoğunlaştırıcı kollektör ve bakır katalizörlü boru reaktörden oluşmaktadır. Önerilen modelde gaz karışımı, reaktörden çıktıktan sonra gaz ayrıştırıcısında ayrışmakta ve hidrojen, karbondioksit depolama tanklarına, dönüşmemiş karbonmonoksit ise tekrar besleme ağzına verilmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Silindirik parabolik yalak tipi yoğunlaştırıcı kollektör, boru reaktör, güneş enerjili kimyasal reaktör, su-gaz değişim reaksiyonu, hidrojen üretimi

ABSTRACT

INVESTIGATION OF CHEMICAL REAKTORS WITH SOLAR ENERGY

In this work, the incident total energy per unit area on the receiver surface of parabolic trough concentrating collector is calculated and, first and second law's of thermodynamic analysis are investigated. These calculations are given with tables and graphics.

Types of reactor are investigated and their dimension equations are presented. $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ reaction, which is an exothermic heterogeneous catalytic water-gas shift reaction, is investigated and twelve polynary diffusion coefficients are obtained. The polynary diffusion coefficients, which are calculated numerically by the new improving model, are presented in diagrams, which are depended on changing of mole numbers of carbon monoxide. As seen in these diagrams, six of the twelve diffusion coefficients increase and the rest of them decrease if the carbon monoxide mole numbers are decreased. More over, the increase of the reaction temperature results in the increase of the value of the diffusion coefficients. These events are shown with graphics.

Chemical reactor design is developed for production of hydrogen. This reactor consists of preheater, which is parabolic trough concentrating collector, and tube reactor with copper catalyst. In the proposing model, gas mixture is decomposed in gas separator after leaving the reactor. Hydrogen and carbon dioxide are sent to storage tanks and unconversion carbon monoxide is again sent to feeding mouth.

KEY WORDS: Cylindrical parabolic trough concentrating collector, tube reactor, chemical reactor with solar energy, water-gas shift reaction, production of hydrogen

TEŞEKKÜR

Tez alıőmamda konu tespitinden, son aőamasına kadar her konuda yardım ve desteklerini esirgemeyen saygıdeğer tez danıőmanın ve hocam Sayın Prof. Dr. Nuri ÖZEK'e en derin minnet ve őükranlarımı sunarım. Değerli fikir ve tecrübelerinden yararlandığım, çalıőmalarım süresince benden hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen Yenilenebilir Enerji Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi Müdürü Sayın Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÜÇGÜL'e teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

SİMGELER DİZİNİ

θ	Gelme açısı
δ	Deklinasyon açısı, yansıtma katsayısı
β	Eğik düzlemin yatayla yaptığı açı
γ	Azimut açısı, engelleme faktörü
w	Saat açısı
ϕ	Enlem derecesi
η_I	Isıl verim
η_{II}	Ekserjetik verim
η_k	Dinamik viskozite
θ_z	Zenit açısı
σ	Stefan-Boltzman sabiti
ϵ	Yüzeyin yutuculuğu
τ	Geçirgenlik
α	Soğuruculuk
ϵ	Yansıtıcılık
v	Hacimsel akış hızı
λ	Termal iletkenlik
δ_{mn}	Kronecker delta fonksiyonu
α_d	Dönüşüm miktarı
A ve B	Katsayı
C	Yoğunlaştırma oranı, tepken akışkanın birim kütlesi başına sabit basınçta ısı kapasitesi
c	Mol yoğunluğu, konsantrasyon zamanı
D	Açıklık oranı
D_i	Efektif difüzyon katsayısı
D_{ij}	Poliner difüzyon katsayısı
$D_{ij,F}$	Fick sistemine ait poliner difüzyon katsayısı
d	Alıcı yüzey çapı
F'	Kollektör verim faktörü
F_R	Isı taşınım faktörü

F_k	Kanatcık faktörü
F_0	Molar besleme debisi
f	odak noktası
G	Değişken zamanda akış hızı
H	Entalpi
H_0	Atmosfer dışı ışıma
\bar{H}	Aylık ortalama günlük ışıma değerleri
h_e	Konveksiyon ısı transfer katsayısı
h_f	Borunun iç yüzeyindeki ısı transfer katsayısı
h_r	Radyasyon ısı transfer katsayısı
I	Toplam güneş ışıınımı
I_d	Direkt güneş ışıınımı
I_y	Yayıllı güneş ışıınımı
J_i	Difüzyon mol akımı
K_p	Denge sabiti
k	Hız sabiti
k_g	Koruyucu camın termal iletkenliği
L	Alıcı boru uzunluğu
n	1 Ocak'tan itibaren gün sayısı, mol sayısı
\bar{N}	Aylık ortalama gün uzunluğu
P	Basınç
Q	Hacimsel besleme debisi
Q_u	Yararlı ısı miktarı
Re	Reynolds sayısı
r	Reaksiyon hızı
r'	Katalizörün her bir birim kütlesinin hızı
\bar{S}	Aylık ortalama günlük güneşlenme süresi
T_a	Çevre sıcaklığı
T_f	Sıvı sıcaklığı
T_1	Alıcı yüzey sıcaklığı
T_2	Koruyucu cam sıcaklığı
t_g	Koruyucu cam kalınlığı
t_0	Gün uzunluğu

U	Isı transfer katsayısı
U_L	Toplam ısı kayıp katsayısı
V_g	Akışın gelişmemiş olmasından kaynaklanan hız
V_r	Reaktör hacmi
V_w	Rüzgar hızı
V_η	Viskozite değişiminden kaynaklanan hız
V_ρ	Mol değişiminden kaynaklanan hız
W_r	Katalizör toplam kütlesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Dünya-Güneş mesafesinin yıl boyunca değişimi.....	8
Şekil 3.2. Denklinasyon açısının aylara göre değişimi.....	12
Şekil 3.3. Güneş açıları	12
Şekil 3.4. Ortalama yer güneş mesafesine göre güneş ışınının atmosfer dışında spektral dağılımı ve 1353 W/m^2 güneş sabiti	14
Şekil 3.5. Güneş ışınımının tayfsal dağılımı.....	15
Şekil 3.6. Yoğunlaştırıcı güneş kolektörleri	20
Şekil 3.7. Güneşi izleme sistemleri	22
Şekil 3.8. Dairesel silindir hedefe sahip olan parabolik silindir ayna	25
Şekil 3.9. Silindir hedef geometrisi	27
Şekil 3.10. Silindir parabolik reflektör kolektör sistemi	28
Şekil 3.11. Alan elemanının geometrik ilişkileri	29
Şekil 3.12. Güneş yansıtıcı yüzey ve alıcının geometrik durumları	32
Şekil 3.13. Silindirik alıcı boru	37
Şekil 3.14. Euro Trough Kollektör	42
Şekil 3.15 Sıcağa bağlı olarak, değişik malzeme gruplarının 10^3h -zaman Dayanımları	45
Şekil 4.1. Boru reaktör uzunluğu boyunca sıcaklık değişimi	48
Şekil 4.2. Boru reaktörde sıcaklık hatları	49
Şekil 4.3. Boru reaktörün hacim elemanı	51
Şekil 4.4. Ekzotermik reaksiyonda elde edilen sıcaklık değişim türleri	54
Şekil 4.5. Boru reaktörde ayırıcın boşaltılmış bölgesi	56
Şekil 4.6. Reaktörün hacim elemanı	56
Şekil 5.1. Tasarımı yapılan güneş enerjili kimyasal reaktör	79
Şekil 5.2. Silindirik parabolik yalak tipi reaktan gaz ısıtıcısı	79
Şekil A.1. Parabolik yalak tipi kolektörde toplanan ortalama anlık enerjinin aylara göre değişimi	89
Şekil A.2. Parabolik yalak tipi kolektörün I. yasa verimliliğinin karşılaştırılması	90

Şekil A.2. Parabolik yalak tipi kollektörün II yasa verimliliğinin karşılaştırılması	90
Şekil B.1.2.3.4. Poliner difüzyon katsayılarının CO mol sayısı (x_1) ile değişimi.....	91

TABLULAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Güneş ve dünya ile ilgili değerler	8
Tablo 3.2. Aylık ortalama gün değerleri	11
Tablo 3.3. Bazı kaplama malzemeleri için soğuruculuk ve yayıcılık	42
Tablo 3.4. Bazı örtü malzemelerinin yansıtıcılık, soğuruculuk ve geçirgenlikleri	42
Tablo A.1. Isparta için hesaplanan A ve B katsayıları	89
Tablo A.2. Alıcıda toplanan anlık enerji	89
Tablo A.3. Isparta Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları için hesaplanmış bulanıklık faktörleri	90
Tablo A.4. Yatay düzleme gelen anlık güneş ışınimleri	90

1. GİRİŞ

Bugüne kadar kullanılan klasik enerji kaynaklarının belli bir rezervi olduğu ve bugünkü hızıyla kullanılmaya devam edildiğinde petrolün 35 yıl, kömürün 200 yıl sonra biteceği tahmin edilmektedir (Uyarel ve Öz, 1987). Bu durum göz önüne alındığında yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi daha da artacaktır.

Son yıllarda yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları konusunda yapılan araştırmaların büyük bölümü güneş enerjisi üzerinde yoğunlaşmıştır. Çünkü, güneş enerjisi diğer enerji kaynakları gibi özel ve ileri teknoloji gerektirmemesi, kullanılmasının çevre kirliliği yönünden problemsiz oluşu, ayrıca ucuz olması bu alandaki çalışmaları sürekli kılmaktadır.

Enerji kaynaklarını iyi değerlendiren ülkeler, hızla kalkınmakta ve refah düzeylerini yükseltmektedirler. Gelişmiş ülkeler tüm enerji kaynaklarından verimli ve etkili faydalanma yollarına gitmiş ve enerji krizinden sonra yeni enerji kaynaklarına yönelmeye başlamışlardır.

Güneş enerjisinin başlangıçtaki araştırma alanları ısıtma, pişirme, kurutma, sıcak su temini konularında iken daha sonra gelişen teknoloji ile birlikte güneş enerjisinde güç üretimi, güneş fırınları ve güneş santrallerinin kurulması gibi yüksek sıcaklık gerektiren uygulama alanları gündeme gelmiştir.

Güneş enerjisinin bilinen en eski odaklama ile kullanımı, 2500 yıl önce Vesta Tapınağında rahibelerin madeni konilerden yansıttıkları güneş ışınları ile kutsal ateşi yakmalarıyla başlar. Daha sonra Arşimet'in M.Ö. 212 yılında güneş ışınlarını aynalarla düşman gemilerine odaklayıp, yakmasıyla devam eder (Deriş, 1987). Bu gelişmeler, 1725 yılında Fransa'da Bolidor'un güneş enerjisi ile çalışan bir su pompası tasarımı ile sürmüştür (Kılıç ve Öztürk, 1983).

Ayrıca güneş enerjisini direk olarak elektrik enerjisine çeviren sistemlerde bulunmaktadır ve bunlara güneş pilleri denilmektedir. Temel olarak güneş pili, yakıtı güneş ışığı olan, hareketli parçaları olmayan ve çevreye zararlı atıklar içermeyen bir

elektrik üretim düzeneğidir. Güneş ışığından her yerde yararlanmak olasıdır, ayrıca bu sistemler kolay taşınıp monte edilebilme özelliğine sahiptir. Elektrik çıkış güçlerine göre kol saati, hesap makinesi gibi küçük güç gerektiren yerlerde, sulama sistemlerinin elektrik ihtiyacının karşılanmasında (Üçgül vd., 2005,I) bina veya konut aydınlatmada (Üçgül vd., 2005,II), elektrik hattı bulunmayan yerleşim yerlerinde, elektrik üretim santralleri gibi büyük güç gerektiren yerlere kadar elektrik enerjisinin gerektiği her yerde kullanılabilirler.

Güneş enerjisinden yararlanarak güç elde etme fikri Meinel tarafından ortaya atılmıştır. Meinel'e göre güneş ışınları doğrusal bir Frensel merceği tarafından toplanarak, emici bir boru üzerine odaklanır. Boru içerisinde tuz gibi katkı malzemeleri kullanarak akışkan sıcaklığı 500 °C'e yükseltilmiştir (Meinel, 1977).

Güneş ışınımının, faydalanılacak enerji türüne ısı çevrimlerle dönüştürdüğü sistemlerin sayısı çok fazladır. Genel olarak bu sistemler, a-) Düşük sıcaklık uygulamaları (20-100 °C). b-) Orta sıcaklık uygulamaları (100-300 °C). c-) Yüksek sıcaklık uygulamaları (> 300 °C) olarak gruplandırılabilir.

Düşük sıcaklık uygulamalarında çoğunlukla düz toplayıcılar kullanılır. Güneş ışınımı bir ısı değiştiricisi, genellikle düz toplayıcı, aracılığıyla bir akışkana aktarılır ve sıcaklığı artan akışkan faydalanma amacına göre depolanır veya sisteme gönderilir.

Orta sıcaklık uygulamalarında, güneş ışınımının yansıtılarak veya kırılarak bir noktaya veya eksene yoğunlaştırıldığı odaklı toplayıcılar kullanılır. Sanayi için gerekli sıcak su veya buharın temini, büyük soğutma ve ısıtma sistemleri, odaklı toplayıcıların uygulama alanlarından bazılarıdır. Genellikle güneşi takip eden mekanizmalara ihtiyaç vardır.

Güneş ışınımından yararlanarak 300 °C'nin üzerindeki yüksek sıcaklık elde edilen sistemlerde heliostat adı verilen, geniş bir alana gelen güneş ışınımını, güneşi izleyerek bir noktaya odaklayan sistemlerden yararlanır. Güneş fırınları ve güneş güç sistemlerinde yansıtıcı olarak aynalardan yararlanılmakta ve 3500 °C sıcaklığa kadar çıkılabilmektedir.

2. KAYNAK BİLGİSİ

Hession ve Bonwick değişik boyutlardaki yoğunlaştırıcılar için takip sistemlerini denemişlerdir. Takip sitemi için güneşi hassas şekilde izleyen ışığa duyarlı devre yapmışlar ve blok diyagramını vermişlerdir (Hession ve Bonwick, 1984).

Yoğunlaştırıcı güneş kollektörlerinin simülasyonu, tasarımı ve imali ile ilgili olarak literatürde çok sayıda yayın vardır. Karaduman parabolik yalak tipi yoğunlaştırıcının ısıl verimini bulmak için, zorunlu dolaşımlı sistemle çalışan ve doğrudan akışkanı ısıtan bir güneş yoğunlaştırıcısının tasarımı, imalini ve performans deneylerini yapmıştır (Karaduman, 1989).

Uyar ve Altınel güneşin yörüngesini gün boyunca takip ederek, güneş kollektörlerinin güneş ışınlarından maksimum oranda faydalanmasını sağlayan bölgesel çalışma yapısına sahip bir sistemi geliştirmişlerdir (Uyar ve Altınel, 1991).

Macagran, Lorenzo ve Jimenez güneş radyasyonu üzerinde araştırmalar yapmış ve Madrid'e ait güneş radyasyonu bilgilerini şematik olarak bilgisayara okunabilir formda aktarmışlardır. Dik durumdan yatay duruma getirilen takip yüzeyleri üzerindeki güneş durumlarının potansiyellerini incelemişlerdir (Macagran vd., 1994).

Güneş yoğunlaştırıcıları, güneş ışınımını yoğunlaştırarak içinde akan akışkanın sıcaklığını yükselten sistemlerdir. Yüzey üzerine düşen güneş ışınımının bir kısmı yüzey tarafından soğurulur ve soğurulan ışınımınla çevreye kaybolan ısının farkı, faydalanılan güneş enerjisidir. Tipine bağlı olarak çizgisel yoğunlaştırma ile 60-300 °C, noktasal yoğunlaştırma ile 1100-1400 °C sıcaklığına ulaşılabilir (Genç, 1998).

Üçęül, Öztürk ve Özek parabolik yalak tipi kollektörlerinin optik ve enerjetik analizlerini yapmışlar, parabolik yalak tipi yansıtıcının geometrisi ile yansıtıcı yüzeye gelen radyasyonun özelliklerini inceleyerek, alıcıda toplanan toplam enerjiyi hesaplamışlardır (Üçęül vd., 2004,I).

Yine Üçgöl, Öztürk ve Özek, parabolik yalak tipi kollektörlerin meteorolojiden alınan Isparta'ya ait verileri kullanılarak enerjetik ve ekserjetik analizlerini yapmışlar ve sonuçları tablo ve grafik halinde sunmuşlardır (Üçgöl vd., 2004,II).

Temkin ve Kul'kova su-gaz dönüşüm reaksiyonu için, normal basınçta ve 500 °C sıcaklıkta demir esaslı katalizör kullanarak hız ifadesini türetmişlerdir (Newsome, 1980).

Bohlbro ve Jorgensen su-gaz dönüşüm reaksiyonu için bakır esaslı Cu-Zn-Cr katalizörünü kullanarak 1atm basınç ve 220-320 °C sıcaklıkları arasındaki reaksiyon hız denklemini türetmişlerdir (Newsome, 1980).

Overstreet su-gaz dönüşüm reaksiyonu için Co-Mo-Cs kobalt molibden esaslı katalizörlerini kullanarak 1 atm basınç ve 300-400 °C sıcaklıkları arasındaki kinetik bağıntıyı vermişlerdir (Newsome, 1980).

Ovesen ve diğer araştırmacılar atomik seviyedeki ilk adımların tanımına bağlı olarak su-gaz dönüşüm reaksiyonunun kinetik modeli sunulmuşlardır. İlk adımlar için giriş bilgisini mevcut tek kristal çalışmalarından alınmışlar ve Cu esaslı katalizör çalışması için bu modeli başarıyla uygulamışlardır. İfadeler aktivasyon enerjisi ve reaksiyon derecesi için elde edilmiştir. Tek kristalli bakır üzerine H₂O, H₂, CO₂, CO'nun adsorbsiyon ve reaksiyonundaki elde edilebilen bilgilere dayalı kinetik bir model türetmişler. Reaktanların ve ara ürünlerin spektroskopik özelliklerine dayalı termodinamik ifadelerinin hesabı için denklemler elde edilmişler ve 1 atm basınç altında katalizör çalışmasını su gaz değişim reaksiyonunda deneysel ve hesaplanmış veriler karşılaştırılmışlardır (Ovesen vd., 1991).

Üçgöl izoterm reaktör koşullarında su-gaz dönüşüm reaksiyonunu dört bileşenli Fick sisteminde teorik olarak incelemiş ve 12 adet polimer difüzyon katsayısını Stefan-Maxwell denklemini esas alarak türetmiştir (Üçgöl, 1995).

Atagündüz güneş pillerini kullanarak elektroliz yoluyla hidrojen enerjisi üretebilecek bir tesisin modellemesini yapmıştır. Aynı zamanda üretilen hidrojen gazının nasıl depolanacağını bildirmiştir (Atagündüz, 1995).

Aghbalou ve arkadaşları hidrojenin taşınım ve uzun vadeli depolanmasıyla ilgili bazı problemler olmasına rağmen geleceğin en uygun yakıtı olacağını bildirmişlerdir. Hidrojenin sıvı formda depolanmasında sikloheksandan yararlanma olanağını simülasyon programında incelemiştir. Tasarımı yaptıkları simülasyon iki gruptan oluşmaktadır. Birincisinde parabolik yalak tipi güneş kollektörleri gruplarından buhar elde edilmekte ve bu buharı kullanarak Rankine çevrim türbinleri yardımıyla elektrik üretilmektedir. Daha sonra elektroliz yoluyla H₂ üretilmekte ve benzenle (C₆H₆) doyurularak sikloheksana (C₆H₁₂) dönüştürülerek tankerlere yüklenmektedir. Daha sonra bu tankerler H₂'nin kullanılacağı alana sevk edilmekte ve burada kurulan ikinci tesiste yukarıdaki işlemin tersi, silindirik parabolik yalak tipi kollektörlerinden elde edilen ısı kullanılarak yapılmakta yani H₂ serbest bırakılmaktadır. Ters dönüşüm sonunda ortaya çıkan benzen tekrar tankere depolanarak birinci sisteme götürülmektedir (Aghbalou vd., 1998).

Tabakova ve diğer araştırmacılar 90 ve 300 K sıcaklıklarında altın/seryum katalizörlü su gaz dönüşüm reaksiyonunda bulunan moleküllerin kemisorpsiyon ve reaktifliklerini spektroskopi yardımıyla ve aynı zamanda 300 K'den 573 K'ne kadar ileri ve geri yönlü su gaz dönüşüm reaksiyonlarını incelediler. Düşük sıcaklıkta su gaz dönüşüm reaksiyonundaki yüksek katalitik aktivitenin başarıya ulaşması için esas rolü çok küçük altın parçacıklarının seryumla kapak kontak kurmasının belirlediğini bildirmişlerdir (Tabakova vd., 2003).

Goerke ve diğer araştırmacılar bazı seçici oksidasyonu (selok) ve mikro reaktördeki su gaz dönüşüm uygulamasını sunmuşlardır. Mikro reaktörleri, yakıt hücreleri için hidrojen üretiminde kullanılan bölümlü oksitleyici veya düzenleyicide ortaya çıkan model gaz karışımındaki CO miktarını azaltmada kullanmışlardır. 250-300 °C'de mikro yapıları reaktörler için uygun olan 30 mikro saniyeden daha küçük ortalama reaktörde kalma zamanında Ru/ZrO₂ katalizörlü su gaz dönüşüm reaksiyonunda CO miktarının %95'inin dönüştüğünü, selok reaksiyonu kullanıldığında 150 °C'den daha

düşük sıcaklıkta CuO/CeO₂ katalizörü kullanıldığında CO miktarının %99'unun dönüştüğünü bildirmişlerdir (Goerke vd., 2003).

Pasel ve arkadaşları sıvı hidrokarbonların ototermal reformunda ortaya çıkan CO miktarının azaltılmasında su gaz dönüşüm reaksiyonu kullanılarak azaltılması üzerine çalışmışlardır. Düşük sıcaklık uygulamalarında endüstriyel bakır esaslı katalizör kullanımının uygun olduğunu aynı zamanda 300 ve 400 °C arasındaki reaksiyonlarda Au/Al₂O₃ 'ün ticari bakır esaslı katalizörden daha fazla aktif olduğunu bildirmişlerdir (Pasel vd., 2003).

Yapılan literatür araştırmasında su gaz dönüşüm reaksiyonunun yapısını ve hız denklemlerini inceleyen bir çok çalışmanın olduğu görülmüştür. Yine yapılan literatür çalışmasında elektroliz yoluyla hidrojen üretiminin yapıldığı ve elektroliz için gerekli olan elektrik enerjisinin güneş pillerinden veya yoğunlaştırıcı güneş kollektörlerinden elde edilen buhardan üretildiği, su gaz dönüşüm reaksiyonu reaktöründe H₂ üretilmesinde reaksiyona giren CO ve H₂O'nun kullanılan katalizör özelliğine bağlı olarak belli sıcaklığa kadar ısıtılması gerektiği ve bu ısıtmanın fosil yakıtlardan karşılandığı görülmüştür. Bu çalışmada H₂ üretimini amaçlayan; su-gaz reaksiyonu için bakır esaslı katalizör kullanılan ideal boru reaktör ve reaksiyon ısını karşılayan silindirik parabolik yalak tipi kollektör sisteminin teorik incelemesi yapılmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Güneş Enerjisi

Güneş, hidrojen ve helyum gazlarından oluşan orta büyüklükte bir yıldızdır. Ağırlıkça kimyasal bileşimi yaklaşık %80 hidrojen, %18 helyum ve %2 diğer elementlerdir. Güneşin merkez sıcaklığı $15 \cdot 10^6$ °K, yüzey sıcaklığı ise 6000 °K ve merkez yoğunluğu 130 gr/cm^3 civarındadır. Bir yıldızın içindeki enerji ya ışınım ya da konveksiyonla taşınır. Kondüksiyonla taşınım ihmal edilebilecek kadar azdır. Eğer enerji yalnız ışınım ile taşınıyorsa, yıldızda kararlı bir tabakalaşma mevcuttur. Bu kurala uygun olarak güneşte de kararlı bir tabakalaşma mevcuttur. Güneş tarafından salınan ışınım hem elektromanyetik ve hem de parçacık özelliği gösterir. Elektromanyetik ışınım, dalga boyu $1 \text{ }^{\circ}\text{A}$ 'dan $150 \text{ }^{\circ}\text{A}$ 'a kadar olan x-ışınlarından metrelerce olan dalga boylarına kadar uzar (Kreith ve Kreider, 1978).

Güneşte bulunan helyum miktarından fazla olan hidrojen, güneşten ışın olarak çıkan enerjiyi verir. Güneşin bir saniyede ürettiği enerji miktarı, insanlığın şimdiye kadar kullandığı enerji miktarından fazladır. Güneşin merkezinde saniyede 564 milyon ton hidrojen, 560 milyon ton helyuma dönüşmektedir. Aradaki 4 milyon ton fark ısı ve ışık enerjisi olarak uzaya yayılmaktadır. Uzaya gelen ışınlar yakıcı ve öldürücüdür. Zararlı olan ışınlar dünyaya ulaşmadan ozon tabakası tarafından tutulur. Ozon tabakası güneşin morötesi ışınlarını yutmakla canlıları bu zararlı ışınlardan korur. Ozon tabakası muhteşem denge ile sadece canlıların ihtiyacı olduğu kadar gerekli olan morötesi güneş ışınlarının dünyaya ulaşmasını sağlar.

Güneş tamamen çok yoğun ve çok sıcak gazlardan meydana gelir, yaklaşık 4 haftada bir kendi etraflarında döner. Bu dönme katı cisim gibi olmaz, ekvator kısmı 27 günde, kutuplar ise 30 günde döner (Kılıç ve Öztürk, 1983).

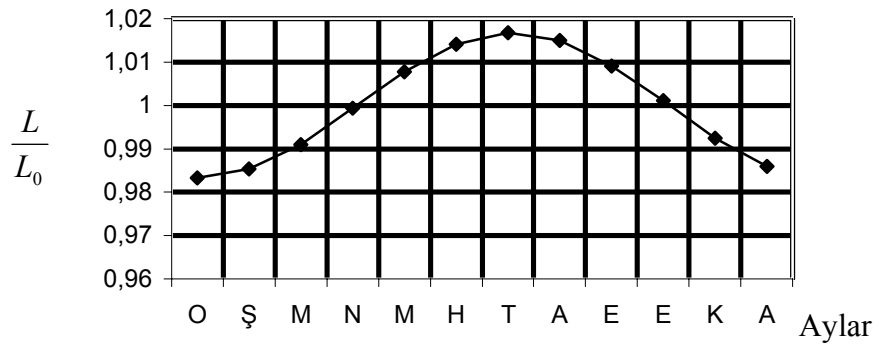
Güneş ve dünya ile ilgili değerler Tablo 3.1.'de verilmiştir. Güneş, genel olarak üç bölge iç güneş, fotoküre ve güneş atmosferi olarak üç bölgede incelenir. İç güneş, güneşin esas kütesini meydana getirir. Fotoküre (ışık küre), güneşin görünen ışınlarını belirten, basıncın ve yoğunluğun düşük olduğu ince gaz tabakasıdır.

Fotokürenin çevresinde, kromküre (renk küre) ve korona (güneş tacı)'dan meydana gelen oldukça saydam güneş atmosferi bulunmaktadır. Kromküre düşük yoğunluk ve basınçta ince bir tabakadan ve korona ise milyarlarca kilometre kalınlıkta seyrek gazlardan oluşur.

Tablo 3.1. Güneş ve dünya ile ilgili değerler (Deriş, 1987)

GÜNEŞ	
Çapı	139196106 km
Kütlesi	19891030 kg
Hacmi	141211027 m ³
Ortalama yoğunluğu	1409 kg/m ³
Kütlesinin dünya kütlesine oranı	332488
Yüzeyindeki çekim ivmesi	273,98 m/s ²
Korona(güneş tacı)	106 K
Fotokürenin efektif siyah cisim sıcaklığı	5762 K
Kütleli bileşimi, yaklaşık	%75 H ₂ , %24,25 He, %0.75 ağır elementler
DÜNYA	
Ortalama güneş uzaklığı	14495985108 km
Ekvatorial yarıçapı	6378,17 km
Kutupsal yarıçapı	6376,79 km
Kütlesi	59771024 kg
Hacmi	1083221024 m ³
Ortalama yoğunluğu	5517 kg/m ³

Her gezegen, güneş etrafında daireye yakın eliptik bir yörünge etrafında döner. Dünyamız bu dönme için 365,2564 günde tamamlar, bu süreye güneş yılı denir. Kepler kanununa göre, dünyamız yörünge düzleminde dünya-güneş vektörü eşit zamanlarda eşit alanlar tarar. Dünya güneş mesafesi değiştiğinden dünyanın yörünge hızı da periyodik olarak değişir.



Şekil 3.1. Dünya-Güneş mesafesinin yıl boyunca değişimi (Kılıç ve Öztürk, 1983)

Dünya kutuplarda basık ve ekvator yarıçapı 6378 km kutup yarıçapı 6357 km olup küreye yakın bir şekildedir. Dünya ile güneş arasındaki ortalama mesafe $1,495985 \cdot 10^8$ km'dir (Tablo 3.1.). Yörünge eliptik olduğundan ve güneş tam merkezde bulunmadığından dünya güneş mesafesi değişir. Bu mesafe 4 Temmuz'da maksimum (ortalama mesafeden %1.7 kadar büyük), 3 Ocak'ta minimum (ortalama mesafeden %1,7 kadar küçük) olur. Ortalama mesafe L_0 ve dünya-güneş uzaklığı L olmak üzere L/L_0 'ın yıl boyunca değişimi Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.

3.2. Güneş Geometrisi

Güneşin hareketi dünyadaki gözlemlere göre açıklanmalıdır. Dünyadan bir yerden gözlemlendiğinde güneş dünyanın çevresinde bir yörüngedeymiş gibi görünür. Bu görünüş yanlış olmasına rağmen, dünyada güneşten faydalanmak için yapılan bir sistem için uygundur. Güneş dünyadan, doğu-batı doğrultusunda, dünya çevresinde bir yörüngede ve uzaya sürekli parlak ışık gönderen bir cisim gibi görünür (Korkmaz, 1998).

3.2.1. Güneşin Hareketi

Güneş etrafındaki dünya yörüngesinin düzlemi ile dünyanın eksenini arasında yaklaşık 23.5° 'lik bir açı vardır. Bu çarpık konum nedeniyle, mevsimler meydana gelir. 21 Mart'ta gece ve gündüz eşit uzunluktadır ve buna ilkbahar ekinoksu denir. 21 Haziran'da kuzey yarı küresinde güneş en yüksek duruma gelir ve bu konuma yaz solstisi denir. Yazın güneş ışınları kuzey yarı küresine oldukça dik gelir ve sonuç olarak sıcak günlerin çoğunlukla olduğu yaz mevsimi yaşanır. Sonbahar ekinoksunda (23 Eylül) gece gündüz eşitliği vardır. 22 Aralıkta kuzey yarı küresinde ışınlar yatık açıdan gelir ve etkinlikleri azalır, böylece kış solstisi meydana gelir (Deriş, 1984).

3.2.2. Güneş Işınımı

Yaşamın kaynağı olan güneş, doğal sistem enerjisinin büyük bir bölümünü sağlar. Güneşin merkezindeki sıcaklık milyonlarca dereceye ulaşırken, yayımlanan ışınımın spektrumunu belirleyen yüzey tabakasının (fotoser) sıcaklığı olan $6000 \text{ }^\circ\text{K}$ 'dır. Sıcak

cisimlerden ışınım, elektromagnetik özelliğe sahip olup gücün spektral dağılımı (birim dalga boyunda, birim alana, birim zamana gelen enerji) sıcaklığın bir fonksiyonudur. Yer yüzüne diğer yıldızlardan da elektromanyetik spektrumun değişik aralıklarında enerji gelmektedir; ancak, yerkürenin temel enerji kaynağı güneş olup, yerküreye gelen ışınımın büyükçe bir bölümü görünür bölgededir. Enerji taşıyan birimler gibi düşünebilecek fotonlar, spektrumun görünür bölgesinin kırmızı yanında daha küçük enerji, mavi-mor yanında daha büyük enerji taşırlar. Seçilen bir dalga boyundaki fotonun taşıdığı enerji ve o dalga boyunda birim yüzeye birim zamanda gelen foton sayısı, seçilen dalga boyundaki gücü tanımlar. Dünyamıza güneşten gelen ve spektrumun kırmızının ötesinde kalan kızıl-ötesi ve morun ötesinde kalan mor ötesi bölgelerinde bulunan ışınımın da toplam enerjiye önemli bir katkısı vardır. Güneşin gücü, yani bir saniyede güneş sistemine verdiği enerji, çok büyük olmasına karşın, yerküre atmosferinin dışına ulaşan tutar yalnızca küçük bir bölümüdür. Güneş ışınımının havaküreyi (atmosferi) geçerken uğradığı değişimin bağlı olduğu değişkenlerin sayısı oldukça çok olmasına karşın, en önemli değişken, ışığın havakürede aldığı yolun uzunluğudur (Acaroğlu, 2003).

3.2.3. Güneş Işınının Doğrultusu ve Güneş Açıları

Güneş ışınları yerkürenin yüzeyine doğrudan ve dolaylı olarak iki değişik yoldan gelir. Eğer güneş ışınları atmosfer içinde hiçbir sapmaya uğramadan yeryüzüne gelirlerse, buna doğrudan güneş radyasyonu (direkt radyasyon) denir. Eğer, güneş ışınları atmosfer içinden geçerken yönlerini ya yansıma ya da saçılma nedeniyle değiştirerek yeryüzüne ulaşırlarsa buna da yayılı radyasyon denir. Verilen herhangi bir zaman ve yeryüzündeki bir yerde, yatay ile eğimi herhangi bir değer alan ve herhangi bir yöne bakan, eğik bir düzleme gelen direkt güneş radyasyonunun eğik düzlemlerle yaptığı açı olan θ 'yı Benford ve Boch aşağıdaki denklem ile ifade etmişlerdir (Atagündüz, 1989).

$$\cos\theta = \sin\delta \sin\phi \cos\beta - \sin\delta \cos\phi \sin\beta \cos\gamma + \cos\delta \cos\phi \cos\beta \cos\omega + \cos\delta \sin\phi \sin\beta \cos\gamma \cos\omega + \cos\delta \sin\beta \sin\gamma \sin\omega \quad (3.1)$$

Burada θ ; eğik düzlemin normali ile direkt güneş radyasyonu arasındaki açıdır. Güneş geliş açısı olarak adlandırılan δ gökkürenin ekvator düzlemine göre güneşin açisal yüksekliğini verir ve buna deklinasyon (eğim) açısı denir. $-23.45^\circ < \delta < +23.45^\circ$

arasında değerler alır. β eğik düzlemin yatay ile yaptığı açıdır ve $0^\circ < \beta < 180^\circ$ değerlerini alabilir. γ yüzey azimut açısı eğik düzlemin normalinin yatay düzlemdeki izdüşümünün güney ile yaptığı açıdır ve $-180^\circ < \gamma < 180^\circ$ değerlerini alır. w saat açısıdır ve her 15° bir saate eşdeğerdir ve güneş öğlesinde w sıfırdır. ϕ 'de coğrafi enlem derecesidir. Eğer β sıfır ise yani yatay düzlem için bu açı zenit açısına eşittir. Deklinasyon açısı astronomlar tarafından ölçülür ve bu ölçülen değerlere göre literatürde birçok bağıntılar verilmiştir. Bunlardan ölçülen değerlere en yakın değerleri veren bağıntı Cooper tarafından geliştirilen ampirik denklemdir ve n , 1 Ocak'tan itibaren gün sayısı olmak üzere aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\delta = 23,45 \sin \left[360 \left(\frac{284 + n}{365} \right) \right] \quad (3.2)$$

Denklem (3.2) kullanılarak elde edilen eğim açısının aylara göre eğişimi Şekil 3.2.'de verilmektedir. Bu şekilde n yerine her ayın, aylık ortalama gün değerleri \bar{n} kullanılmıştır. Bu değerler Tablo 3.2.'de gösterilmiştir.

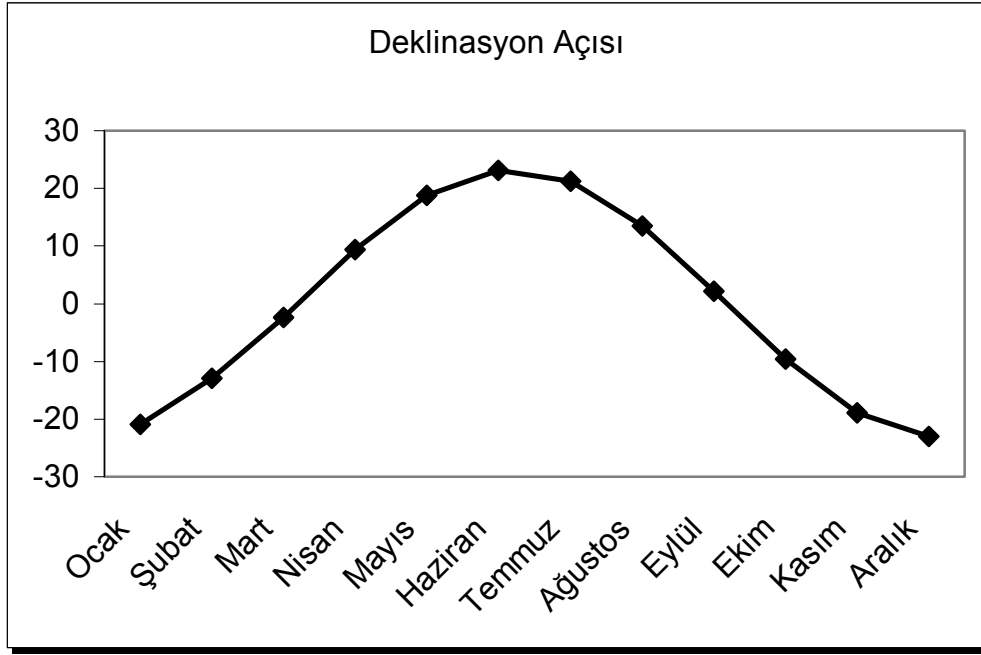
Tablo 3.2 Aylık ortalama gün değerleri.

Ay	\bar{n}	Ay	\bar{n}	Ay	\bar{n}
Ocak	17	Mayıs	135	Eylül	258
Şubat	47	Haziran	162	Ekim	288
Mart	75	Temmuz	198	Kasım	318
Nisan	105	Ağustos	228	Aralık	344

Zenit açısı, yatay düzlemin normali ile direkt güneş ışınlarının (güneş yer doğrultusunun) yaptığı açıdır. Güneşin doğuşundan batışına kadar $\theta_z=90^\circ$ ve güneş ışınları yatay düzleme dik geldiği zaman $\theta_z=0$ olur. Buna göre Denklem (3.1)

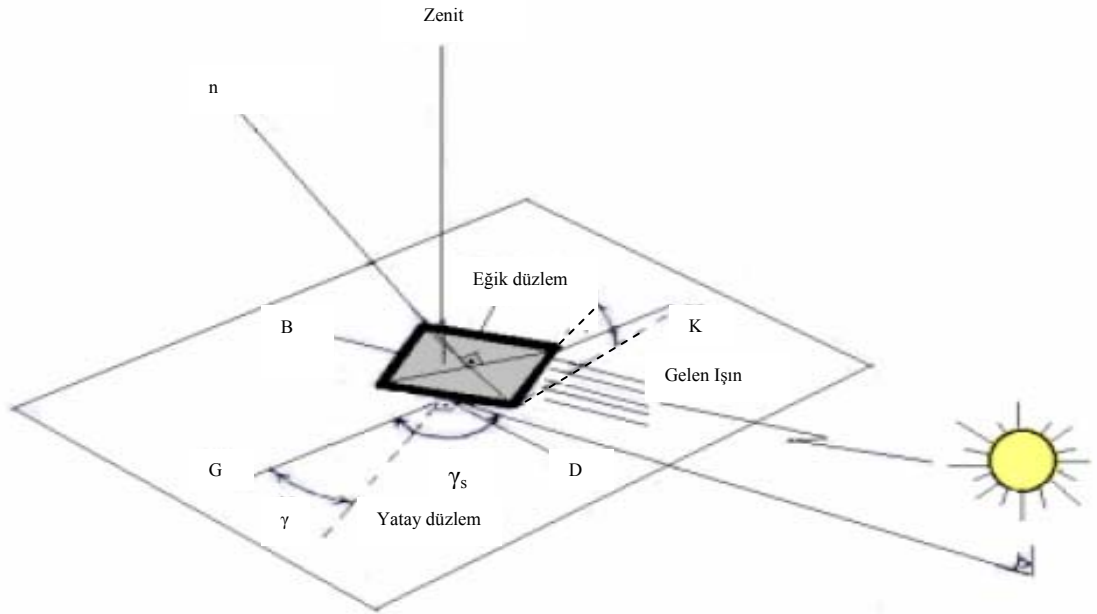
$$\cos\theta_g = \cos\theta_z = \sin\phi \cdot \sin\delta + \cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \cos w \quad (3.3)$$

şeklinde olur (Duffie ve Beckman, 1980).



Şekil 3.2. Deklinasyon açısının aylara göre değişimi

Yatay ve eğik yüzeye gelen güneş radyasyonunun hesaplanabilmesi için β eğik yüzey açısının ve γ azimut açısının bilinmesi gereklidir. Yukarıda tanımlanan bu açılar Şekil 3.3.'de görülmektedir.



Şekil 3.3. Güneş açıları (Bezir, 2002)

Yatay düzlem için güneşin doğuş ve batış saat açıları simetriktir ve yatay düzlem için saat açısı aşağıdaki denklemlerle verilir (Bezir, 2002).

$$w = \arccos(-\tan\phi \cdot \tan\delta) \quad (3.4)$$

Değişik konum açlarına sahip eğik düzlemler için güneşin doğuş ve batış saat açıları ayrı ayrı yazılır. Yüzey azimut açısı γ için dört farklı durum söz konusudur. $\gamma < 0^\circ$, $\gamma > 0^\circ$, $\gamma = 0^\circ$ ve $\gamma = \pm 180^\circ$ 'dir (Oturanç, 1989). Gün uzunluğu t_0 aşağıdaki şekilde verilir.

$$t_0 = (2/15) \cdot \arccos(-\tan\delta \cdot \tan\phi) \quad (3.5)$$

Gün uzunluğu, ekvatorda ($e=0^\circ$) her zaman deklinasyon açısı sıfır olduğundan, 12 saattir. Kuzey yarıkürede, deklinasyon açısının pozitif değerlerinde kuzeye doğru gidildikçe gün uzunluğu artar, deklinasyon açısının negatif değerlerinde azalır (Kılıç ve Öztürk, 1983).

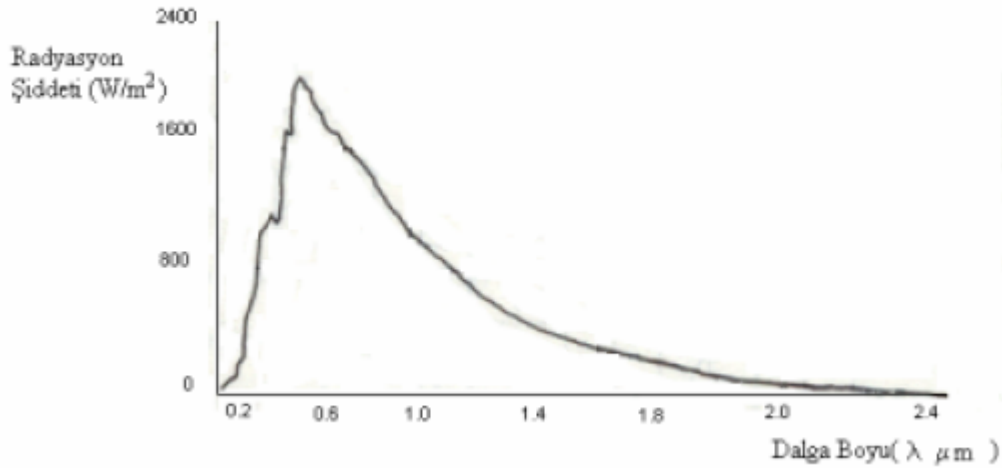
3.3. Güneşimizin Enerjisi

Güneş enerjisi, güneşten gelen ve dünya atmosferi dışında sabit ve 1353, yeryüzünde ise 0-1100 W/m² değerleri arasında olan yenilenebilir bir enerji çeşididir. Bu enerji ısıtmadan soğutmaya dek çeşitli ısı uygulamalarda ve elektrik üretiminde kullanılabilir. Türkiye coğrafi konumu itibarıyla güneş kuşağı içinde yer alıp, güneş enerjisi kullanımının uygun olduğu bir ülkedir.

Güneş ışınması farklı görünüşler altında tanımlanmalıdır. Önce atmosfer dışında, dünya tarafından güneşten alınan toplam enerjiyi tanımlamak gerekir. Güneş sabiti diye bilinen bu veri meteorolojik şartlardan ve gözlem yapılan yerden bağımsız temel bir sabittir. Ayrıca dalga boyunun fonksiyonu olarak, ışınımın tayfsal dağılımını ve çoğunlukla seçici olan enerji yayıncılarını tanımlamak zorunludur. Son olarak kuşkusuz gözlem yerine bağlı atmosferik emilmeyi de tanımak gerekir. Bazı dalga boylarının az veya çok emildiği bir siyah cisim ışınmasına benzeyen güneş spektrumu, sürekli bir ışımadan meydana gelmiştir. Spektrumda, bazı dalga boylarında çizgi ve

yutma bantları oluşur. Bunlar dünya atmosferi veya güneş kaynaklı olabilirler. Bu nedenle bunlara yer kaynaklı bantlar denir. Güneş çizgileri güneş sabitinde mevcuttur. Yer kaynaklı bantlar atmosferik yutulma nedeniyle yok edilebilirler. 3000 °A'dan yukarı 2μ'dan büyük ışımlar geniş banda ve dalga boyu 25 μ'dan büyük bazı ışımlar atmosferde tamamen yutulurlar. 3000 °A'dan yukarıdaki yutulmalar, kesinlikle atmosferin üstünde bulunan ozon tabakasında oluşur. Kızılötesi yutulma ise genellikle su buharında ve karbondioksit gazında olur (Baldemir, 1987).

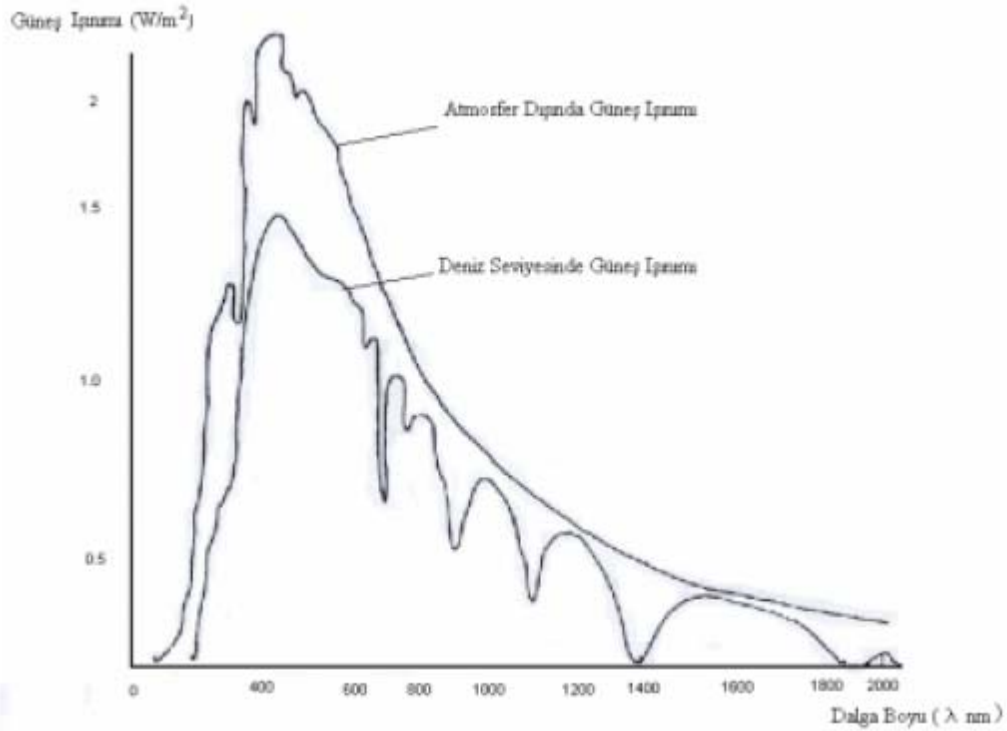
Atmosfer tabakası dışında düşünülen zahiri yatay bir düzleme dik gelen güneş radyasyonuna atmosfer dışı güneş radyasyonu denir. Şekil 3.4.'de görülen ışınım şiddeti eğrisinin altında kalan alan, güneş sabiti olarak verilir ve değeri 1353W/m²'dir. Şekilde güneş radyasyon şiddeti dalga boyu üzerine taşınmıştır. Şekilde görüldüğü gibi, toplam güneş radyasyonu değişik dalga boylarında ve değişik şiddettedir. En büyük radyasyon şiddeti gözle görülebilen güneş ışınlarının dalga boyları bölgesindedir. Gözle görülebilen güneş ışınlarının dalga boyları yaklaşık 0.4 ile 0.7 μm arasındadır. Hemen hemen tüm enerji, 0,2 ile 3 μm dalga boyları arasındaki bölgede taşınmaktadır (Duffie ve Beckman, 1980).



Şekil 3.4. Ortalama yer güneş mesafesine göre güneş ışınının atmosfer dışında spektral dağılımı ve 1353W/m² güneş sabiti (Bezir, 2002)

Atmosfere ulaşan fotonların büyük bir kesimi; bu yutulmalar nedeniyle yeryüzüne ulaşamamaktadır. Fotonların atmosfer içinde soğurulması, enlem-boylam ve deniz seviyesinden olan yükseklik nedeniyle meydana gelen değişiklikler, dünyanın eksenini

etrafında dönmesiyle meydana gelen gece-gündüz sıcaklık farkı gibi etkenler güneş enerjisinden faydalanmayı olumsuz yönde etkileyen önemli faktörlerdir. Gelen güneş ışınlarının atmosferden geçerken yalnız şiddeti ve özelliği değişmekle kalmaz aynı zamanda bazı dalga boylarının yutulması sonucunda tayfsal dağılımı da değişir. Bu nedenle, Şekil 3.5.'de görüldüğü gibi güneş ışınının atmosfer dışındaki ve yeryüzündeki tayfsal dağılımları birbirinden farklıdır. Güneş enerjisinin tayfsal dağılımı üzerine etki eden başka bir olay da güneşte olan patlamalardır. Ancak etkisinin çok az olması nedeniyle göz önüne alınmaz (Bezir, 2002).



Şekil 3.5. Güneş ışınının tayfsal dağılımı

3.3.1. Güneş Radyasyonu

Kaynağı güneş ışınları olan sistemler, güneş ışınlarından (radyasyon) faydalanarak istenilen fonksiyonları yerine getirirler. Güneş ışığının şiddeti ölçülebilir. Işığın şiddeti onun yoğunluğudur. Güneş teknolojisinde daha kullanışlı olan sayısal değer ışığın parlaklığıdır. Yoğunluk ışık dalgasının ya da radyasyonun kuvvetini açıklarken, parlaklık bir düzeye düşen enerji miktarını açıklar. Parlaklık belirli zaman biriminde, birim yüzeye düşen enerji miktarı olarak tanımlanır.

Güneş ışığının parlaklığı için kullanılan iki genel terim daha vardır. Bunlardan birisi güneşlenme. Güneşlenme, yatay düzlemin aldığı güneş parlaklığıdır. Türkiye'nin birçok bölgesinde bulunan meteoroloji istasyonları güneşlenmeyi ölçmektedir. Güneş akısı, güneş parlaklığı ve güneşlenme aynı anlama gelen terimlerdir. Aralarındaki fark, güneşlenme yatay düzleme gelen enerji miktarını açıklarken, diğerleri herhangi açılı bir düzleme gelen enerji miktarını açıklar.

Bir düzlemin aldığı parlaklık ya da güneş akısı, düzlemin güneş ışınlarına dikliği ya da eğikliği ile değişir. Güneş ışınlarına dik olan bir yüzeyin aldığı enerji miktarı, eğik olandan daima daha fazladır. Bir güneş kolektörü güneş ışınlarına dik olarak açılındırılırsa daha fazla enerji toplar. Bu sebeple güneş kolektörlerinin eğim açısı, sabit kolektörler için dikkate alınması gereken bir faktördür. Yeryüzünde güneş radyasyonunun yoğunluğu sabit değildir. Radyasyon değerleri geceleri sıfır olurken, açık bir günde maksimum düzeye ulaşır. Güneş radyasyonunun toplanmasında yalnız güneşin yönü değil, güneşten alınması gereken ışınların yönü de dikkate alınmalıdır. (Kılıç ve Öztürk, 1983).

3.4. Günlük Toplam ve Saatlik Olmak Üzere Direkt ve Yayılı Işıma Değerlerinin Hesap Yolu İle Bulunması

3.4.1. Aylık Ortalama Günlük Işıma Değerinin Hesabı

Akinoğlu ve arkadaşları tarafından önerilen, aylık ortalama günlük ışıma değerleri ile atmosfer dışı ışıma oranı,

$$\frac{\bar{H}}{H_0} = 0,145 + 0,845 \frac{\bar{s}}{N} - 0,28 \left(\frac{\bar{s}}{N} \right)^2 \quad (3.6)$$

şeklindedir (Fakıoğlu ve Ecevit, 1998). Burada, \bar{H} aylık ortalama günlük ışıma değerleri, MW/m^2 cinsinden olup, yatay yüzeye doğrudan güneşten gelen direkt ışımayı ve aydınlanan atmosferden gelen yayılı ışımayı içerir. Atmosfer dışı ışıma, H_0 , yine MW/m^2 cinsinden olup, atmosfer üstü yatay yüzeye gelen aylık ortalama

günlük ışıma değeridir. Denklem (2.6)'da kullanılan \bar{s} aylık ortalama günlük güneşlenme süresidir. \bar{N} ise aylık ortalama gün uzunluğudur ve

$$\bar{N} = \frac{2}{15} \bar{w}_s \quad (3.7)$$

şeklinde ifade edilir. Burada,

$$\bar{w}_s = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \bar{\delta}) \quad (3.8)$$

şeklindedir. Aylık ortalama gün değerleri \bar{n} , kullanılarak aylık ortalama atmosfer dışı ışıma değerleri,

$$\bar{H}_o = 1353 \cdot \left[1 + 0,033 \cos\left(\frac{360\bar{n}}{365}\right) \right] \cdot \left(\cos \phi \cdot \cos \bar{\delta} \cdot \sin \bar{w}_s + \frac{2 \cdot \pi \cdot \bar{w}_s}{360} \sin \phi \cdot \sin \bar{\delta} \right) \quad (3.9)$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Burada 1,353 kW/m² cinsinden güneş sabitidir.

3.4.2. Günlük Ortalama Değerlerin Hesabı

Yatay yüzeye, MW/m² cinsinden, gelen günlük ortalama toplam güneş ışıma değerleri, aylık ortalama değerleri, günlük ortalama değerlere taşıyan bir Fourier serisi açılımıdır. Bu açılım;

$$H = A_0 + A_1 \cos(x.n) + A_2 \cos(x.2n) + A_3 \cos(x.3n) + A_4 \cos(x.4n) + A_5 \cos(x.5n) + B_1 \sin(x.n) + B_2 \sin(x.2n) + B_3 \sin(x.3n) + B_4 \sin(x.4n) + B_5 \sin(x.5n) + B_6 \sin(x.6n)$$

şeklindedir. Burada n, 1'den 365'e kadar değişen gün sayısı, $x = \frac{2\pi}{365}$ dir. A₀'dan B₆'

ya kadar olan katsayı değerleri literatürde (Fakioğlu ve Ecevit, 1998) verilmiştir.

3.4.3. Saatlik Ortalama Değerlerin Hesabı

Saatlik ortalama güneş ışımalarını hesaplamak için öncelikle uygun n değerleri sırasıyla Denklem (3.8), deklinasyon denklemi ve Denklem (3.9)'a girilerek H_0 değerinin hesaplanması gerekir. Çünkü yayılı ışımının toplama oranı H_d/H , $K_T=H/H_0$ ' in fonksiyonudur. Bu belirtilen ilişki, Collares-Pereira ve Rabl (Fakıoğlu ve Ecevit, 1998), tarafından korele edilmiş olup aşağıdaki formdadır.

$$\frac{H_d}{H} = \begin{cases} = 0.99 & K_T \leq 0.17 \\ = 1.188 - 2.272 K_T + 9.473 K_T^2 & 0.17 < K_T < 0.75 \\ = -21.865 K_T^3 + 14.648 K_T^4 & \\ = -0.54 K_T + 0.632 & 0.75 \leq K_T < 0.80 \\ = 0.2 & K_T \geq 0.80 \end{cases} \quad (3.10)$$

Böylece herhangi bir gün, n , için günlük toplam yayılı ışımaya hesaplanabilir. Herhangi bir günün, her hangi bir saati için, yayılı ışımaya değeri,

$$\frac{I_y}{H_d} = \frac{\pi}{24} \frac{\cos w - \cos w_s}{\sin w_s - \frac{2\pi \cdot w_s}{360} \cos w_s} \quad (3.11)$$

ifadesiyle hesaplanır. Yatay yüzeye gelen, saatlik toplam güneş ışımaları,

$$\frac{I}{H} = (a + b \cdot \cos w) \frac{I_d}{H_d} \quad (3.12)$$

kullanılarak hesaplanabilir. a ve b katsayıları,

$$a = 0.409 + 0.5016 \sin(w_s - 60) \quad (3.13)$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \sin(w_s - 60)$$

şeklinde (Fakıoğlu ve Ecevit, 1998). Saatlik direkt ışımaya değerleri $I_d + I_y = I'$ den kolaylıkla bulunabilir.

3.5. Yoğunlaştırıcı Sistemlerin Özellikleri

Düzlem yüzeyli güneş kolektörlerinde akışkan sıcaklığı düşüktür, yüksek sıcaklık uygulamalarında yoğunlaştırıcı güneş kolektörlerinin kullanılması gerekir. Aynı açıklık alanına gelen güneş ışınımından düz toplayıcılarla, yoğunlaştırıcı toplayıcılardan daha fazla miktarda faydalanılabilir. Fakat yoğunlaştırıcı toplayıcılarla yüksek sıcaklıklara ulaşılabilir. Böylece sıcaklık seviyesinin artması ile ısı enerjisi olarak kullanılabilir enerji artar. Yoğunlaştırıcı güneş kolektörleri üç amaç için kullanılır: 1-) Güneş enerjisinden kazanılan ısı enerjisinin sıcaklık seviyesini yükseltmek. 2-) Isı kayıpları fazla olan büyük yüzeyleri küçülterek toplayıcının kayıplarını azaltmak, dolayısıyla verimini yükseltmek. 3-) Daha kullanışlı ve ekonomik bir sistem oluşturmak.

Bir yoğunlaştırıcıda ışınların düştüğü net alana açıklık alanı ve güneş ışınlarını soğuran alana soğurucu yüzey denir. Bir düz toplayıcıda açıklık alanı ile soğurucu yüzey birbirine eşittir. Yoğunlaştıran toplayıcılarda ışınım soğurucu yüzeye gelmeden önce optik olarak yoğunlaşır ve böylece açıklık alanından daha küçük bir soğurucu yüzey yeterlidir. Soğurucu yüzeyin küçültülmesi ile ısı kayıpları azaltılabilir. Aynı zamanda küçülen yüzey üzerinde toplam ısı geçiş katsayısını küçültecek tedbirlerin alınması daha kolay ve ucuz olur. Sıcaklığın, dolayısıyla çevre ile sıcaklık farkının artması ısı kaybının artmasına sebep olsa da aynı sıcaklıktaki toplayıcılar için, alıcı yüzeyin ve bilhassa toplam ısı geçiş katsayısının küçülmesi ile toplayıcı verimi bakımından diğer kayıplar (gölge, güneşi iyi takip edememe yansıtılan ve kırılan ışınların alıcı yüzey üzerine düşmemesi, vb.) yüzünden de verim ayrıca azalır.

3.6. Güneş Yoğunlaştırıcıları

Yoğunlaştırıcı geometriye bağlı olarak doğru üzerine yoğunlaştırma yöntemi ile 60-300 °C, nokta üzerine yoğunlaştırma yöntemi ile de 1100-1400 °C sıcaklığa kadar ulaşılabilir. Böylece sıcaklık seviyesinin artması ile ısı enerjisi olarak kullanılabilir enerji artar. Nokta üzerine güneş ışınlarını yoğunlaştırmada küresel simetri vardır ve güneş fırınları, merkezi güç sistemleri vb. stirling çevrimi ile çalışan motorlar yüksek

sıcaklık gerektiren uygulamalarda kullanılır. Güneş ışınlarının gün boyu takip edilmesi ve dolayısıyla iki serbestlik dereceli takip sistemi gereklidir. Doğruya yoğunlaştırma ise silindirik simetriye sahiptir ve orta derecede sıcaklık isteyen hallerde kullanılır. Parabolik yoğunlaştırıcılar, parabolik birleşik yoğunlaştırıcı veya parabolik yalak tipi yoğunlaştırıcı olarak imal edilirler.



a-)



b-)

Şekil 3.6. Yoğunlaştırıcı güneş kolektörleri a-) Nokta üzerine b-) Doğru üzerine yoğunlaştırma

Parabolik yalak tipi yoğunlaştırıcılar en çok ve en kolay uygulanan yoğunlaştırıcı tipidir. Soğurucu yüzeyin küçük olması ısı kayıplarını azaltırken, yalnız direk güneş ışımından yararlanmaları nedeniyle optik kayıpları yüksektir. Optik kayıpların azaltılması güneş izleyici sistem ile mümkündür. Parabolik yalak tipi yoğunlaştırıcıların ısı etkinliğine etki eden parametreleri şöyle sıralanabilir: 1-) Tasarım parametreleri (yoğunlaştırma oranı, kenar açısı vb.). 2-) Malzemelerin özellikleri (yansıtma, soğurma katsayıları). 3-) Çalışma şartları (ışınma şiddeti, izleyici mekanizmanın izleme yöntemi, çalışma sıcaklığı, kütle debisi). 4-) Soğurucu yüzeyin özellikleri (soğurucu yüzey geometrisi, vakumlu veya vakumsuz oluşu).

Soğurucu boru üzerine düşen ısı akısını arttırmak için gelen güneş radyasyonu yoğunlaştırılmış olmalıdır. Yansıtma yüzeyi bu nedenle yüksek speküler yansıtma ile veya bir yansıtma elemanı ile donatılmalı ayrıca soğurucu boruda da güneş ışınları için yüksek speküler geçirgenliğe sahip malzeme kullanılmalıdır (Usta, 1995).

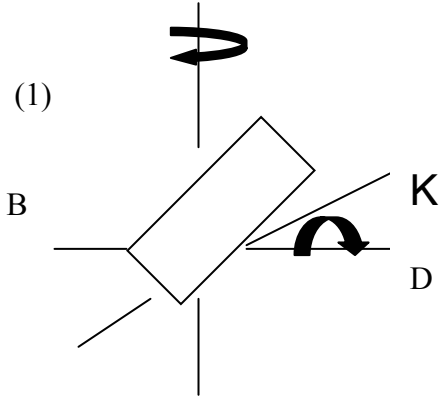
Yansıtma yüzeyleri çoğunlukla iyice parlatılmış metaller veya bu tip kaplama elemanı ile uygun hale getirilirler. Bu işlem ile her zaman opak yüzey üzerine kaplama yapılarak gerçekleştirilirler. Örneğin bakır üzerine krom veya parlatılmış alüminyum.

3.7. Güneş İzleme Tipinin Seçimi

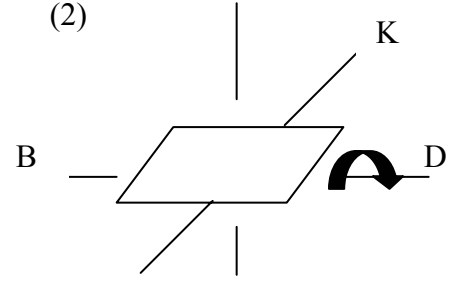
Güneş takip sistemleri elle veya otomatik olarak yapılabilir. Çok az yoğunlaştıran lineer toplayıcılarda mevsimlik, aylık veya haftalık en iyi konumların elle yapılması mümkündür. Yoğunlaştırma arttıkça güneşi sürekli olarak takip etmek gereklidir. Sürekli elle takip etme, yapan şahsın kabiliyet ve çalışkanlığına bağlı olduğundan, fazla yoğunlaştırma yapılmadığı hallerde işçilik ucuzsa tavsiye edilebilir. Otomatik olarak güneşin takip edilmesi detektörle, güneşi arayan bir sistemle veya yere ve zamana göre programlanmış bir sistemle olabilir. Programlamada güneşin doğrultusunu veren denklemlerden faydalanılır (Alibaş, 1998).

Parabolik yalak tipi yoğunlaştırıcının açıklık alan normali, güneşten gelen direk ışınlarla çakıştığı zaman ideal odaklama süreci gerçekleşir. Bunun için güneşin iki ekseninde izlenmesi gerekir. Ancak iki eksenli izleme mekanizmaları karmaşık ve ekonomik olmadıklarından güneşin tek ekseninde izlenmesi ekonomik olmakta ve daha basit sistemler gerektirmektedir. Bu nedenle parabolik yalak tipi yoğunlaştırıcılar genellikle güneşi tek ekseninde izleyecek şekilde tasarlanırlar. Tek eksenli izlemede direk güneş ışınları ile yoğunlaştırıcının açıklık alan normali arasındaki açı sistem verimini büyük ölçüde etkileyen bir parametredir. Tek eksenli izleyiciler temel olarak üç tiptir; a-) Bilgisayar kontrollü izleyici. b-) Gölge hattı izleyicileri. c-) Akış hattı izleyicileri.

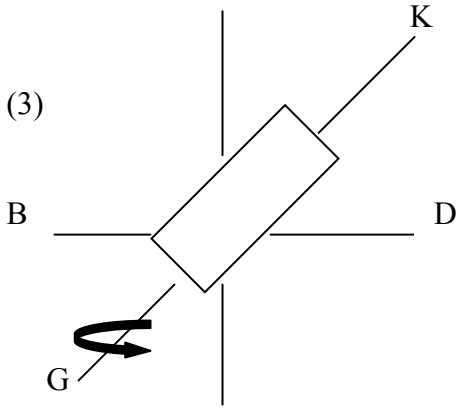
Güneş hareketini izleyen kollektörlerde izleyici tipinin seçimi yanında, izleme yönteminin seçiminde büyük önem taşır. İzleyici seçiminde ilk adım izleme yöntemlerinin tanımlanmasıdır. Daha sonra bu yöntemlerin özellikleri, üstünlükleri ve çalışma sırasında karşılaşılabilecek problemlerin bilinmesi gerekir. Parabolik yalak tipi yoğunlaştırıcılar için alternatif izleme yöntemleri ϕ enlem açısı olmak üzere Şekil 3.7.'de gösterilmiştir (Usta, 1995).



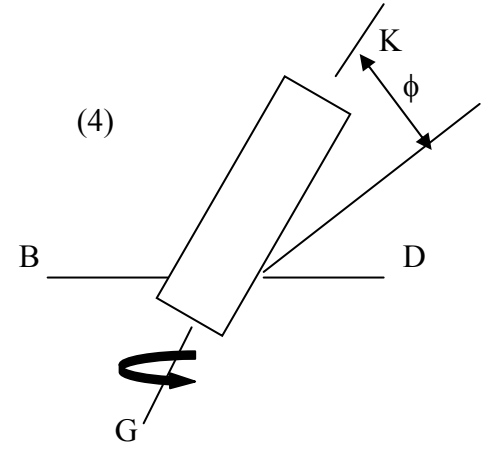
İki eksenli izleme



Bir eksenli (D-B eksenli) izleme



Bir eksenli (K-G eksenli) izleme



Bir eksenli (kutup eksenli) izleme

Şekil 3.7. Güneşi izleme sistemleri

3.7.1. İki Eksenli İzleme

Bilgisayar kontrollü izleme sisteminde, izleme açılarının hesaplanması gereklidir. Rüzgar etkisi problem yaratır. Boru bağlantıları zor olacaktır. Birbirine dik iki eksen etrafında dönme ile güneş ışınlarının yüzeye normal olarak düşmesi sağlanır. Güneş sürekli takip edildiği için saatlik veya mevsimlik değişim yüksektir.

3.7.2. Doğu-Batı Yatay Ekseninde Sürekli İzleme

Gün doğuşunda ve gün batımında kollektörün izleme açısı aynı büyüklükte olacaktır. İzleyici sistem ya basit bir şekilde başa döner veya bir mikro bilgisayar yardımıyla

kontrol edilir. Yıllık toplanan enerji iki eksenli sisteme göre %32,8 daha az olacaktır. Doğu-Batı eksenini boyunca aynı eksen etrafında döndürülür. Anlık maksimum güneş enerjisi elde etmek için sürekli ayarlama yapılmalıdır. Mevsimlik önemli bir değişim yoktur fakat saatlik değişimler oldukça büyüktür.

3.7.3. Kuzey-Güney Yatay Ekseninde Sürekli İzleme

Güneşli izlemede geniş bir günlük açısal yola ihtiyaç vardır. Bu yüzden izleyicinin maliyeti yüksek olacaktır. Yıllık toplanan enerji, iki eksenli toplayıcıdan %22,7 daha azdır ve $\phi=35^\circ$ için doğu-batı yatay ekseninden %15 daha iyidir. Kuzey-Güney eksenini boyunca yerleştirilir ve aynı eksen etrafında döndürülür. Anlık maksimum güneş enerjisi elde etmek için sürekli ayarlama yapılmalıdır. Saatlik önemli bir değişim yoktur fakat mevsimlik değişimler oldukça büyüktür.

3.7.4. Kuzey-Güney Kutup Ekseninde Sürekli İzleme

Kutup ekseninde izlemede, iki eksenli izleme ile mümkün olan ışımaya %4 oranında yaklaşılr. Yıllık toplanan enerji doğu-batı yatay eksenli izlemeden yaklaşık %30 daha fazladır. Rüzgar etkisi büyük problem oluşturabilir. Çünkü kollektör bölgesel enlem açısına eşit bir açı ile eğimlidir (yer eksenine paralel). Güneş saatlik izlenir. Dolayısıyla günbatımından gün doğuşuna ayar gerektirir. Kutup eksenini boyunca yerleştirilir ve bu eksen etrafında döndürülür. Anlık maksimum güneş enerjisi elde etmek için sürekli ayarlama yapılmalıdır. Saatlik önemli bir değişim yoktur fakat bölgenin enlem açısına bağlı olarak mevsimlik bazı değişimler oldukça önemlidir. Kollektör normali ile güneş ışımasını arasındaki geliş açısı için ifade,

$$\cos \beta = (\sin^2 \delta + \cos \delta \cdot \cos^2 w)^{1/2} \quad (3.14)$$

şeklinde verilir. Belli bir güneş enerjisi uygulaması için parabolik yalak tipi yoğunlaştırıcı tasarımında, yoğunlaştırıcı soğurucu karakteristiklerinin ve boyutlarının uygun şekilde belirlenmesi oldukça zordur. Belli bir sıcaklık gerektiren özel bir uygulama için yoğunlaştırıcı boyutu, soğurucu geometrisi, boyutları ve yüzey karakteristikleri, değişik destekler, kontrol ve diğer özellikler dikkatlice

seçilmelidir. Bu seçimlerdeki kriter ekonomikliğe, dönüşüm verimine, toplam ağırlığa, malzemenin kolayca bulunabilmesine, kolayca imal edilmesine veya bunların kombinasyonuna ve diğer parametrelere bağlıdır.

3.8. Parabolik Yalak Tipi Kollektörün Yoğunlaştırma Oranı

Parabolik yalak tipi kollektörler için türetilen yoğunlaştırma oranı; enerjinin yansıtılmasında ideal ayna kullanıldığı, hedef alanın ayna alanından daha küçük olduğu ve bundan dolayı hedefin aynayı engellemediği, radyasyonun tamamı ayna eksenine paralel olduğu, varsayımlarına dayandırılmıştır.

3.8.1. Yoğunlaştırmanın Tanıtılması

İdeal bir aynada, ayna üzerine düşen radyasyon kesri hedef alana doğru giden radyasyonun kesrine eşit olduğu farz edilmiştir. Bundan dolayı (Cobble, 1961),

$$Q_m = Q_t \quad (3.15)$$

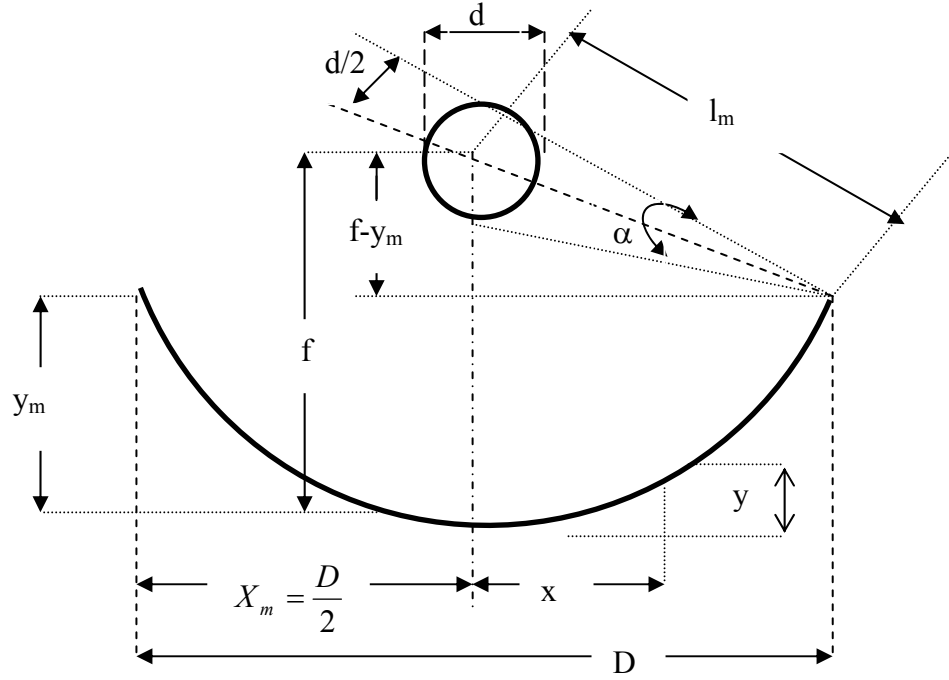
ifadesi yazılabilir. Denklem (3.15)'nin sol tarafının pay ve paydasını aynanın normal alanı ile ve sağ tarafının pay ve paydasını hedef alanı ile çarpalım, sonuç aşağıdaki gibi olur.

$$\frac{Q_m A_{nm}}{A_{nm}} = \frac{Q_t A_t}{A_t} \quad (3.16)$$

İfade yeniden düzenlenirse yoğunlaştırma oranı aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\frac{\frac{Q_t}{A_t}}{\frac{Q_m}{A_{nm}}} = \frac{A_{nm}}{A_t} = C \quad (3.17)$$

3.8.2. Silindir Hedefi Olan Parabolik Toplayıcının Yoğunlaştırma Oranı



Şekil 3.8. Dairesel silindir hedefe sahip olan parabolik silindir ayna

Şekil 3.8.'den görüldüğü gibi, tüm radyasyonu alacak olan hedefin çapı ayna sınırlarından yansıtılan ışınlar yardımıyla bulunur (aynanın simetrik olduğu varsayılmıştır). Şekil 3.8.'den eğer hedef ve aynanın uzunlukları birbirine eşit ve L kadarsa, Denklem (3.17) yardımıyla yoğunlaştırma,

$$C = \frac{D.L}{\pi.d.L} = \frac{D}{\pi.d} \quad (3.18)$$

şeklinde yazılır. Şekil 3.9.'dan,

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{d/2}{l_m} = \frac{d}{2l_m} \quad (3.19)$$

veya yeniden düzenlenerek,

$$d = l_m \left(2 \sin \frac{\alpha}{2} \right) \quad (3.20)$$

ifadesi elde edilir. Şekil 3.8.'den,

$$l_m = \sqrt{(f - y_m)^2 + x_m^2} \quad (3.21)$$

yazılabilir. Parabolün denklemini maksimum noktada,

$$x_m^2 = 4fy_m \quad (3.22)$$

şeklindedir. Bu ifade Denklem (3.21)'de yerine yazılıp düzenlenirse,

$$l_m = f + y_m \quad (3.23)$$

elde edilir. Aynı zamanda,

$$y_m = \frac{x_m^2}{4f} \quad (3.24)$$

$$x_m = \frac{nf}{2} \quad (3.25)$$

elde edilir. Denklem (3.24) ve (3.25), Denklem (3.23)'de yerine konulursa,

$$l_m = f + y_m = f + \frac{x_m^2}{4f} = f + \frac{1}{4f} \left(\frac{nf}{2} \right)^2 = f + \frac{n^2 f}{16} = f \left(1 + \frac{n^2}{16} \right) \quad (3.26)$$

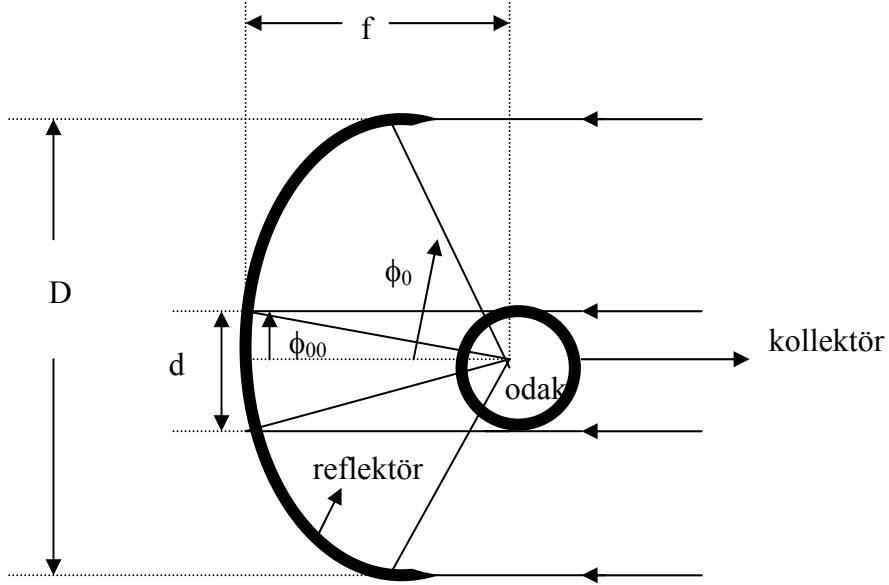
elde edilir. Daha sonra $D = nf$ ifadesi ve Denklem (3.26), Denklem (3.18)'de yerine yazılırsa,

$$C = \frac{D}{\pi \cdot d} = \frac{nf}{\pi \left[l_m \left(2 \sin \frac{\alpha}{2} \right) \right]} = \frac{nf}{\pi \left[f \left(1 + \frac{n^2}{16} \right) \left(2 \sin \frac{\alpha}{2} \right) \right]} = \frac{n}{\pi \left(1 + \frac{n^2}{16} \right) \left(2 \sin \frac{\alpha}{2} \right)} \quad (3.27)$$

Reflektör yüzeyindeki ΔA yüzey elemanına ulaşan ΔQ güneş enerjisi;

$$\Delta Q = Q_0 \cdot \Delta A \cdot \cos \phi / 2 \quad (3.30)$$

ile verilir (Külünk ve Eyice, 1983).



Şekil 3.10. Silindirik parabolik reflektör kollektör sistemi

Yüzey elemanı ΔA ise,

$$\Delta A = L \cdot \Delta L \quad (3.31)$$

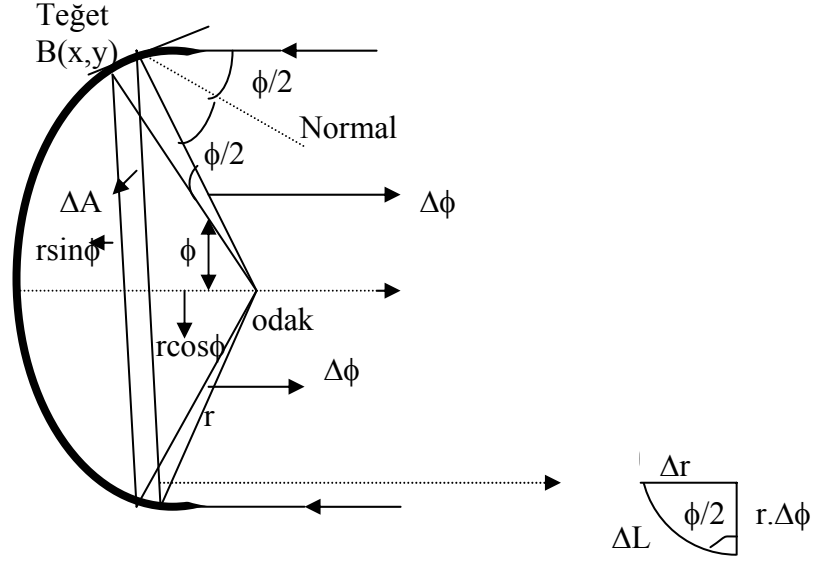
ile bellidir. Burada L kollektörün veya reflektörün uzunluğu, ΔL ise birim yüzey elemanının enini temsil etmektedir ve Şekil 3.11.'de gösterilen ilişkilere sahiptir. Bu nedenle,

$$\Delta L = r \cdot \Delta \phi \cdot (\cos \phi / 2)^{-1} \quad (3.32)$$

alınabilir. Bu denklemdeki yarıçap vektörü,

$$r = 2f / (1 + \cos \phi) \quad (3.33)$$

ifadesinden bulunabilir.



Şekil 3.11. Alan elemanın geometrik ilişkileri

Denklem (3.31-32 ve 33) birleştirilirse,

$$\Delta A = L \left(r \Delta \phi \frac{1}{\cos \phi/2} \right) \Rightarrow \Delta A = L \cdot f \left(\frac{2}{1 + \cos \phi} \right) \left(\frac{1}{\cos \phi/2} \right) \Delta \phi \quad (3.34)$$

$$\phi = 2u, \quad \cos 2u = 2\cos^2 u - 1 \quad \text{ve} \quad \left(\frac{2}{1 + 2\cos^2 u - 1} \right) \left(\frac{1}{\cos u} \right) = \frac{1}{\cos^3 u} \Rightarrow u = \phi/2 \quad \text{yazılırsa,}$$

birim yüzey elemanı,

$$\Delta A = L \cdot f \cdot (\cos^3 \phi/2)^{-1} \Delta \phi \quad (3.35)$$

bulunur. Toplam yüzey alanı ise,

$$A_T = L \cdot f \int_{\phi_{00}}^{\phi_0} (\cos^3 \phi/2)^{-1} d\phi \quad (3.36)$$

$$u = \phi/2, \quad du = d\phi/2 \Rightarrow d\phi = 2du \quad \text{alınırsa,} \quad (3.37)$$

$$A_T = Lf \int_{\phi_{00}}^{\phi_0} (\cos^3 u)^{-1} 2 \cdot du \Rightarrow A_T = 2Lf \int_{\phi_{00}}^{\phi_0} \cos^3(u)^{-1} \cdot du \quad (3.38)$$

$$A_T = 2fL \left[\frac{\sin \phi/2}{\cos^2 \phi/2} + \ln \left(\frac{1}{\cos \phi/2} + \tan \phi/2 \right) \right]_{\phi_{00}}^{\phi_0} \quad (3.39)$$

$$A_T = 2fL \left[\left(\frac{\sin \phi_0/2}{\cos^2 \phi_0/2} + \ln \left(\frac{1}{\cos \phi_0/2} + \tan \phi_0/2 \right) \right) - \left(\frac{\sin \phi_{00}/2}{\cos^2 \phi_{00}/2} + \ln \left(\frac{1}{\cos \phi_{00}/2} + \tan \phi_{00}/2 \right) \right) \right] \quad (3.40)$$

böylece reflektörün güneş ışınlarına maruz kalan toplam alanı bulunur. Denklem (3.30 ve 3.35) yardımıyla birim zamanda reflektöre gelen güneş enerjisi bulunabilir,

$$\Delta Q = Q_0 \cdot Lf \cdot (\cos^3 \phi/2)^{-1} \cdot \cos \phi/2 \cdot \Delta \phi \Rightarrow \Delta Q = Q_0 Lf (\cos^2 \phi/2)^{-1} \cdot \Delta \phi \quad (3.41)$$

Reflektöre gelen toplam güneş enerjisi ise,

$$Q = 2 \cdot Q_0 Lf \int_{\phi_{00}}^{\phi_0} \frac{1}{\cos^2 \phi/2} \cdot d\phi \quad (3.42)$$

ile bulunmaktadır. Burada görülen 2 faktörü kollektör simetrisinden dolayı gelmektedir.

$$Q = 2 \cdot Q_0 Lf \cdot 2 \left(\tan \phi/2 \right)_{\phi_{00}}^{\phi_0} \quad (3.43)$$

$$Q = 4Q_0 Lf (\tan \phi_0/2 - \tan \phi_{00}/2) \quad (3.44)$$

Reflektöre gelen toplam güneş enerjisi bulunur. Fakat pratikte reflektöre gelen güneş ışınlarının bir kısmı yansıtılır, geri kalanı soğurulur. Yansıyan ışınım doğrusal odağa konulan yalıtımlı boruya gelir ve bu yalıtımlı boru içinden geçen akışkanı ısıtır. Reflektörün yansıtma katsayısı (ϵ) ve kollektörün soğurma katsayısı (α) olarak alınır, kollektörün absorbe ettiği enerji aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$Q_K = \epsilon \cdot \alpha \cdot Q \quad (3.45)$$

3.9.2. Parabolik Yalak Tipi Kollektöre Gelen Anlık Enerjinin Optik Analizle Bulunması

3.9.2.1. Yansıtıcı Yüzeye Gelen Güneş Işınımı

a-) Yansıtmayı yapacak olan eğik yüzey elemanına gelen anlık direkt güneş ışınımı

1. Yatay ve güneye bakan yüzeye dik olarak gelen direkt ışınım şiddeti

$$I_e = I_d \cdot \cos \theta_z \text{ W/m}^2 \quad (3.46)$$

denklemine göre hesaplanır (Külünk ve Eyice, 1983).

2. Eğik ve güneye bakan yüzeye dik olarak gelen direkt güneş ışınımı

$$I_{de} = I_d \cos GA \text{ W/m}^2 \quad (3.47)$$

denklemine göre hesaplanır. Denklem (3.46) ve (3.47)'den

$$R_d = \frac{I_{de}}{I_e} = \frac{\cos GA}{\cos \theta_z} \quad (3.48)$$

yazılır. Burada R_d , eğik ve yatay düzleme gelen anlık direkt güneş ışınımının oranıdır ve aşağıdaki gibi ifade edilir.

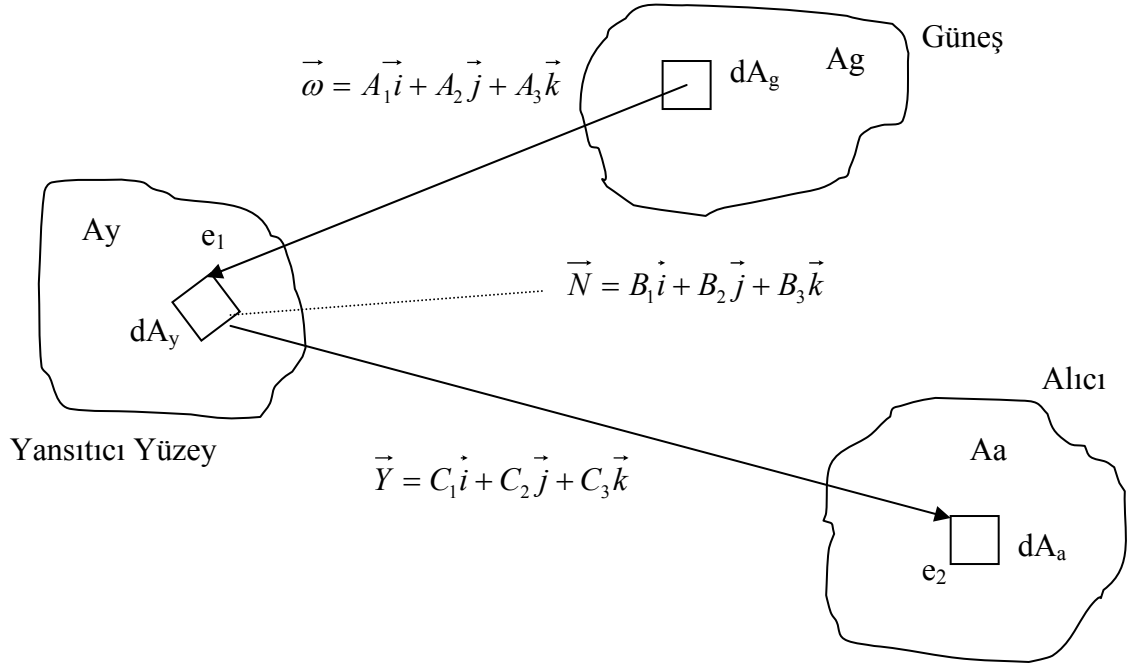
$$I_{de} = R_d \cdot I_e = \frac{\cos GA}{\cos \theta_z} \cdot I_e \quad (3.49)$$

b-) Bir anda alıcıya birim yüzeyden yansıtılacak güneş ışınımı aşağıdaki gibi verilir.

$$e_1 = I_e \cdot \frac{\cos GA}{\cos \theta_z} \cdot dA_y \quad (3.50)$$

3.9.2.2 Alıcı Kesitindeki Toplam Enerji

Yansıtıcı uzay yüzeyinin ve alıcı yüzeyin birbirine göre durumları ve x,y,z koordinat sistemindeki denklemleri verildiği zaman, alıcı yüzeyindeki enerji akışını hesaplayabiliriz.



Şekil 3.12. Güneş, yansıtıcı yüzey ve alıcının geometrik durumları

Alıcı birim yüzeyine gelen anlık enerji,

$$e_2 = \delta \cdot I_e \cdot \frac{\cos GA \cdot dA_y}{\cos \theta_z \cdot dA_a} \quad (3.51)$$

ifadesinden hesaplanır (Eltez, 1986). Bu ifadedeki dA_y/dA_a oranı bulunurken yararlanılan temel kavram, yansıyan ışın denkleminin dA_y ve dA_a birim yüzey elemanları arasında bir dönüşüm sağlamasıdır (Look ve Sundvold, 1983). Bu dönüşüm sonucu,

$$e_2 = \frac{\delta \cdot I_e \cdot \frac{\cos(GA)}{\cos(\theta_z)} \left[\left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)^2 + 1 \right]^{1/2} \cdot A'}{\left[\left(\frac{\partial Z}{\partial X} \right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial Y} \right)^2 + 1 \right]^{1/2} \left[B' + (Z - z)C' + (Z - z)^2 D' \right]} \quad (3.52)$$

şeklindedir. Burada

$$A = 1 - f_1(\partial Z/\partial X) - f_2(\partial Z/\partial Y) \quad (3.53)$$

$$B = 1 - f_1(\partial z/\partial x) - f_2(\partial z/\partial y) \quad (3.54)$$

$$C = \partial f_1/\partial x + \partial f_2/\partial y + f_1(\partial f_2/\partial x \cdot \partial z/\partial y - \partial f_2/\partial y \cdot \partial z/\partial x) - f_2(\partial f_1/\partial x \cdot \partial z/\partial y - \partial f_1/\partial y \cdot \partial z/\partial x) \quad (3.55)$$

$$D = \partial f_1/\partial x \cdot \partial f_2/\partial y - \partial f_1/\partial y \cdot \partial f_2/\partial x \quad (3.56)$$

$$f_1 = C_1/C_2 \quad (3.57)$$

$$f_2 = C_2/C_3 \quad (3.58)$$

şeklinde verilir. Alıcı birim yüzeyine gelen anlık enerji e_2 'nin hesaplanmasındaki dönüşüm mekanizmasını, analiz edebilmesi için, alıcı boruyu silindirik, yansıtıcı yüzeyin x-z düzlemindeki kesiti parabolik ve güneş ışınlarını ise hesaplamayı kolaylaştırmak için,

$$\vec{\psi} = -i \quad A_1 = 0 \quad A_2 = 0 \quad A_3 = -1 \quad \text{şeklinde alalım.}$$

Alıcımız, parabolün yani yansıtıcının odağına yerleştirilmiştir. Yansıtıcı yüzey normalinin denklemi, $\vec{N}(x, z) = B_1\vec{i} + B_2\vec{j} + B_3\vec{k}$ şeklindedir. Buradaki B_1 , B_2 ve B_3 katsayıları;

$$B_1 = \frac{-f_x}{\sqrt{1 + f_x^2 + f_z^2}} = \frac{-x/2F}{\sqrt{1 + \left(\frac{x}{2F}\right)^2}} \quad (3.59)$$

$$B_2 = \frac{-f_y}{\sqrt{1 + f_x^2 + f_z^2}} = 0 \quad (3.60)$$

$$B_3 = \frac{f_z}{\sqrt{1 + f_x^2 + f_z^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{x}{2F}\right)^2}} \quad (3.61)$$

ile verilir. Böylece yansıyan ışın denklemi $\vec{Y} = C_1\vec{i} + C_2\vec{j} + C_3\vec{k}$ ifadesinden hesaplanır. Burada $C_2 = 0$ 'dır. C_1 ve C_3 ,

$$C_1 = -\frac{x/F}{1+x^2/4F^2} \quad (3.62)$$

$$C_3 = (\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) = \frac{1-x^2/4F^2}{1+x^2/4F^2} \quad (3.63)$$

ile verilir. Gelen radyasyon ve normal denklemlerinin skaler çarpımı geliş açısının kosinüsünü verir. Böylece $\cos(GA) = A_1B_1 + A_2B_2 + A_3B_3$ ifadesinden,

$$\cos(GA) = -\frac{1}{1+x^2/4F^2} \quad (3.64)$$

elde edilir. (3.52) nolu denklemdeki A^*, B^*, C^* katsayıları; Denklem (3.53), (3.51) ve (3.55)'de $\partial z/\partial x = x/2F$, $\partial z/\partial y = 0$, $\partial Z/\partial Y = 0$, $\partial Z/\partial X = X/\sqrt{R^2 - X^2}$,

$$f_1 = \frac{C_1}{C_3} = -\frac{x}{F(1-x^2/4F^2)} \quad f_2 = C_2/C_3 = 0 \quad \text{ifadeleri yerine yazılırsa}$$

aşağıdaki ifade bulunur,

$$A^* = 1 - f_1(\partial z/\partial x) = \frac{(1-x^2/4F^2)\sqrt{R^2 - X^2} + xX/F}{(1-x^2/4F^2)\sqrt{R^2 - X^2}} \quad (3.65)$$

$$B^* = 1 - f_1(\partial z/\partial x) = \frac{1+x^2/4F^2}{1-x^2/4F^2} \quad (3.66)$$

$$C^* = \partial f_1/\partial x = -\frac{(1+x^2/4F^2)}{F(1-x^2/4F^2)^2} \quad (3.67)$$

A^*, B^*, C^* değerleri Denklem (3.52)'de yerine konulursa,

$$e_2 = \frac{\delta \cdot A \cdot e^{-Bm} \left(\frac{1}{1+x^2/4F^2} \right)^{3/2} \left[(1-x^2/4F^2)\sqrt{R^2 - X^2} + xX/F \right]}{R \cdot \left[\frac{(Z-z)}{F(1-x^2/4F^2)} - 1 \right]} \quad (3.68)$$

alıcı birim kesitinde toplanan enerji miktarı denklemi elde edilir. Tüm alıcı kesitindeki toplam enerji,

$$E = \int_0^L e_2 \cdot \frac{R}{\sqrt{R^2 - X^2}} dX \quad (3.69)$$

integrali alınarak bulunur. Bulunan bu genel toplam enerji denkleminin hesaplanabilmesi için yansıtıcı ve alıcıya ait parametrelerin verilmesi gerekmektedir.

3.10. Parabolik Kollektörün Isıl Analizi

3.10.1 Parabolik Kollektörlerin Toplam Isı Kayıp Katsayısı

Parabolik toplayıcılar için alıcıdan ve koruyucu camdan kaynaklanan toplam ısı kayıp katsayısı (Mullick vd., 1989),

$$U_L = \left[\frac{1}{h_{r12} + h_{c12}} + \left(\frac{D_1}{D_2} \right) \frac{1}{h_{r2a} + h_{c2a}} + \left(\frac{D_1}{D_2} \right) \frac{t_g}{k_g} \right]^{-1} \quad (3.70)$$

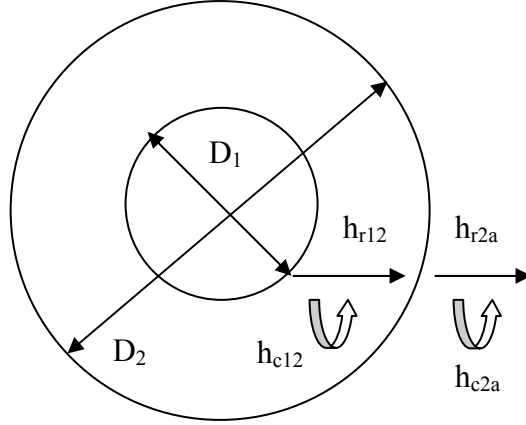
şeklinde verilmektedir. Burada h_r radyasyon ısı transfer katsayısı, h_c konveksiyon ısı transfer katsayısı, D_1 alıcı çapı, D_2 cam koruyucu çapı, t_g cam koruyucu kalınlığı ve k_g cam koruyucunun termal iletkenliğidir. Şekil 3.13.'de eşmerkezli silindirik alıcı ile cam koruyucunun sistematik diyagramı göstermektedir. Alıcı boru ile koruyucu cam arasındaki radyasyon ısı transfer katsayısı (Bhowmik ve Mullick, 1985),

$$h_{r12} = \frac{\sigma \cdot (T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2)}{1/\epsilon_1 + (D_1/D_2)(1/\epsilon_2 - 1)} \quad (3.71)$$

Burada, σ Steffan-Boltzman sabiti ($5,67 \cdot 10^{-8}$), T_1 ortalama alıcı yüzey sıcaklığı, T_2 ortalama cam koruyucu sıcaklığı, ϵ yüzeyin yutuculuğudur. Konvektif ısı transfer katsayısı (Mullick ve Nanda, 1989),

$$h_{c12} = C_w \cdot (T_1 - T_2)^{0,25} \quad (3.72)$$

şeklinde tanımlanır. Burada C_w ,



Şekil 3.13. Silindirik alıcı boru

$$C_w = \frac{17,74}{(T_1 + T_2)^{0,4} \cdot D_1 (D_1^{-0,75} + D_2^{-0,75})} \quad (3.73)$$

şeklindedir. Cam koruyucu ile çevre arasındaki radyasyon ısı transfer katsayısı, çevre sıcaklığına (T_a), cam koruyucu sıcaklığına ve cam koruyucunun yutuculuğuna bağlı olarak (Bhowmik ve Mullick, 1985),

$$h_{r2a} = \sigma \cdot \epsilon_2 \cdot (T_2^2 + T_a^2) (T_2 + T_a) \quad (3.74)$$

şeklinde verilmektedir. Koruyucu cam ile hava arasındaki konvektif ısı transfer katsayısı,

$$h_w = h_{c2a} = 4 \cdot V_w^{0,58} \cdot D_2^{-0,42} \quad (3.75)$$

şeklindedir. Burada V_w rüzgar hızı olup 1,5 ile 10 m/s arasında değer almaktadır. Sonuç olarak toplam ısı kayıp katsayısı aşağıdaki şekli alır (Mullick ve Nanda, 1989).

$$U_L = \left[\frac{1}{C_w (T_1 - T_2)^{0,25} + \frac{\sigma (T_1^2 + T_2^2) (T_1 + T_2)}{1/\epsilon_1 + (D_1/D_2)(1/\epsilon_2 - 1)}} + \left(\frac{D_1}{D_2} \right) \frac{t_g}{k_g} \right. \\ \left. + \left(\frac{D_1}{D_2} \right) \frac{1}{h_w + \sigma \epsilon_2 (T_2^2 + T_a^2) (T_2 + T_a)} \right]^{-1} \quad (3.76)$$

Toplam ısı kayıp katsayısının hesaplanabilmesi için cam koruyucu sıcaklığının yaklaşık değerinin bilinmesi gerekir. koruyucu cam sıcaklığını $\pm 10^0 K$ hata ile veren basit bir ampirik ilişki aşağıda verilmiştir (Mullick ve Nanda, 1989).

$$T_2 = T_a + 0,04075(D_1/D_2)^{0,4} \cdot h_w^{-0,67} [2 - 2\varepsilon_1 + (6 + 9\varepsilon_1)T_1/100](T_1 - T_a) \quad (3.77)$$

3.10.2. Alıcı Borudaki Yararlı Isı Miktarının Bulunması

Kararlı şartlar altında enerji dengesinden faydalanarak dx uzunluğu için yararlı ısı miktarı aşağıdaki denklem yardımıyla bulunur (Ergin, 1996).

$$dQ_u = [I_d \cdot R_d (W - D_0) \cdot \varepsilon \cdot \gamma \cdot (\tau\alpha)_d + I_d \cdot R_d \cdot D_0 (\tau\alpha)_d - U_L \cdot \pi \cdot D_0 (T_1 - T_a)] dx \quad (3.78)$$

Burada, γ engelleme faktörü, $(\tau\alpha)_d$ direkt radyasyon için ortalama yansıtma-emme katsayısıdır. Denklem (3.78)'in sağındaki ilk terim yansıtmadan sonraki alıcı boru tarafından yutulmuş direkt radyasyon miktarını, ikinci terim doğrudan alıcı boru üzerine gelen direkt yutulmuş miktarını ve üçüncü terim ise konveksiyon ve ışıma kayıplarını göstermektedir. İkinci terim birincisi ile karşılaştırıldığında oldukça küçüktür fakat yoğunlaştırma oranının küçük olduğu durumlarda önemlidir.

Çalışma sıvısının sıcaklığını (T_f) veren denklemi elde etmek için yutucu boru eksenini (x) boyunca sıcaklık dağılımını integre etmek gerekir. Bunun içinde aşağıda verilen bazı yardımcı terimlerin türetilmesi gerekir. Soğurulmuş akış,

$$S = I_d \cdot R_d \cdot \varepsilon \cdot \gamma \cdot (\tau\alpha)_d + I_d \cdot R_d \cdot (\tau\alpha)_d \cdot [D_0 / (W - D_0)] \quad (3.79)$$

şeklinde verilir. Bu tanımdan sonra Denklem (3.78),

$$dQ_u = [S - (U_L / C)(T_1 - T_a)](W - D_0) dx \quad (3.80)$$

şekline dönüşür. Yararlı ısı miktarı olan Q_u aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$dQ_u = h_f \cdot \pi \cdot D_0 \cdot (T_1 - T_f) \cdot dx \quad (3.81)$$

$$dQ_u = m \cdot C_p \cdot dT_f \quad (3.82)$$

Burada, h_f borunun iç yüzeyindeki ısı transfer katsayısı, C_p akışkanın sabit basınçtaki öz ısısı, T_f akışkan sıcaklığıdır. Eğer denklem (3.80) ve (3.81) birlikte çözümlerse yutucu boru sıcaklığı ortadan kalkar ve aşağıdaki denklem elde edilir.

$$dQ_u = F' [S - (U_L/C)(T_f - T_a)] (W - D_0) \cdot dx \quad (3.83)$$

Burada, F' kollektör verim faktörüdür. Denklem (3.82) ve (3.83) birlikte çözümlerse aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\frac{dT_f}{dx} = \frac{F' \pi D_0 \cdot U_L}{m \cdot C_p} [(C \cdot S / U_L) - (T_f - T_a)] \quad (3.84)$$

Bu denklem için sınır şartları, $x = 0$ 'da $T_f = T_{fi}$ ve $x = L$ 'de $T_f = T_{fo}$ 'dır. Denklem (3.84)'ün integrali alınıp birinci sınır şartı uygulanırsa x yönündeki (boru eksenini boyunca) sıcaklık dağılımı aşağıdaki gibi olur.

$$T_f = [(C \cdot S / U_L) + T_a] - \{ [(C \cdot S / U_L) + T_a] - T_{fi} \} \exp(-F' \pi D_0 \cdot U_L \cdot x / m \cdot C_p) \quad (3.85)$$

Çıkış akışkan sıcaklığı, ikinci sınır şartı uygulanarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$T_{fo} = [(C \cdot S / U_L) + T_a + T_{fi}] \{ 1 - \exp[-F' \pi D_0 \cdot U_L \cdot L / (m \cdot C_p)] \} + T_{fi} \quad (3.86)$$

Buradan yararlı ısı miktarı,

$$Q_u = m \cdot C_p \cdot (T_{fo} - T_{fi}) \quad (3.87)$$

$$Q_u = m \cdot C_p \{ [(C \cdot S / U_L) + T_a - T_{fi}] \{ 1 - \exp[-F' \pi D_0 \cdot U_L \cdot L / (m \cdot C_p)] \} \} \quad (3.88)$$

$$Q_u = F_R (W - D_0) L [S - (U_L / C)(T_{fi} - T_a)] \quad (3.89)$$

şeklinde alınır. Buradaki F_R ısı taşınım faktörü olup aşağıdaki şekilde tanımlıdır (Ergin, 1996).

$$F_R = \left[m.C_p / (\pi D_0.U_L.L) \right] \left\{ 1 - \exp \left[- F' \pi D_0.U_L.L / (m.C_p) \right] \right\} \quad (3.90)$$

3.11. Parabolik Yalak Tipi Kollektörün I. ve II. Yasa Analizleri

Literatürde, parabolik güneş kolektörlerinin termik verimi aşağıdaki gibi vermiştir (You ve Hu, 2002).

$$\eta_{I, \text{kollektör}} = \frac{Q}{I_e} = (\alpha\tau)F_k + (\alpha\varepsilon)F_k \frac{\sigma T_c^4}{C.I_e} - (\varepsilon\bar{\rho})F_k \frac{\sigma T^4}{C.I_e} - U_L F_k \frac{T - T_a}{C.I_b} \quad (3.91)$$

Burada, $\alpha\tau = \alpha_a \tau_c / 1 - \rho_c (1 - \alpha_a)$, $\alpha\varepsilon = \alpha_a \varepsilon_c / 1 - \rho_c (1 - \alpha_a)$, F_k kanatçık faktörü ve $\varepsilon\bar{\rho} = \varepsilon_a (1 - \rho_c) / 1 - \rho_c (1 - \alpha_a)$ şeklindedir. Ekserjetik verimi türetmek için önce ekserjinin tanımlanmasında yarar vardır. Ekserji tersinir bir süreç sonunda çevre ile denge sağlandığı takdirde kuramsal olarak elde edilebilecek maksimum iş miktarıdır. Bu tanıma uygun olarak ekserjinin hesaplanabilmesi için, çevrenin, basınç ve kimyasal kompozisyonunun kesinlikle belirtilmesi ve tersinir bir sürecin var olduğunun kabul edilmesi gerekir. Diğer tüm termodinamik analizler gibi, ekserji analizi için de tersinir sürecin nasıl olduğunun bilinmesi gerekli değildir. Sadece sürecin başlangıç-giriş noktaları ile bitiş-çıkış noktaları için geçerli olan koşulların bilinmesi gereklidir (Üçgül ve Koyun, 2004). Buna göre ısının ekserjisi

$$Ex_{,Q} = Q \left(1 - \frac{T_a}{T} \right) \text{ den hesaplanır. İncelenen sistemde faydalı enerji, } Q = I\eta_I$$

şeklinde hesaplanır. Buradan ısının ekserjisi,

$$Ex_{,Q} = I\eta_I \left(1 - \frac{T_a}{T} \right). \quad (3.92)$$

şeklinde elde edilir. Güneş radyasyon yoğunluğu tarafından bırakılmış ekserji ise literatürden (You ve Hu, 2002) aşağıdaki gibi alınmıştır.

$$Ex_{,güneş} \cong I \left(1 - \frac{4}{3} \frac{T_a}{T_s} (1 - 0,28 \ln f) \right) \quad (3.93)$$

Kollektörün ekserjetik (ikinci yasa) verimi aşağıda verilmiştir.

$$\eta_{II, kollektör} = \frac{E_{X,Q}}{Ex_{,güneş}} \cong \eta_{I, kollektör} \frac{\left(1 - \frac{T_a}{T} \right)}{1 - \frac{4}{3} \frac{T_a}{T_s} (1 - 0,28 \ln f)} \quad (3.94)$$

3.11.1. Isparta İçin Uygulama Hesabı



Şekil 3.14. Euro Trough Kollektör

Üzerinde durulan yaklaşımın esaslarını göstermek için, literatürden (Astrid vd., 2003) $\delta = 0,98$, kollektör uzunluğu 100 m, alıcı genişliği 5,8 m, alıcı yarı çapı 3,5 cm, odak uzaklığı 1,71 m olan ve Şekil 3.14.'de gösterilen Euro Trough Kollektör kullanılmıştır. Isparta güneşlenme değerlerinin Denklem (3.69)'da kullanılabilmesi için literatürden (Kılıç ve Öztürk, 1983) alınan yatay birim yüzeye bir anda gelen direkt güneş ışınımını,

$$I_d = A \cos(\theta_z) \exp(-Bm) \quad \text{W/m}^2 \quad (3.95)$$

veren ifadedeki A ve B katsayılarının Isparta değerlerinin hesaplanması gerekir. Bunun için Bölüm 3.4.'de anlatılan yöntemden faydalanarak anlık direk radyasyon değerleri bulunmuştur. Bu değerler Denklem (3.95) ile korale edilip, A ve B katsayıları hesaplanmıştır (Üçgül vd, 2004,I). Isparta ili için hesaplanan A ve B değerleri Ek-1 bölümündeki Tablo A.1.'de verilmiştir. Tablo A.1. değerlerine göre

hesaplaması yapılan parabolik yalak tipi kollektörün alıcısında toplanan anlık enerji miktarları Denklem (3.69)'a göre hesaplanmış, tablo ve grafik halinde Ek-1 bölümündeki Tablo A.2. ve Şekil A.1.'de sunulmuştur.

Hesaplaması yapılan parabolik yalak tipi kollektörün ekserji değerlendirmesinde ortam sıcaklığının 300 K olduğu varsayılmış, sistemdeki ısı kayıpları ihmal edilmiş, kollektörden çıkan akışkan sıcaklığı 400 K, $(\alpha\tau)F_k=0.8$, $(\varepsilon\bar{\rho})F_k=0.8$, $(\alpha\varepsilon)F_k=0.8$, $U_L=20$ W/m²K, $C=82,85$, $T_c=(T_a+2)$ K, $T_s=5777$ K olarak alınmış ve bulanıklık faktörü literatüre (Üçgül vd., 2004,II) göre hesaplanmış ve Ek-1 bölümünde Tablo A.3.'de verilmiştir.

Yapılan analiz hesaplarında meteorolojiden alınan Isparta güneş verileri kullanılmış ve bu veriler Ek-1 bölümünde Tablo A.4.'de sunulmuştur. Bu değerlere göre yapılan enerjetik (I. Yasa) ve ekserjetik (II. Yasa) hesaplama sonuçları Ek-1 bölümünde Şekil A.2. ve A.3.'de grafikler halinde verilmiştir.

3.12. Silindirik Parabolik Yalak Tipi Kollektörde Kullanılan Malzemeleri İncelenmesi

Silindirik parabolik yalak tipi kollektörler üç temel elemana sahiptir. Bunlar 1-) Soğurucu yüzey. 2-) Soğurucu etrafındaki cam koruyucu. 3-) Yoğunlaştırıcı yüzey.

3.12.1. Soğurucu Yüzey

Parabolik yalak tipi kollektörün temel elemanı soğurucudur. CrNi paslanmaz çelik boru imalatta kullanılabilir. Bu tip çelik borularda yüzeyin soğuruculuğu 0.3'tür. Bu nedenle yüzeyin soğurma özelliklerini arttırmak için yüzeyin kaplanması gerekir. CrNi boruda kullanılan siyah nikel kaplama ile yüzeyin soğuruculuğu $\alpha=0.9$ ve yayıcılığı $\varepsilon=0.3$ ulaşır (Usta, 1995). Seçici yüzey kaplamalarında soğuruculuğun yayıcılığa oranı bir mukayese faktörüdür. Bazı kaplamalar için bu oran Tablo 3.3.'de verilmiştir. Kayıpları azaltmak için yüzeyin soğuruculuğunun yüksek olması gerekir. Güneş ışımalarının %98'i elektromanyetik dalga spektrumunda 0.3~3 µm dalga boyu

aralığındadır. Dolayısıyla bu bölgede yüzeyin soğuruculuğu yüksek yayıcılığı düşük olmalıdır.

Tablo 3.3. Bazı kaplama malzemeleri için soğuruculuk ve yayıcılık

Kaplama Tipi	α	ε	α/ε
Galvanizli çelik üzerine siyah nikel	0.90	0.12	7.42
Parlak nikel üzerine siyah krom	0.87	0.088	10
Parlak nikel üzerine çinko veya nikel oksit ve sülfat	0.93	0.11	8.46
Siyah nikel	0.88	0.066	13.3
Pbs (Al üzerine)	0.89	0.20	4.45
CuO (Al üzerine)	0.85	0.11	7.23

3.12.2. Cam Boru

Soğurucu borunun dışına yerleştirilen bir cam boruyla taşıma ile ısı kaybı önlenir. Bu amaçla kullanılacak cam yüksek sıcaklığa dayanıklı pyreks cam boru olmalıdır. Cam borunun uzunluğu soğurucu uzunluğuna eşit olmalıdır. 2,5 mikronun altındaki dalga boyları için camın ortalama geçirgenliği yaklaşık 1'dir. Yüksek sıcaklık uygulamaları için optimum cam kalınlığı belirlenebilir. Cam 0.3 μm ile 3 μm arasındaki normal güneş ışımalarının yaklaşık %91'ini geçirir fakat 3~30 μm uzun dalga boyundaki soğurucu yüzeyin yaydığı ışımı geçirmez. Böylece cam boru kullanmakla hem taşınım ile ısı kaybı hem de ışınım ile ısı kaybı önlenmiş olur. Herhangi bir camın üzerine düşen normal anlık ışımaya için soğuruculuğu, camın geçirgenliği ve yansıtıcılığı biliniyorsa aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanabilir.

$$\tau_t + \alpha_t + \varepsilon_t = 1 \quad (3.96)$$

Bazı örtü malzemesi olarak kullanılacak maddeleri direkt normal geçirgenlikleri ve soğuruculukları Tablo 3.4.'de verilmiştir.

Tablo3.4. Bazı örtü malzemelerinin yansıtıcılık, soğuruculuk ve geçirgenlikleri

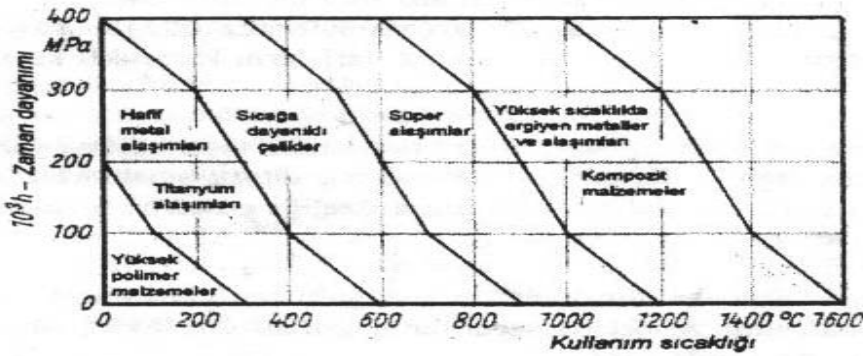
Cam	Geçirgenlik (τ)	Soğuruculuk (α)	Yansıtıcılık (ε)
Pyreks	0.90	0.02	0.08
Klasik pencere camı (1/8")	0.87	0.04	0.09
Düzgün tabaka (1/4")	0.77	0.16	0.07
Isı soğurucu tabaka (1/4")	0.41	0.53	0.06
Çift pencere camı	0.76	0.04 + 0.04	---
Çift düzgün plaka	0.60	0.07 + 0.10	---

3.12.3. Yansıtıcı Yüzey

Parabolik yalak tipi kollektörün bir başka önemli elemanı parabolik reflektördür. Reflektör malzemesi için ayna kullanılabilir, ayna için hazırlanacak profile göre cam fırınlanarak istenilen eğime kavuşması sağlanabilir. Ayrıca bu kollektör ayarlı ayaklar üzerine yerleştirilerek, güneşi takip edici sisteme bağlanıp güneş ışınımından daha fazla yararlanılması sağlanabilir. Parabolik yalak tipi kollektörlerin güneş ışığının yoğunlaştırılması gerekir. Bunun için parabolik yalak tipi kollektörde odaklama oldukça önemli bir faktördür. Parabolik yalak tipi yoğunlaştırıcıların, açıklık alan normali direkt ışınlarla çakıştığı zaman ideal odaklama gerçekleşir. Parabolik güneş yoğunlaştırıcıları teorik olarak maksimum konsantrasyona sahiptirler. Yoğunlaştırıcı güneş kollektörleri yüksek sıcaklık uygulamaları olarak bilinirler ve yüksek sıcaklık uygulamalarında malzeme seçimi son derece önemlidir (Üçgül ve Öztürk, 2005).

3.12.4. Sıcağa Dayanıklı Metal Malzemeler

Sıcaklığın yükselmesinde malzemede gerekli olan özelliklerden, yeterli mekanik dayanım (sıcağa ve yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemeler) ve artan çalışma sıcaklıklarında gaz korozyonuna karşı yeterli direnç (tufallaşmaya dayanıklı çelikler) ya da kimyasal dayanıklılık, yüksek ergime sıcaklığı, yeterli zaman dayanımı ve termoşok dayanımı ön planda tutulur. Bu istenilen özellikleri sağlayan çelik malzeme grupları için sıcaklığa bağlı olarak 10^3 h-zaman dayanımları Şekil 3.15.'de verilmiştir (Topbaş, 1998).



Şekil 3.15. Sıcaklığa bağlı olarak, değişik malzeme gruplarının 10^3 h-zaman dayanımları

Sıcağa dayanıklı malzeme olarak, genellikle 400 °C 'nin üzerinde kullanılabilen malzemeler anlaşılır. Ancak, bu sıcaklık sahasında kullanılabilen titanyum alaşımları, üretim maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle sıcağa dayanıklılıktan çok, iyi korozyon dayanımlarından tercih edildiklerinden sıcağa dayanıklı malzeme olarak alt sınırdaki kullanılabilen malzeme türleri, yalnızca alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerle, belirli çelik döküm çeşitleridir. Bu sıcaklık bölgesinde ve yükselen sıcaklıkla birlikte, yüksek alaşımlı ferritik ve ostenitik çelikler, nikel ve kobalt esaslı süper alaşımlar, sıcağa ve yüksek sıcaklığa dayanıklı konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılırlar. Daha yüksek sıcaklıklarda, yüksek sıcaklıkta ergiyen metaller ile karbür ve metal bazlı kompozit malzemeler, ekonomik olarak uygun olabileceği özel yerlerde kullanılırlar.

3.12.4.1. Sıcağa Dayanım Tanınma Büyüklükleri

Yüksek sıcaklıklı güneş enerjisi alıcı sistemleri için malzeme seçimi ve değerlendirme de, genel olarak şu büyüklükler ve özellikler aranır; kısa süre dayanımı (özellikle sıcakta akma sınırı), zaman sürekli dayanımı, zaman uzama sınırı, gevşeme (relaksasyon) direnci, dinamik dayanım (sürekli titreşim karakteristiği, termik yorulma, düşük frekans yorulması), uzun süre zorlanmada plastisite karakteristiği (zaman sürekli deneyine göre kopma uzaması değerine bağlı değerlendirme ile zaman sürekli dayanımı ve zaman uzama sınırı farkı) ile tufallaşmaya ve korozyona dayanım. Bunların yanı sıra çok fazla önemli olmasından dolayı, sürünme ve yorulma karakteristikleri, genellikle birlikte saptanır.

3.12.4.2. Sıcağa Dayanıklı Çelikler

Sıcağa dayanıklı çelik olarak, genellikle 400 °C 'nin üzerinde kullanılan alaşımsız ve alaşımlı çelikler anlaşılır. Tüm sıcağa dayanıklı malzemeler içerisinde, daha fazla kullanım alanına sahip olduklarından ve büyük ölçüde, standartlaştırıldıkları için, sıcağa dayanıklı çelikler sıcakta kullanılan diğer malzemelere nazaran daha fazla önem taşır. Sıcağa dayanıklı çelikleri, alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler, sıcağa dayanıklı krom çelikleri ve yüksek sıcaklığa dayanıklı ostenitik çelikler olarak, üç ana gruba ayırmak mümkündür. Böylece, bu amaçla kullanılacak çelik türlerinin alaşım tipleri hakkında da sınıflandırma yapılmış olmaktadır.

3.12.4.3 Alaşimsız ve Düşük Alaşımlı Çelikler

Alaşimsız çeliklerdeki karbon ve diğer artılamayan elementlerin yanında, sıcağa dayanıklı düşük alaşimli çeliklerde dayanımı arttırıcı element olarak krom, molibden, nikel, vanadyum ve volfram, ayrıca bazılarında da bakır, alüminyum, titanyum, bor ve zirkonyum bulunur. Bu elementlerin toplam miktarı, genellikle %6 'yi aşmaz. Alaşimsız ve düşük alaşimli çeliklerin kullanım sıcaklığı sahası 400 ile 580 °C arasındadır ve oda sıcaklığında çekme dayanımları 350 ile 600 MPa arasındadır. Bu çelikler, silisyum ya da alüminyumla sakınleştirilmiş ya da yan sakınleştirilmiş ve ince taneli çeliklerdir (Topbaş, 1998). Alaşimsız ferritik-perlitik çeliklerin (karbon çelikleri) dayanım karakteristikleri, karbon (%0,10 ile 0,30) ve mangan (%0,30 ile 1,60) miktarı ile birlikte, aktif (çözülmüş) azot miktarına bağlıdır. Mangan ve azotun etkisi, düşen sıcaklıkla birlikte artar, 450 ile 500 °C sıcaklıklarının üzerinde önemli bir etkileri yoktur.

Düşük alaşimli çeliklerin iyileştirilmiş sıcakta dayanım karakteristikleri, özel karbür teşekkül ettiren Cr, Mo ve V gibi elementlerle alaşımlanmasından dolayıdır. Kuvvetli karbür teşekkül ettirici olarak molibden özel bir öneme sahiptir. Buna karşın krom ve vanadyum, tek başlarında katıldıklarında sürünme direncinde belirgin bir iyileşme sağlamazlar.

450 °C sıcaklığın altında, alaşimsız çelikler yeterli özelliklere sahip oldukları, daha doğrusu düşük alaşımliylarla aynı özellikleri gösterdiğinden dolayı, molibden alaşimli çelikler genellikle kullanılmazlar. Ancak, çok uzun İşletme süreleri ve pek az form değiştirme olması gereken parçalarda, 450 °C'nin altında da molibden alaşimli çelikler kullanılabilir. Genel olarak 450 °C sıcaklığının üzerinde kullanılan molibdenli çelikler, % 0,5 kadar Mo İçerirler. Bu tipin en tanınmış çeşidi, 15 Mo 3 çeliğidir. Mo miktarının daha çok artması önemli bir dayanım artması sağlamaz.

3.12.4.4. Sıcağa Dayanıklı Krom Çelikleri

Sıcağa dayanıklı krom çelikleri, %12 kromlu çelikler tipindedir. Bunlar hem yalnızca X₂₀-Cr₁₃ çeliğinde olduğu gibi kromla alaşımlanırlar ve hem de ilave alaşım

elemanlarıyla %12 kromlu çeliklerin geliştirilmiş çeşidi tarzında olabilirler. Bunlar daha çok yüksek sıcaklıklı güneş enerjisi alıcı sistemlerinde kullanılırlar.

%12 kromlu çelik bazında tanınan çok sayıdaki çelik çeşidi, yüksek sıcaklıklarda kullanıldığında, iki gruba ayrılırlar: Mo içeren %12 kromlu çelikler ve Mo ile birlikte karbür teşekkül ettirici elementler ve Co içeren %12 kromlu çelikler. Karbür teşekkül ettirici elementlerin ve Co miktarının artmasıyla, ostenitik sahadan normal soğumada δ -ferritli martensitik ana yapı içerisinde karbür ve intermetalik bağlantılardan meydana gelen ikincil fazlar bulunduğu için, bu çeliklerin sıcağa dayanıklılığı artar sıcağa dayanıklı krom çelikleri, oksidasyona dayanıklıdır. Uygun dayanım yükseltici alaşım elemanları ilavesiyle, parabolik yalak tipi kollektörlerde 300-650 °C sıcaklıklarına kadar kullanılabilirler. Bunlar, kısmen fiyatın rol oynadığı ostenitik çeliklerin yerine ve ferritik-perlitik çeliklerle ostenitik çeliklerin arasındaki dayanım boşluğunda kullanılırlar.

3.12.4.5. Sıcağa Dayanıklı Ostenitik Çelikler

Sıcağa dayanıklı ostenitik çeliklerin gelişimi, çok tanınan paslanmaz 18/8 krom-nikel çeliklerine dayanır. Krom ostenitik sahayı daraltırken, nikel karşı etki yapar. Eğer, önceden tüm alaşım elemanlarının nikel ve krom eşdeğerlik değerleri belirlenirse, ostenitik çeliklerin faz bileşimleri Schaeffler diyagramından okunabilir. %18 krom ve %8 nikel içeren çelik, hızlı soğumada yaklaşık 1050 °C'de tam ostenitik olarak katılaşır, fakat yavaş soğumada δ -ferriti de meydana gelir. Hızlı soğuma sonucu engellenmiş δ -ferriti çökmesi, soğuk şekillendirmeye ya da çok düşük sıcaklıklara soğutmayla kısmen ortaya çıkabilir. 600 ile 700 °C sıcaklık sahasında, hem yapıdaki bulunan ferritten ve hem de ostenit fâzından meydana gelebilen, kırılğan tetragonal σ -fazı (FeCr) teşekkül eder. Zorlanma süresiyle birlikte artan σ -fazı miktarı sonucu, çeliğin sünekliliği kaybolur. Önceden uygulanan soğuk dayanıklaştırma ile zaman sürekli karakteristikleri iyileştirilebilir. Böylece, kullanım sıcaklığı 650 °C'ye kadar çıkartılabilir. Sıcağa dayanımı daha fazla iyileştirmek için bor, molibden, vanadyum ve kobalt ile alaşım yapılır. Ostenitik çeliklerin kullanım sıcaklığı, daha yüksek olan sıcakta dayanımları ve iyi tufallaşma dayanıklılıkları nedeniyle, 600 ile 750 °C arasındadır. Bu malzemeler daha çok, güneş kuleleri ve parabolik güneş

kollektörlerinde, buharlı, gaz türbinli ve nükleer enerjili enerji santrallerinde ve ayrıca uçak yapımında oldukça fazla kullanılırlar (Topbaş, 1998).

3.12.4.6. Süper Alaşımlar

Süper alaşım olarak, ana yapısı demir, nikel ya da kobalt olan, nispeten yüksek miktarlarda krom ve az miktarda da yüksek sıcaklıkta ergiyen molibden, volfram ve ayrıca alüminyum ve titanyum içeren alaşımlar anlaşılır. Bu malzemeler katı çözültü matrisi içerisinde ince dağılmış formda, değişik karbürler ve intermetalik fazlar içerirler. Bunlar, 600-1100 °C arasında kullanılabilirler. Alaşımda en iyi kullanım sıcaklığı, ergime sıcaklığının %80'i ($0,8.T_{erg}$) kadardır. Süper alaşımlar özellikle uçak, gemi, lokomotif ve enerji santrali gaz türbinlerinde, roketlerin tahrik sisteminde, yüksek sıcaklıklı güneş yoğunlaştırıcı sistemlerinde, kimyasal su-gaz dönüşüm reaktörlerinde kullanılırlar. Daha uzun ömür ve aynı zamanda yüksek mekanik ve termik zorlamalarda nikel ve kobalt esaslı alaşımlar tercih edilir. Enerji üretiminde kullanılan stasyonel türbinlerde ve dizel motorlarında, artan işletme sıcaklıklarında giderek bu malzemeler kullanılmaktadır (Üçgül ve Öztürk, 2005).

3.12.4.7. Yüksek Isıya Dayanıklı Nikel Alaşımları

Yüksek sıcaklıkta nikel alaşımlarının dayanım özellikleri, katı çözültü dayanıklılığı ve çökelme sertleşmesinin birlikte olması ve ayrıca, alaşım elemanlarının değişik şekillerde etkilediği yapı stabilitesinin geniş sınırlar arasında olmasındandır. Katı çözültü ile dayanım artması, özellikle Mo, W, Cr ve Co elementlerinin, nikelli zengin katı çözültü içerisinde bulunmasıyla ortaya çıkar ve rekristalizasyon başlangıcında dislokasyon reaksiyonunu frenler. Nikele kobalt ilavesi, sıcak şekillendirme sıcaklık sahasında sünekliliği iyileştirir ve krom (ayrıca La, Ce ve Y) yüksek sıcaklıkta korozyon dayanımını artırır. Küçük miktardaki bor, zirkonyum ve kısmen de magnezyum ve hafniyum, tane sınırı karakteristiklerinde iyileşme yapar.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

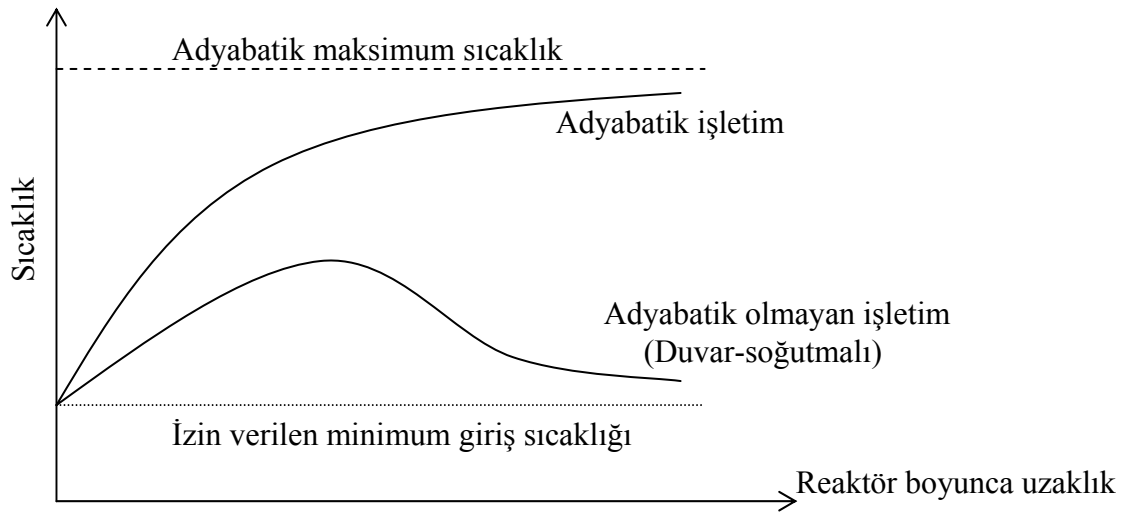
Bu bölümde, önce ayrıntılı olarak reaktör çeşitleri incelenmiş ve daha sonra su-gaz değişim reaksiyonu açıklanmış ve dört bileşenli polimer difüzyon katsayılarının hesabı verilmiştir.

4.1. Reaktör Çeşitleri

4.1.1. Boru Reaktör

Boru reaktör genel olarak seçilen uzaysal yöndeki tepkenlerin hepsinin veya birinin karalı hareket içinde olduğu ve akış yönü boyunca farklı noktalarda akışın, elemanları arasında karışımın olmadığı, kararlı akışta işletilen boru reaktördür. Boru reaktörlerde gerçekte çeşitli gaz reaksiyonları ve bazı sıvı faz reaksiyonları için kullanılan borulardır. Örnek olarak etilen elde etmek için hidrokarbonların termal parçalanmasını, nitrik asit oksidasyonunu ve olefinin sülfürlenmesini verir. Reaksiyondaki birçok homojen reaksiyon yalnız tepken akışkandan oluşmaktadır.

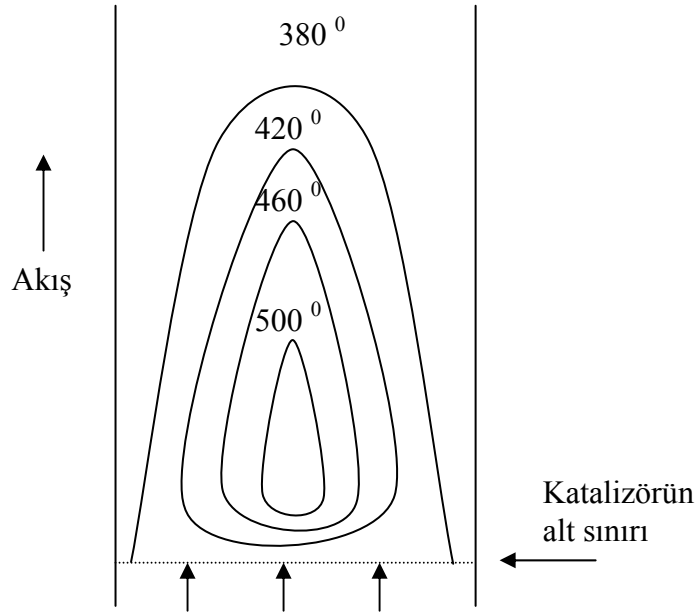
Telli (1988), sürekli ideal boru reaktörü ve laminar akışlı boru reaktörü; heterojen katalitik izoterm, heterojen katalitik adyabatik ve homojen reaksiyonlar örneğinde incelemiştir. Ayrıca incelenen her bir durumdaki reaksiyon kinetiksel büyüklüklerin, yüksek reaktan konsantrasyonlarında, sağlıklı tespiti için kriterleri belirlemiştir.



Şekil 4.1. Boru reaktör uzunluğu boyunca sıcaklık değişimi (Denbigh, 1984)

Katalitik reaksiyonlar için boru reaktörler geniş ölçekli kullanılmaktadır. Burada reaktör katı katalizör parçacıkları ile doldurulmuştur. Bu yüzden sabit-yataklı reaktör olarak söz edilir. Boru reaktör uzun tek boyutlu silindir olabilir veya gövde borulu ısı değiştiricisi gibi iki uca yerleştirilmiş birbirine paralel birkaç borudan oluşur. Bu borular birkaç santimetre çapında ve birkaç metre boyunda olur. Reaktördeki tepken akışkanın kompozisyonu akışın yönünü önemli ölçüde değiştirir.

Boru reaktörler bazen adyabatik olarak çalışırken bazen de boru reaktörün cidarından dışarıya doğru ısı transferi vardır. İlk durumda, eğer reaksiyon ekzotermik ise akışın yönü boyunca sıcaklık doğal olarak artarken, reaksiyon endotermik ise sıcaklık azalır. Tabi ki bazı örneklerde reaktanları reaksiyon bölgesine sokmadan önce ısıtmak önemlidir. Aksi takdirde reaksiyon çok yavaş gerçekleşir. Fakat ısıyı cidardan dışarıya atmak son derece önemlidir. Yoksa sıcaklık yükselmesi aşırı derecelere ulaşır ve boru içindeki reaksiyonda istenmeyen bölüm oluşur. Bazı boru reaktörlerin adyabatik ve adyabatik olmayan işletimleri için reaktör boyunca sıcaklık değişimleri Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Adyabatik olmayan durumda dıştan soğutma olmasına rağmen reaksiyonun başlangıç hızının yüksek olmasından dolayı sıcaklık yükselmeye meyillidir. Sonuç olarak, yinede tepken sıvının sıcaklığı düşmeye başlar ve ısı değişim hızının sonucu olarak cidardan dışarı doğru olan ısı transferinin hızı aşağıya doğru düşer (Denbigh, 1984).



Şekil 4.2. Boru reaktörde sıcaklık hatları

Özellikle tepken akışkan ve katalizör (eğer varsa) düşük termal iletkenliğe sahipse sıcaklığın enine (veya yarıçapa göre) değişimi vardır. Şekil 4.2. SO₂'nin oksitlendiği katalizör yatağının sıcaklık çizgilerini göstermektedir (Denbigh, 1984). Reaktör cidarının sıcaklığı 197 °C'dir. Sıcaklıklar katalizör içinde 520 °C'ye kadar çıkar. Çıkan ısının verimini arttırmada cidara doğru taşınması gereken ısının mesafesi azaltılması gerekir, bunun içinde silindirik boru reaktörün yarıçapı oldukça küçük seçilir.

4.1.1.1. Kararlı Akışın Kabulü

Boru reaktörde akışın tüm yönlerindeki farklı noktalarında sıvı karışımı yoktur. Reaktör performansını hesaplamada en uygun ilk yaklaşım reaktörde plug-flow akışın olduğunun kabul edilmesidir. Kararlı akış aşağıda belirtilen akışın ideal durumu göz önüne alınarak tanımlanmıştır.

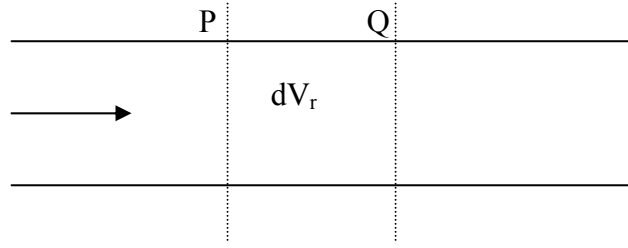
- 1-) Enine kesit alanı akışkan hareketine diktir. Kütle akış hızı ve akışkan özellikleri (basınç, sıcaklık ve bileşim) uniformdur.
- 2-) Bulk akışında difüzyon bağılılığı önemsizdir.

Boru reaktörler, bu kabullerle yaklaşık olarak kararlı akışlı reaktörler olarak adlandırılır. Bu kabulleri reaksiyonun aynı uzunlukta meydana geldiği ve bundan dolayı minyatür yığın reaksiyon sistemlerinin sistem içinde dolaştığının varsayılması takip eder. Bütün olarak boru reaktörün performansı aynı geçiş süresine, aynı basınca ve aynı basınç zamanına sahip olan yığın sistemle tamamen aynıdır. Yinede akışkan hacminin sabit kabul edilmediği durumda basınçla ilgili bazı özellikler dikkate alınmalıdır.

4.1.1.2. Temel Tasarım Metodu

Reaktörde kısa süreler için katı katalizör veya hiçbir paket yapının bulunmadığı varsayılmıştır. Şekil 4.3.'de toplam reaktör hacminin (V_r), P ve Q çizgileri arasında kalan hacim elemanı gösterilmiştir. Eğer kütle denge denklemi bu hacim elemanına uygulanırsa aşağıda belirtildiği gibi bulunur.

$$\text{Giren mol} = \text{Çıkan mol} + \text{Tepkiyen mol} + \text{Hacim elemanında değişen mol} \quad (4.1)$$



Şekil 4.3. Boru reaktörün hacim elemanı

Eğer reaktör kararlı halde ise son terim sıfır olur. Reaktör karalı akışın kabulü ile uyum içinde ise bütün değişimlerin kesit alını boyunca akış hızı ve reaksiyon hızı eşit olur. Sonunda reaksiyon hızı (r) birim zamanda ve birim hacimde üretilen mol olarak ifade edilir. Buradan,

$$d(\text{ürünün molar akışı}) = r \cdot dV_r \quad (4.2)$$

yazılır. Akarlı akışlı reaktörünün herhangi bir kesitindeki molar akış, mesafelerin değişimi şeklinde ifade edilir. Konsantrasyon zamanında (c), hacimsel akış hızı v ile gösterilmiştir. Diğer bir gösterim ise değişken zamanda (y) kütle akış hızının G ile gösterilmesidir. Üçüncü gösterim ise çok küçük değişim olduğu zaman (x) beslemenin molar hızının m_f ile gösterilmesidir. Buradan Denklem (4.2) aşağıdaki gibi yazılabilir (Denbigh, 1984).

$$d(vc) = d(Gy) = d(m_f x) = r \cdot dV_r \quad (4.3)$$

Sıvı fazlı reaksiyonda v 'nin daima sabit olduğu kabul edilir. Fakat gaz fazlı reaksiyonlarda genellikle sabit değildir. Reaktör kesiti boyunca basınç uygulanmasına rağmen (bu basınç akışın olmasını sağlar) özellikle yüksek basınç reaktörlerinde ana basınçla karşılaştırıldığında genellikle küçüktür. Böylece kararlı akışlı reaktör, sabit basınçlı reaktör modeli olarak alınabilir ve gaz fazlı reaksiyonda moleköl sayıları değişeceği için hacim akış hızı değişir. Kütle akış hızı (G) seçilerek $d(Gy) = G \cdot dy$ ifadesi yardımı ile Denklem (4.3) aşağıdaki gibi integre edilir.

$$V_r = G \int_{y_i}^{y_e} \frac{dy}{r} \quad (4.4)$$

y 'nin giriş değeri olan y_i genellikle sıfırdır. Fakat yeniden işleme giren akım varsa, rektörü bazı ürünler besleyeceği için y_i sıfır olmayacaktır. Benzer denklemler katı katalizör parçaları içeren reaktörler için kolayca türetilir. Katalizörün her bir birim kütlelerinin hızı r' ile ve y_e değerine kadar çıkış konsantrasyonu için gerekli olan katalizör toplam kütlesi W_r ile gösterilsin. Buradan Denklem (4.4)'e benzer olarak,

$$W_r = G \int_{y_i}^{y_e} \frac{dy}{r'} \quad (4.5)$$

elde edilir. Bu denklem aynı zamanda karalı akış kabulünün uygulama limiti için gereklidir. Bazı durumlarda bu kabul tamamen kontrol için kullanılır. Diğer durumlarda ise toplam hatayı bulmada rehberlik eder. Bununla birlikte bu denklemler boru reaktör performansının tartışılmasının çok önemli olan başlangıç noktasını oluşturur. Denklem (4.4) veya (4.5)'de verilen integrasyonları çözebilmek için y değişkenine bağlı olan reaksiyon hızının (r veya r') bilinmesi önemlidir (Denbigh, 1984). Örnek olarak A ve B tepkenleri arasındaki homojen gazlı reaksiyonun hemen hemen tersinmez olduğu ve α nın A tepken maddesinin reaksiyon katsayısı ve β 'nında B tepken maddesinin reaksiyon katsayısı olarak alınırsa reaksiyon hız denklemini,

$$V_r = G \int_0^{y_e} \frac{dy}{k[A]^\alpha [B]^\beta} \quad (4.6)$$

elde edilir. Bu ifadeyle [A] ve [B] hacim derişimleri ile y değişkeni arasında ilişki kurulmuş olur. Yinede bu ifade ile sabit G niceliğine ilişkilendirilmiş akışa bağlı olan bazı basitleştirmeler artık yoktur. İntegrasyondan önce esas problem hız sabiti olan k ile ilgili sorunun çözülmesidir. Bu sabit sıcaklığa son derece duyarlıdır. Fakat Denklem (4.6)'dan oldukça kolay şekilde değerlendirilebilecek iki limit durumu vardır. Bunlar, a-) Bu durumda sıcaklığın reaktör uzunluğu boyunca sabit kaldığı kabul edilmiştir. Bu kabulde hız sabiti integral işaretinin dışına alınabilir. İntegrasyon

analitiksel olarak veya farklı bir şekilde sayısal veya grafiksel olarak çözülür. b-) Bu durumda reaksiyon adyabatiktir. Reaktörün duvarları o kadar iyi yalıtılmıştır ki akış yönüne dik doğrultulardaki ısı kaybı önemsizdir. Bu durumda sırasıyla reaktörün ekzotermik veya endotermik olmasına bağlı olarak uzunluğu boyunca yükselir veya düşer. Bu şekilde sıcaklık, reaksiyon ısısı bilgisinden kolayca hesaplanır. Bu maksatla enerji dengesi reaktör girişi ve aynı kesit alanında ölçülen reaksiyon genişliğini veren değişken y 'nin verilen kesit alanındaki değeri arasındaki sıcaklık değişimini anlamada kurulmuştur. Akış yönündeki ısının taşınmasının önemsiz olduğu kabulü yapılır.

4.1.1.3. Kararlı Akış Kabulünden Sapmalar

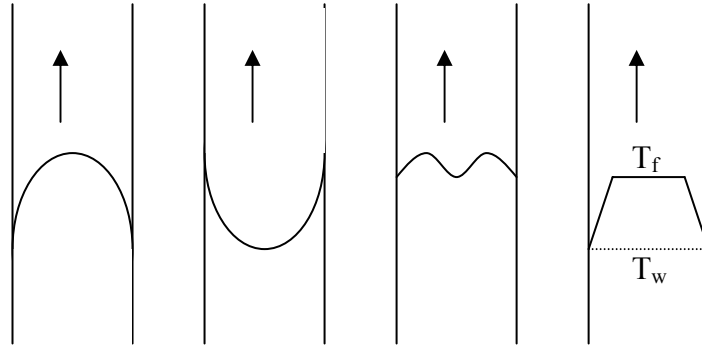
Kararlı akış kabulü tarafından oluşturulmuş kesit alanı üzerindeki tek biçimlilikten 3 farklı sapma tipi vardır. Bunlar, a-) Reaksiyon ısısından dolayı sıcaklık gradyanlarının konumları akış yönüne dik açıda olması. b-) Akışkan elemanın birinden diğerine olan difüzyon. c-) Hız gradyanları akış yönüne dik olmasıdır. Reaktör katalizörün sabit yatağı ile paketlenildiği takdirde bu faktörlerin ilki son derece önemlidir. Aynı zamanda difüzyonda önemli bir faktördür.

Akış yönüne dik açıda difüzyonla (radyal difüzyon) aynı yönde sıcaklık gradyanı olduğu zaman mutlaka göz önüne alınmalıdır. Diğer bir değişle, difüzyon akışla aynı yönde iken (boyuna difüzyon) genellikle daha az değerli olan dağılımı oluşturur. Paketlenmemiş boru reaktörde laminar akışın türbülans akıştan daha çok tercih edildiği özel durumun kabulünde hız gradyanlarının etkisi çok önemli olan bir faktör değildir.

4.1.1.4. Enine Sıcaklık Gradyanları: Genel Tartışma

Sıcaklık gradyanları ile akışın aynı yönde olması olayı, kesinlikle kararlı akış kabulü postülatlarına karşıdır. Diğer bir değişle akış yönüne dik açı yapan gradyanların (radyal veya enine gradyanlar) varlığı kararlı akış kabulünü geçersiz kılar.

Dış soğutma sayesinde ısının cidarlara doğru hareket ettiği boru reaktördeki reaksiyon ekzotermik ise sıcaklık profili Şekil 4.4.a.'da gösterilmiştir. Tepken akışkanın ortası kenarlardan daha sıcaktır. İlk görüşte, eğer ısının enine taşınması yoksa, mesela reaktörün duvarı mükemmel şekilde izole edilmişse, burada enine gradyanlar meydana gelmeyecekmiş gibi görülebilir. Yinede hız gradyanlarının etkisini hesaba katmak gerekir. Buraya kadar borunun merkezindeki akışkanın, duvar kenarından akan akışkandan daha hızlı akması incelenmiştir. Duvar sıcaklığı yükselirse boru boyunca verilen mesafede akışkan sıcaklığı daha düşük olur ve sıcaklık profilinin şekli Şekil 4.4.b.'de görüldüğü gibidir. Eş zamanlı oluşan duvardan olan ısı transferinin ve hız gradyanlarının daha çok tercih edilen özel şartlardaki etkileri Şekil 4.4.c.'de sistematik olarak gösterildiği gibi sıcaklık profilinin oldukça kompleks yapıda oluşmasına neden olmaktadır. Yinede genellikle dıştan soğutmalı ekzotermik reaksiyonlardan elde edilen profiller incelenir. Bu türün deneysel sonuçları daha önce Şekil 4.2.'de verilmişti.



(a) Duvar soğutmanın etkisi

(b) Soğuk gaz girişinin etkisi

(c) Eşzamanlı olarak duvar soğutmanın ve soğuk gaz girişinin kabulünün etkisi

(d) Sıcaklık değişiminin yalnız duvarda olduğu

Şekil 4.4. Ekzotermik reaksiyonda elde edilen sıcaklık değişim türleri

Adyabatik olmayan ve kaplanmış reaktörlerin durumunu açıklanmada kullanılan en kolay metot, sıcaklık değişiminin cidarda sınırlandırıldığını kabul etmektir. Bu kabulde birlikte tepken akışkanın her bir kesit alanında sabit bir T_f değerine sahip olduğu söylenebilir (mesela kararlı akışlı reaktörde). Bu T_f değeri Şekil 4.4.d.'de

görüldüğü gibi cidarda T_w değerine ansızın ve basamak şeklinde değişir. Bu yöntem genellikle 'parçalı' şeklinde tanımlanır.

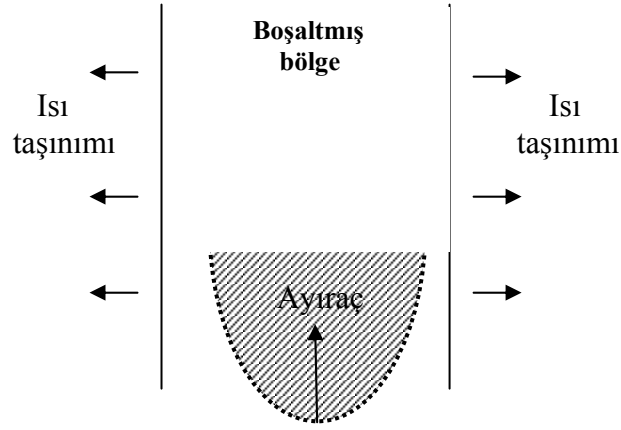
T_f ve T_w nin eşit olduğu kabulü önemli bir avantajı sağlar. Hesaplamanın temelinde kararlı akış kabulü yapılan adyabatik reaktör hesaplamasında kullanılan benzer metot burada da kullanılmıştır. Fakat burada duvar ısı transfer terimi enerji dengesine ilave edilmiştir. Silindirik boru reaktörü daha açık incelemek için Şekil 4.5.'de gösterilen reaktör hacim elemanına (dV_r) uygun cidar alanını ele alalım. Boru yarıçapı r ile gösterilirse $dA = 2dV_r/r$ ye eşit olur. dV_r elemanı içinde akışkandan cidara transfer edilen ısı miktarı

$$\frac{2U}{r}(T_f - T_w)dV_r, \text{ Js}^{-1} \quad (4.7)$$

ile verilir. Burada U ısı transfer katsayısıdır. Enerji denge denklemi kurularak sıcaklık değişimi (dT_f) hesaplanabilir.

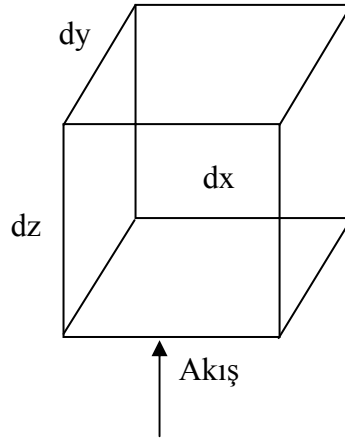
4.1.1.5. Enine Sıcaklık Gradyanları: Baron Metodu

Sabit yataklı boru reaktörlerin performansının tahmin edilmesinde kullanılan ve daha güvenilir olan metot ilk defa Baron tarafından ortaya konulmuştur (Denbigh, 1984). Daha sonraları geliştirilen bu metotta kesit alanı boyunca sabit sıcaklık kabulünden kaçınılır. Ayıracın enine difüzyonu için uygun değerinin refakatinde, sıcaklığın enine değişiminin belirli bir değerde olmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Boru merkezindeki yüksek sıcaklık ve yüksek reaksiyon hızı bu bölgedeki ayıraç miktarında hızlı bir azalmaya neden olur. Bu yüzden enine konsantrasyon gradyanları adımıyla yükselme olur. Sonuçta ayıracın iç radyal difüzyon akımı ve reaksiyon ürününün uygun dış radyal difüzyon akımı vardır. Fakat merkezi bölgeler ile çevresel bölgeler arasındaki bu difüzyon akışlarının, varlığından dolayı ayıraç konsantrasyonu reaksiyon girişinden sonraki bazı küçük mesafelerde sıfıra düşer. Bu olay Şekil 4.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Boru reaktörde ayıracın boşaltılmış bölgesi

Bu davranışın temel kabullerinden birisi, kesit alanı boyunca sabit bir kütle akış hızının olduğudur. Bu kabul kararlı akış kabulünün sonuçlarından birisidir. Şekil 4.6.'da gösterildiği gibi dx , dy , dz kenarlarına sahip olan dikdörtgen reaktör hacim elemanı gösterilmiştir. Akış yönü z yönündedir. Hacim elemanı içindeki akışkan ve katalizör sıcaklıklarının eşit olduğu ve aynı zamanda katalizör parçacıklarının içindeki sıcaklık değişiminin önemsiz olduğu kabul edilir.



Şekil 4.6. Reaktörün hacim elemanı

C , tepken akışkanın birim kütlesi başına sabit basınçta ısı kapasitesini ve λ bileşenlerin (sıvı artı katalizör) termal iletkenliğini gösterebilir. Basitlik olarak bu niceliklerin sıcaklıktan bağımsız oldukları kabul edilir. Daha sonra g , düzlem alana

(x-y düzlemi) doğru kütle akış hızını ve T hacim elemanının en alt yüzünün sıcaklığını gösteriyorsa, bu yüzey alanından akan enerjinin net akışı,

$$CgTdx dy - \lambda \frac{\partial T}{\partial z} dx dy \quad (4.8)$$

ile verilir. Burada birinci terim ilgili referans durumunda akışkan tarafından taşınan entalpiyi ve ikinci terimde yüzeye doğru olan kondüksiyonu göstermektedir. Dikdörtgen bloğun üst yüzeyinden dışarı doğru olan akış,

$$Cg \left(T + \frac{\partial T}{\partial z} dz \right) dx dy - \lambda \left(\frac{\partial T}{\partial z} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} dz \right) dx dy \quad (4.9)$$

ile verilir. Benzer ifadeler diğer dört yüzeyden dışarı doğru olan enerji akışları için yazılır. Sistem kararlı halde olduğu zaman hacim elemanından dışarıya akan net enerjinin, reaksiyon tarafından üretilen ısıya eşit olduğu kabulü yapılır. Böylece r' birim katalizör kütlesi başına reaksiyon hızı, ρ_c hacim yoğunluğu ve ΔH reaksiyondaki entalpi değişimi ise

$$Cg \frac{\partial T}{\partial z} dx dy dz - \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) dx dy dz = -r' \rho_c \Delta H dx dy dz \quad (4.10)$$

veya

$$Cg \frac{\partial T}{\partial z} - \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = -r' \rho_c \Delta H \quad (4.11)$$

şeklinde yazılabilir. Benzer olarak C_i , i uzayının konsantrasyonu, D_i efektif difüzyon katsayısı, u akışın lineer hızı ise hacim elemanının her bir uzayı için kütle dengeleri,

$$\frac{\partial (uc_i)}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \left(D_i \frac{\partial c_i}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(D_i \frac{\partial c_i}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(D_i \frac{\partial c_i}{\partial z} \right) = r' \rho_c \quad (4.12)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemde r' reaksiyonda oluşturulan madde için pozitif ve yok edilen madde için negatif alınır. Basitleştirme yapmak için bütün stokiyometrik katsayıların birleştiği kabulü yapılır. Aksi takdirde bunların hepsinin uygun şekilde açıklanması gerekir. Aynı zamanda λ ve D 'nin eş yönlü olduğu da kabul edilebilir.

4.1.1.6. Basıncın Düşmesi

Kararlı akışın olduğu kabulü yapılan reaktörün hacminin hesaplanması için, genellikle reaktör uzunluğu boyunca basıncın sabit kaldığı kabul edilir. Gerçekte basınç, özellikle reaktör içinde katı katalizör varsa kayda değer farklılıklar gösterir. Paketlenmiş yataklardaki basınç düşüşü hesaplama metotları literatürde (Denbigh, 1984) verilmiştir. Bu metotların kullanımında, giriş ve çıkış basınçlarının aritmetik ortalaması hesaplanır ve bu değer bütün reaktör çalışma şartlarında yeterli olduğu kabul edilir. Basınç değişimi reaktör boyunca küçük artmalar için hesaplanır.

4.1.2. Sürekli Karıştırmalı Tank Reaktör

Bu tip reaktörler, içine sürekli tepken maddenin aktığı ve sürekli tepken maddenin çıktığı çok iyi karıştırılan tanktan oluşmaktadır. Kap bodur şeklinde olduğu için bileşenler gerektiği kadar iyi karıştırılır. Aksi takdirde, kaba giren ve çıkan akışkanlar arasında ölü alanlar oluşturabilen bulk buhar akışı meydana gelebilir. Sürekli karıştırmalı tank reaktörünün en önemli karakteristiği karıştırılmasıdır. Bu tip reaktörün performans tahminine en uygun yaklaşım bileşenlerin mükemmel şekilde karıştırıldığı kabulüne bağlıdır. Sonuç olarak atık buhar bileşenleri aynı bileşenlere sahiptir ve bu sürekli karıştırmalı tank reaktörle boru reaktör arasındaki en önemli farkı göstermektedir (Denbigh, 1984).

Sıvı fazın çok fazla yoğun olmadığı kabul edildiğinde tank reaktörde mükemmel karışıma ulaşmak zor değildir. Genel ifadeyle, eğer materyalin giren elementi tankı doldurma ortalama zamanından daha kısa bir zamanda düzgün olarak tankın içinde dağılıyorsa bu tanka iyi karıştırılmış tank denir. Özellikle yüksek dönüşümler gerekiyorsa birkaç tank seri halde kullanılabilir. Yalnızca bir veya iki tank reaktör varsa tepkimeye girmeyen ayıraç miktarı son derece azdır. Bu kayıp, genellikle giriş

ve çıkış arasındaki bulk akışının neden olduğu karıştırılmayan bölgelerde olmaktadır.

Konsantrasyondaki adım-yolu değişiminin genel sonucu olarak besleme ayraçlarının aynı konsantrasyonlarına sahip olan tank reaktörün ortalama reaksiyon hızı boru reaktörden daha düşüktür. Bu yüzden reaktör hacmi daha büyük olmalı ve tasarımda bu göz önüne alınmalıdır (Denbigh, 1984). Bu göz önüne alındığında sürekli akışlı tank genellikle yavaş akışlı sıvı fazlı reaksiyonlar için kullanılmalıdır. Sürekli karıştırmalı tank reaktörünün önemli bir özelliği de, sıcaklık kontrolünün kolay olmasıdır. İlk kaba giren ayraç madde derhal geniş hacimli kısmen tepken sıvı içine girer ve karışım yapıldığı için yerel sıcak noktalar oluşmaz. Aynı zamanda tank reaktöründe, tankın geniş soğutma yüzeyini karşılaması istenilir. Ek olarak, bu soğutmayı kabın dış yüzeyinin ve tank içine yerleştirilmiş soğutma bobininin içindeki iç yüzeyin geniş hacmi sağlar. Bazı sürekli karıştırmalı tank reaktörlerinde bobin yerine borulu radyatör kullanılır.

Tank reaktörü oldukça kapsamlı olarak organik kimya endüstrisinde ve özellikle plastiklerin, patlayıcıların, sentetik kauçukların üretiminde kullanılır. Tank reaktör aynı zamanda özel karıştırma zorunluluğu olduğu zamanlarda da kullanılır. Mesela sıvı faz süspansiyonunda gaz kaparcıkları veya katı parçalar elde etmek için, benzen veya tolüenin nitratlaşması gibi başka bir süspansiyondaki bir sıvıdan damlacık elde etmek için kullanılır. Reaksiyonların hızı dağılım derecesine bağlıdır.

4.1.2.1. Mükemmel Karışımın Olduğunun Kabulü

Sürekli karıştırmalı tank tipi reaktör, kararlı akışta tepken materyallerin mükemmel karışan tank tipi reaktör içine aktığı ve devamlı tepken materyallerin dışarı çıktığı reaktör tipidir. Reaksiyon esnasında mükemmel karışımı sağlamak için hacim tamamen kullanılmalı, hiç ölü yer bırakılmamalıdır. Boru reaktörün iç hacmi tepken akışkan tarafından süpürülmektedir. Fakat bu şart, devamlı karıştırmalı tank tipi reaktörlerinde kullanılan kaplar için geçerli değildir (Denbigh, 1984). Devamlı karıştırmalı tank reaktörleri için kabul edilen en uygun kolaylaştırma her bir kaptaki karışımın eksiksiz olduğu kabulüdür. Karışık kinetik ifadeleri çözerken, mesela ardışık

reaksiyonların karışma derecesi gibi, daha fazla bilgi gerekmektedir. Bu bilgi farklı ürünlerin oranının akışkanın küçük bölgelerindeki hassas karışım derecelerinden hesaplanabilir. Burada devamlı karıştırılmalı tank tipi reaktörlerinin performansının mükemmel karışım olduğu kabulü yapılarak hesaplanan değerden son derece önemsiz ölçüde farklı olduğu kabul edilecektir. Karıştırıcı iki önemli özelliğe sahiptir Bunlar, 1-) Yan-geçiş (by-pass) etkisi vardır. 2-) Bir kaptan diğerine geçerken ayıraç madde konsantrasyonunda değişim vardır.

İlk olarak, iyi bir karışımın sonucu olarak reaktör girişinden ilave edilen molekül kap içinde her yere dağılacak ve özellikle ilave edilen bu molekül kaptan ayrılan akışkan içinde de bulunacaktır. Bu düşünceye zıt olarak gerçekten uzun bir süre sonra kap içinde verilen moleküller çıkıştaki yerini alamayacaktır. Kısaca her bir kaptaki konum-zamanda geniş bir dağılım vardır. By-pass olayı birbirine bağlanmış devamlı karıştırılmalı tank tipi reaktörlerde reaksiyonu tamamlayıp tamamlamama konusunda önemli etkileri vardır.

4.1.2.2. Reaktör Hacminin Hesaplanması

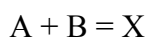
Mükemmel karışımın yapıldığı farz edilen devamlı karıştırılmalı tank tipi reaktör teorisinde Denklem (4.1)'de verilen kütle denge denklemi ve Denklem (4.2)'de verilen reaksiyonun hız ifadesi denklemi uygulanabilir. İncelemeyi kolaylaştırmak için A ayırıcının birinci sıra ayrışımı incelenir. Denge denkleminin (4.1) uygulaması,

$$vc_A^0 = vc_A + rV \quad (4.13)$$

ile verilir. Devamlı karıştırılmalı tank tipi reaktör çok iyi karıştırıldığı için, hızı bütün dV elemanları boyunca integre edilerek rV bulunur. $r = kc_A$ kabulüyle,

$$c_A = c_A^0 / (1 + kV/v) \quad (4.14)$$

yazılabilir. Bu ifade devamlı karıştırılmalı tank tipi reaktörde kararlı hallerde uygulanabilir. Sıvı-fazlı aşağıdaki örnek reaksiyonu inceleyelim.



Bu ifadenin tersinir ve ikinci dereceden olduğu kabuledilirse; reaksiyonun hız ifadesi

$$r = kc_Ac_B \quad (4.15)$$

ile verilir. Burada c_A ve c_B , tank mükemmel derecede karıştırıldığı için, tank hacminin her tarafında herhangi bir zamanda bu iki değer birbirine eşittir. Tankın içindeki reaksiyona birim zamanda giren A ve B miktarları, kc_Ac_B , kgmol ile verilir. Tank içinden geçen akışkan miktarı sürekli, akış hızının sabit ve birim zaman başına vm^3 'e eşittir. Bu duruma kütle denge denklemi uygulanırsa,

$$vc_{A0} = vc_A + kVc_Ac_B + V dc_A/dt \quad (4.16)$$

elde edilir. Burada c_{A0} reaktöre giren besleme akımındaki A'nın konsantrasyonudur. Eğer reaktör kararlı hale ulaşmazsa zamanla değişir. Benzer denklem B içinde yazılabilir. v tank boyunca toplam akış hızıdır. Eğer iki ayrı besleme akımı reaktöre girerse v ikisinin toplamı ve eğer iki besleme akımı tanka girmeden hemen önce karışıyorsa c_{A0} , A'nın konsantrasyonudur.

4.1.2.3. Karışım Tank Serileri

Denklem (4.14)'den

$$\frac{kV}{v} = \frac{c_{A0}}{c_A} - 1 \quad (4.17)$$

yazılabilir (Denbigh, 1984). Reaksiyonun %95 için $kV/v = 19$ bulunur. Bulunan bu değeri boru reaktörle ve iki eşit hacimli devamlı karıştırmalı tank reaktörleri serisi ile karşılaştırmak için A'nın %95'nin ayrıştığı kabul edilebilir. Boru reaktör için Denklem (4.1)'den,

$$\frac{kV}{v} = \ln(c_{A0}/c_A) \quad (4.18)$$

yazılabilir. Reaksiyonun %95 için $kV/v = 3$ elde edilir. Bu değer devamlı karıştırmalı tank reaktör için elde edilen 19 değerinden daha küçüktür.

Her birinin hacmi $1/2V$ olan birbirine seri bağlı devamlı karıştırmalı tank tipi reaktörler incelenirse, Denklem (4.17)'den ikinci kabı besleyen A konsantrasyonunun değeri olan c_{A1} değeri hesaplanabilir. Daha sonra Denklem (4.17) tekrar ikinci tanktan elde edilen son üründeki A konsantrasyon değeri olan c_{A2} değerini hesaplamada kullanabilir. Buradan,

$$\frac{kV_{1/2}}{v} = \frac{c_{A0}}{c_{A1}} - 1, \quad \frac{kV_{1/2}}{v} = \frac{c_{A1}}{c_{A2}} - 1 \quad (4.19)$$

elde edilir. Bu iki denklemden c_{A1} 'i yok ederek,

$$c_{A2} = c_{A0} / (1 + kV_{1/2}/v)^2 \quad \text{veya} \quad \frac{kV}{v} = \frac{2kV_{1/2}}{v} = 2 \sqrt{\left(\frac{c_{A0}}{c_{A2}} \right) - 2} \quad (4.20)$$

elde edilir. Burada V toplam hacimdir. %95'lik bozulma için $kV/v = 7,7$ elde edilir. Bu değer tek devamlı karıştırmalı tank tipi reaktörün yarı hacminden elde edilen değerden daha küçüktür.

4.1.3. Akışkanlaştırılmış Yatak Reaktör

Bu reaktör tipi katı ve akışkan (genellikle gaz) karışım reaksiyonları için kullanılabilir (Denbigh, 1984). Bu reaktörün ilk uygulaması ve belki de en iyi bilinen örneği katı katalizörü parçalayarak hidrokarbonları buharlaştıran burgu-parçalayıcı katalizördür. Benzer katalitik proses hava ile naftalinin ftalik anhidrit ürünü verdiği oksidasyon için kullanılır. Örnek proses olarak, katının gazla tepkiyerek hidrojen florürlü alüminyumdan alüminyum florür üretimi verilebilir. Bu reaksiyonlar akışkanlaştırılmış yatak tipi reaktörde olmaktadır ve



şeklinde. Bu tip bazı reaktörlerde iyi parçacık formunda ki katı materyaller dikey silindirik kap içindedirler. Gaz akımı parçacıklarının hızını yeterli seviyeye yükseltmek için yukarı doğrudur. Fakat çok fazla olmamalıdır. Çünkü gaz akımında oluşan serbest yüzey üstünde sıvı faz oluşumunun engellenmesi gerekir. kaynamayla birlikte hızlı akan gaz kabarcıkları ile ortaya çıkan şartlar altındaki parçacık yatakları üst yüzeydeki patlama ile görülebilir.

Parçacık hareketlerinin etkisi sıcaklığın benzerlik derecesidir. Sabit yataklı boru reaktörde oluşan sıcak noktalardan kaçınılmalıdır. Bu genellikle adyabatik olan prosesleri sağlayan reaksiyon durumları için büyük avantaj sağlar. Bu reaksiyonların sıcaklıkları reaksiyon ısı yardımıyla hesaplanır. Sıcaklığı istenilen düşük seviyelerde tutmak için ısı atılması gerekiyorsa, ısı sabit yatak içindeki sıvılaştırma yatağında bulunan soğutma borularına kolayca transfer edilebilir. Isı transfer yüzeyinin sıvılaştırma verimini engellemesi için dikkatli olunmalıdır. Reaktörün bu tipinin dezavantajı katının aşınmasıdır. Sonuç olarak bu da katalizör kaybolması ve atık gaz akımı içinde kirlilik problemlerinin ortaya çıkmasına neden olur.

Sıvılaştırma işlemi bazı koşullar altında tamamen sürekli işletmeyi gerektirir. Aksi takdirde sıvılaştırmanın olması imkansızdır. Bu sıvılaştırma işlemi katalitik parçalama prosesi yardımıyla açıklanabilir. Bu özel reaksiyon katalizör yüzeyindeki karbonun hızlı çözülmesi yardımıyla olmaktadır. Akışkanlaşmış reaktörü teorik olarak ele almak zordur. Çünkü sıvı akışkanın karışık bir yapısı vardır. Gaz-akışkanlaştırılmış yataklar içinde, gaz kabarcık halde yatakları geçer. Reaksiyon sadece katı parçacıkların yüzeyinde oluşur ve yataklara doğru olan kabarcıkların akışı by-pass akımı görevini görür. Gazlı reaktan kabarcık fazından parçacık fazına difüzyon ve konveksiyon yoluyla geçer.

4.1.4. Reaktörlerin Diğer Tipleri

Özel durumlarda yararlı olacağı düşünülen reaktörlerin diğer tipleri aşağıda sunulmuştur.

4.1.4.1. Kabarcık-Fazlı Reaktörler

Burada tepken olan ayıraç, gaz sıvıdan buharlaştırılır. Çünkü sıvıda diğer çözünmemiş uçucu olmayan katalizörler veya diğer ayıraçlar bulunmaktadır. Ürün gaz akımı içinde reaktörden ayrılır. Kütle transferi önemlidir ve reaksiyon hızını kontrol eder. Örnek olarak etilenin oksidasyonu ile asetaldehitin üretimi için Hoechst Wacker prosesi verilir.

4.1.4.2. Katı ve Sıvı Fazın Birlikte Bulunduğu Reaktörler

Bu reaktörler kabarcık fazlı reaktörlere benzer. Fakat sıvı-faz aynı tür katısını ve katı katalizör parçacıklarını bulundurur. Bu reaktörler hidrokarbonların katalitik karbonizasyonu içinde alkol üretmede kullanılır. Bu reaktör tipinde üç fazlı akışkanlaştırılmış yatak vardır.

4.1.4.3. Damla Yataklı Reaktörler

Bu reaktörde akışkanlaştırılmış parçacıklar kadar iyi olmasa da katı katalizör sunulmuştur. İki adet kısmen karışabilen akışkandan oluşan ayıraç yatağa doğru birbirini izleyen akımlarla veya zıt akışlarla geçer. Örnek olarak yüksek basınçta propilenin hidratlaşması verilir.

4.1.4.4. Oynar Yüklü Yatak Reaktörler

Burada akışkan faz katının paketlenmiş yatağından geçer. Yatağın üstündeki katı beslenir, sütundan aşağı kararlı akış biçiminde hareket eder ve dibe ulaşır. Bu reaktör ksilenin katalitik izomerleşmesinde ve iyon değişimi yoluyla sürekli su boşaltımında kullanılır.

4.2. Su-Gaz Dönüşüm Reaksiyonu

CO giderme, H₂ üretimi, kömürün hidrojenlenmesi ve benzeri pek çok endüstriyel proste önemli bir adım olan su-gaz değişim reaksiyonu, ekzotermik, heterojen

katalitik bir reaksiyondur. Modern üretim proseslerinin %90'ını katalitik reaksiyonlar oluşturmaktadır. Bu reaksiyonda su buharı ile CO'nun bir katalizör yardımıyla reaksiyona girmesi sonucu CO₂ ve H₂ gazları üretilir. Şu anda endüstriyel amaçlı olarak pek çok alanda kullanılan H₂'nin, gelecek yıllarda yakıt olarak kullanımını son derece yaygınlaştıracak ve buna paralel olarak H₂'ye duyulan talep şiddetle artacaktır (Üçgül, 1995).

Heterojen katalitik reaksiyonlar, genellikle katı katalizör yüzeyinde meydana gelen reaksiyonlardır. Katalizörler, reaktanların potansiyel enerji engelini azaltır, enerjideki bu azalma aktiflenme enerjisinin azalması demektir. Böylece katalizörler aktiflenme enerjisi düşürerek, tepkime verici molekül sayısını arttırlar ve reaksiyonu hızlandırırlar. Katalizörler denge sabitini etkilemeyip, sadece reaksiyon hız sabitini etkilerler.

Kataliz olayı reaksiyona girecek reaktanlardan en az birinin katalizör yüzeyinde adsorblanması ile yürür. İki tür adsorbsiyondan söz edilebilir. Düşük sıcaklıkta olan fiziksel adsorbsiyon ile daha yüksek sıcaklıklarda görülen kemisorpsiyondur. Katalitik reaksiyonlardaki adsorbsiyon genellikle kemisorpsiyondur.

Heterojen katalitik reaksiyon iki aşamada gerçekleşir. Önce gaz halindeki reaktanlar, ortamdan katalizör üzerine difüzenmekte ve ardından katalitik aktif bölgelere adsorplanmaktadır. Katalitik aktiflik e⁻ geçişi ile ilgilidir. Adsorplanmış moleküler reaksiyona girecek kadar enerjiye sahip olunca, reaksiyon oluşmakta ve ürünler elde edilmektedir. İkinci aşamada reaksiyon ürünleri, katalizörden desorplanarak yüzeyi terk eder ve yeniden ortama difüzlenir. Teknik pratikte, heterojen katalitik reaksiyonlar, katalizör dolgulu reaktörlerde gerçekleştirilmektedir.

İç cidarı katalitik olan model olarak alınan boru reaktörde reaktanlar izoterm olarak reaksiyona uğramaktadır. Ekzoterm reaksiyonun cidarda verdiği ısı boru dışına transfer edilmekte. Böylece reaktör içindeki giriş sıcaklığı hakim kılınmaktadır.

Reaktanlar, reaktöre alınmadan önce ön ısıtmaya tabii tutulurlar. Ön ısıtma şartlarını kullanılan reaktörün aktiflik sınırı belirler. Aktiflik sınırı demir-esaslı yüksek sıcaklık

katalizörlerinde 320 °C-450 °C arasında, bakır esaslı düşük sıcaklık katalizörlerinde ise 200°C-250°C arasındadır.

CO'ın yüksek sıcaklık dönüşümünde demiroksit (Fe₂O₃) katalizörler (demir esaslı) kullanılır. Reaksiyon hızlandırıcı olarak demiroksit, krom ve alüminyum ile takviye edilir. Demiroksit katalizörleri için kükürt zararlıdır. Reaksiyon sırasında ani sıcaklık değişimleri de önlenmelidir. CO'ı giderecek gaz karışımı şayet kükürtlü bileşenler veya ağır hidrokarbonlar içeriyorsa kobalt ve molibdenli katalizörler kullanılır. Kobalt-Molibden katalizörleri de demiroksit katalizörlerle eşdeğer aktiviteye sahip olmakla birlikte, bunlar 40-80 bar basınçlarda daha yüksek aktivite göstermektedirler (Newsome, 1980). Bakır esaslı katalizörler sadece 200°C-250°C arasında kullanılırlar, ancak bu durumda gaz karışımı klorsuz ve kükürtsüz olmalıdır (Üçgül, 1995). Reaksiyon kinetiksel büyüklüklerin tayininde, boru reaktörlerde izoterm koşulun sağlanması tercih edilir. Bu şekilde aktivasyon enerjisi elimine edilerek matematiksel tanım basitleştirilebilmektedir.

Çalışmamızda, model reaksiyon olarak Telli (1998)'de belirtilen A+B→C+D şeklindeki equimolar reaksiyon esas alınmıştır. Temel model reaksiyonumuz, CO+H₂O→CO₂+H₂ şeklindeki su-gaz değişim reaksiyonudur. Başlangıç konsantrasyonları X_{CO}=0,5 ve X_{H₂O}=0,5 şeklindeki stokiometrik olarak alınmıştır.

4.2.1. Difüzyon Kinetiği

Difüzyon, fiziksel bir iletme potansiyelinin etkisi altında, tek bir bileşenin karışım içindeki moleküler hareketidir. Difüzyon her fazda görülebilen yayılma olayı olmakla birlikte daha ziyade gaz karışımları için önem taşımaktadır. İletme potansiyeli; sıcaklık, basınç veya konsantrasyon farkından kaynaklanır. Sıcaklık farkından dolayı oluşan difüzyona “termodifüzyon”, basınç farkından dolayı olan difüzyona “basınç difüzyonu” ve konsantrasyon farkından dolayı oluşan difüzyona da “moleküler difüzyon” denir (Telli, 1988). Moleküler difüzyonda bileşen, yüksek konsantrasyon bölgesinden düşük konsantrasyon bölgesine doğru aradaki farkı kapatmak üzere hareket eder. Difüzyon olayı konsantrasyonlar eşit olunca sona erer.

Burada konsantrasyon farkından dolayı oluşan difüzyon incelenmiştir. Gaz karışımında iki adet bileşen varsa, ortamdaki difüzyona biner difüzyon, üç bileşen varsa terner difüzyon, bileşen sayısı ikiden fazla ise poliner difüzyon adı verilir. Literatürde difüzyon olayı, Fick ve barisantrik olmak üzere iki ayrı sistem üzerinden incelenmektedir. Dinamik bakımından hareketsiz bir ortamdaki difüzyona Fick sisteminde difüzyon; hareketli ve akış halindeki bir ortamda olan difüzyona ise barisantrik sistemde difüzyon denir (Üçgül, 2003). Akış hızının radyal yöndeki bileşeni olan V_{radyal} hızının sıfır olması durumunda, hareketli bir ortamdaki difüzyonu incelemek için Fick sistemi kütle transferi denklemleri geçerli olmaktadır.

Radyal hız genel olarak, kimyasal reaksiyon sonucu değişen mol miktarlarından, radyal koordinat boyunca dinamik viskozitedeki değişimlerden ve gelişmemiş akış durumunda, radyal koordinat boyunca meydana gelen hız profil değişimleri ile ortaya çıkmaktadır. Böylece radyal hız, mol değişiminden kaynaklanan hız bileşeni V_{ρ} ; dinamik viskozite değişimlerinden kaynaklanan hız bileşeni V_{η} ve akışın gelişmemiş olmasından kaynaklanan hız bileşeni V_g nin toplamı olarak, $V = V_{\rho} + V_{\eta} + V_g$ şeklinde ifade edilmektedir.

İncelediğimiz parabolik yalak tipi güneş reaktöründe, odağa yerleştirilen alıcı boru ve ekzoterm şartların sağlandığı iki bölümden oluşmaktadır. Bunlar ön ısıtma ve reaktör bölümüdür. Birinci bölümde reaktanlar reaktör kısmına alınmadan önce ön ısıtmaya tabii tutulurlar. Reaktör olan ikinci bölümün ise iç cidarı katalitiktir. Reaktanlar reaktöre alınmadan önce, uzun bir boru olan birinci bölümde ön ısıtmaya tabii tutuldukları için reaktör girişinde tamamen gelişmiş akım şartlarına ulaşılır ve yaklaşık olarak $V_g=0$ olmaktadır. Model reaksiyonumuz equimolar bir reaksiyondur. Bundan dolayı, reaktör içinde mol değişimi olmadığından $V_{\rho}=0$ olmaktadır. Reaktör girişindeki ve çıkışındaki dinamik viskoziteler eşit olduğundan yaklaşık olarak $V_{\eta}=0$ olur. Sonuç olarak da bunların toplamı olan radyal hız, $V=0$ olmaktadır. Böylece reaktör içindeki difüzyon olayını belirlemek için Fick sistemi denklemleri kullanılabilir. İlk defa Fick tarafından tanımlanmış olan difüzyon mol akımı, tersinmez işlemler termodinamiğine göre fenomenolojik olarak (Telli, 1988),

$$J_i = c \sum_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^N D_{ij,F} \frac{dx_j}{dr} \quad (4.21)$$

şeklinde belirlenmiştir. Burada c mol yoğunluğu, $D_{ij,F}$ Fick sistemine ait poliner difüzyon katsayıları, dx_j/dx_r j bileşenine ait konsantrasyon gradyanıdır. Difüzyon katsayıları için $D_{ij}=D_{ji}$ eşitliği her zaman geçerlidir. Ayrıca $D_{ii}=0$ olmaktadır.

4.2.2. Poliner Difüzyon Katsayısının Hesabı

Literatürde (Turns, 2000), poliner difüzyon katsayıları (D_{ij}),

$$D_{ij} = x_i \frac{MW_{karisim}}{MW_j} (F_{ij} - F_{ii}) \quad (4.22)$$

şeklinde verilmektedir. Burada x_i i bileşeninin mol oranı ($x_i=n_i/n_t$), $MW_{karisim}$ karışımın kütlesi, MW_j j bileşeninin kütlesi, F_{ij} ve F_{ii} $[F_{ij}]$ matrisinin elemanlarıdır. $[F_{ij}]$ matrisi $[L_{ij}]$ matrisinin tersidir. $[F_{ij}] = [L_{ij}]^{-1}$. $[L_{ij}]$ matrisinin elemanları,

$$[L_{ij}] = \sum_{k=1}^K \frac{x_k}{MW_i D_{ik}} [MW_j x_j (1 - \delta_{ik}) - MW_i x_i (\delta_{ij} - \delta_{jk})] \quad (4.23)$$

denkleminde bulunur. Burada δ_{mn} Kronecker delta fonksiyonudur. $m=n$ olduğunda 1 değerini alır, aksi durumlarda 0'a eşittir.

$$[L_{ij}] = \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} & L_{13} & L_{14} \\ L_{21} & L_{22} & L_{23} & L_{24} \\ L_{31} & L_{32} & L_{33} & L_{34} \\ L_{41} & L_{42} & L_{43} & L_{44} \end{bmatrix}$$

$$L_{11} = L_{22} = L_{33} = L_{44} = 0 \quad (4.24)$$

$$\begin{aligned}
L_{12} &= x_2(MW_2x_2 + MW_1x_1)/MW_1\bar{D}_{12} + x_3(MW_2x_2)/MW_1\bar{D}_{13} + x_4(MW_2x_2)/MW_1\bar{D}_{14} \\
L_{13} &= x_2(MW_3x_3)/MW_1\bar{D}_{12} + x_3(MW_3x_3 + MW_1x_1)/MW_1\bar{D}_{13} + x_4(MW_3x_3)/MW_1\bar{D}_{14} \\
L_{14} &= x_2(MW_4x_4)/MW_1\bar{D}_{12} + x_3(MW_4x_4)/MW_1\bar{D}_{13} + x_4(MW_4x_4 + MW_1x_1)/MW_1\bar{D}_{14} \\
L_{21} &= x_1(MW_1x_1 + MW_2x_2)/MW_2\bar{D}_{21} + x_3(MW_1x_1)/MW_2\bar{D}_{23} + x_4(MW_1x_1)/MW_2\bar{D}_{24} \\
L_{23} &= x_1(MW_3x_3)/MW_2\bar{D}_{21} + x_3(MW_3x_3 + MW_2x_2)/MW_2\bar{D}_{23} + x_4(MW_3x_3)/MW_2\bar{D}_{24} \\
L_{24} &= x_1(MW_4x_4)/MW_2\bar{D}_{21} + x_3(MW_4x_4)/MW_2\bar{D}_{23} + x_4(MW_4x_4 + MW_2x_2)/MW_2\bar{D}_{24} \\
L_{31} &= x_1(MW_1x_1 + MW_3x_3)/MW_3\bar{D}_{31} + x_2(MW_1x_1)/MW_3\bar{D}_{32} + x_4(MW_1x_1)/MW_3\bar{D}_{34} \\
L_{32} &= x_1(MW_2x_2)/MW_3\bar{D}_{31} + x_2(MW_2x_2 + MW_3x_3)/MW_3\bar{D}_{32} + x_4(MW_2x_2)/MW_3\bar{D}_{34} \\
L_{34} &= x_1(MW_4x_4)/MW_3\bar{D}_{31} + x_2(MW_4x_4)/MW_3\bar{D}_{32} + x_4(MW_4x_4 + MW_3x_3)/MW_3\bar{D}_{34} \\
L_{41} &= x_1(MW_1x_1 + MW_4x_4)/MW_4\bar{D}_{41} + x_2(MW_1x_1)/MW_4\bar{D}_{42} + x_3(MW_1x_1)/MW_4\bar{D}_{43} \\
L_{42} &= x_1(MW_2x_2)/MW_4\bar{D}_{41} + x_2(MW_2x_2 + MW_4x_4)/MW_4\bar{D}_{42} + x_3(MW_2x_2)/MW_4\bar{D}_{43} \\
L_{43} &= x_1(MW_3x_3)/MW_4\bar{D}_{41} + x_2(MW_3x_3)/MW_4\bar{D}_{42} + x_3(MW_3x_3 + MW_4x_4)/MW_4\bar{D}_{43}
\end{aligned}$$

Literatürde (Telli, 1988), biner difüzyon katsayısı için,

$$\bar{D}_{ij} = \bar{D}_{ij,T_0} \cdot \left(\frac{T}{T_0} \right)^n \quad (4.25)$$

ifadesi verilmektedir. $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ reaksiyonu için \bar{D}_{ij,T_0} ve n değerleri literatürden (Telli, 1988), alınarak T sıcaklığındaki \bar{D}_{ij} değerleri aşağıda verilmiştir.

$$\bar{D}_{12} = 0,221 \left(\frac{T}{273,15} \right)^{1,75}$$

$$\bar{D}_{13} = 0,135 \left(\frac{T}{237,15} \right)^{1,72}$$

$$\bar{D}_{14} = 0,660 \left(\frac{T}{273,15} \right)^{1,66}$$

$$\bar{D}_{23} = 0,159 \left(\frac{T}{273,15} \right)^{1,82}$$

$$\bar{D}_{24} = 0,812 \left(\frac{T}{273,15} \right)^{1,70}$$

$$\bar{D}_{34} = 0,563 \left(\frac{T}{273,15} \right)^{1,68}$$

Elde edilen 12 polimer difüzyon katsayısının sayısal değerleri 523 K'de ve değişen mol sayılarına bağlı olarak hesaplanmış ve Ek-2'de verilmiştir. 12 polimer katsayısı mol kütlelerine, mol konsantrasyonlarına ve biner difüzyon katsayılarına bağlıdır. Boru içindeki reaksiyon sırasında mol kütleleri büyük olan reaktanların harcandığı, mol kütlesi çok küçük olan hidrojen ve mol kütlesi çok büyük olan karbondioksit ortaya çıktığı, dolayısıyla 6 polimer difüzyon katsayısı için difüzyonda iyileşme ve diğer 6 tanesinde ise kötüleşme ortaya çıktığı görülmüştür.

4.2.3. Reaksiyon ve Reaksiyon Kinetiği

4.2.3.1. Su-Gaz Dönüşüm Reaksiyonu Hakkında Bilinenler

Su-gaz değişim reaksiyonu $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$, $\Delta H_R = -42700$ kJ/kmol şeklinde tersinir, ekzotermik bir reaksiyondur. Bu reaksiyonda CO, aşağıdaki amaçlarla kısmen veya tamamen dönüştürülmektedir.

- a-) CO'ce zengin gaz karışımında H_2/CO oranının ayarlanması,
- b-) Sınai prosesler sonucu istenmeyen zehirli CO'nun CO_2 'e dönüştürülmesi,
- c-) Su buharından CO dönüşüm yolu ile H_2 eldesi.

Reaksiyon equimolar olduğundan basıncın kimyasal dönüşüme etkisi yoktur. Denge sabiti,

$$K_p = \frac{P_{\text{CO}_2} P_{\text{H}_2}}{P_{\text{CO}} P_{\text{H}_2\text{O}}} = f(T) \quad (4.26)$$

şeklinde belirlidir. Denge dönüşümü için literatürden (Telli, 1996) $T=523^0\text{K}$ deki model reaksiyon için alınan, $K_p=103,24$ değerini kullanarak α dönüşüm miktarı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. i bileşenin denge durumundaki mol sayısı,

$$n_{id} = n_{i0} - n_{i0} \alpha_d \frac{V_i}{V_1} \quad (4.27)$$

ve toplamı

$$\sum_{i=1}^N n_{id} = \sum_{i=1}^N n_{i0} - n_{i0} \alpha_d \frac{\Delta V_i}{V_1} \quad (4.28)$$

şeklindedir. Başlangıçtaki mol miktarları $n_{10}=n_{20}$, $n_{30}=0$, $n_{40}=0$ şeklindedir. Burada n_{i0} başlangıç şartlarını ve n_{id} ise denge durumlarını simgelemektedir. Denge,

$$n_{1d} = n_{10}(1 - \alpha_d)$$

$$n_{2d} = n_{10}(1 - \alpha_d)$$

$$n_{3d} = n_{4d} = n_{10} \alpha_d$$

olur ve toplamı, $\sum_{i=1}^N n_{id} = 2n_{10}$ şeklindedir. Denge durumundaki kısmi basınçlar α_d cinsinden,

$$P_{CO} = \frac{1 - \alpha_d}{2} P_d, \quad P_{H_2O} = \frac{1 - \alpha_d}{2} P_d, \quad P_{CO_2} = \frac{\alpha_d}{2} P_d, \quad P_{H_2} = \frac{\alpha_d}{2} P_d$$

ifadeleri ile belirlidir. Bu ifadelerle denge sabiti için,

$$K_p = \frac{P_{CO_2} P_{H_2}}{P_{CO} P_{H_2O}} = \left(\frac{\alpha_d}{1 - \alpha_d} \right)^2$$

bulunur. Literatürden (Telli, 1996), K_p için verilen sayısal değerden de yararlanarak,

$$\frac{\alpha_d}{1 - \alpha_d} = K_p^{1/2}$$

$$\frac{\alpha_d}{1 - \alpha_d} = 103,24^{1/2} = 10,16$$

bulunur ve buradan $\alpha_d=0,91$ elde edilir. Sonuç olarak $T = 523^0K$ 'de CO maksimum %91 oranında dönüşmektedir.

Giriş ve çıkıştaki gaz karışımlarının dinamik viskoziteleri için literatürden (Üçgül, 1995) alınan,

$$\eta_{CO} = 346.10^{-6} P$$

$$\eta_{H_2O} = 285.10^{-6} P$$

$$\eta_{CO_2} = 331.10^{-6} P$$

$$\eta_{H_2} = 170.10^{-6} P$$

değerleri ve karışıma ait dinamik viskozite

$$\eta_k = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \mu_i^{0,5} \eta_i}{\sum_{i=1}^N x_i \mu_i^{0,5}} \quad (4.29)$$

bağıntısından yararlanılır. Burada x_i bileşene ait mol yüzdesi, μ_i bileşenin mol kütlesi, η_i bileşenin dinamik viskozitesidir.

Girişte $x_{CO} = 0,5$, $\mu_{CO} = 28 g/mol$, $x_{H_2O} = 0,5$ ve $\mu_{H_2O} = 18 g/mol$ değerleri ile η_0 değeri, $\eta_0 = 319.10^{-6}P$ olarak bulunur. Çıkışta ise $x_{CO_2} = 0,5$, $\mu_{CO_2} = 44 g/mol$, $x_{H_2} = 0,5$ ve $\mu_{H_2} = 2 g/mol$ değerleri ile η_c değeri, $\eta_c = 303.10^{-6}P$ olarak bulunur. $\eta_0 \cong \eta_c$ olduğundan $\eta_k \neq f(r, x) = sabit$ olmaktadır. Yüksek sıcaklık CO dönüşümü 320-450 0C 'de, alçak sıcaklık dönüşümü ise 200-250 0C arasında yapılmaktadır (Newsome, 1980). Bu sıcaklık sınırları kullanılan katalizörlerin aktivite durumuna göre belirlenir (Üçgül, 1995).

CO'in yüksek sıcaklık dönüştürülmesinde demiroksit (Fe_2O_3) katalizörler (demir esaslı) kullanılır. Reaksiyon hızlandırıcı olarak demiroksit, krom ve alüminyum ile

takviye edilir. Demiroksit katalizörleri için kükürt zarlıdır. Reaksiyon sırasında ani sıcaklık değişimleri de önlenmelidir. CO'ı giderilecek gaz karışımı şayet kükürtlü bileşenler veya ağır hidrokarbonlar içeriyorsa kobalt ve molibdenli katalizörler kullanılır. Kobalt-molibden katalizörleri de demiroksit katalizörlerle eşdeğer aktiviteye sahip olmakla birlikte, bunlar 40-80 bar basınçlarda daha yüksek aktivite göstermektedirler (Newsome, 1980).

4.2.3.2. Reaksiyon Kinetiği

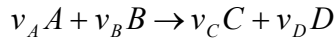
Pek çok reaksiyonun, ürün açısından büyük bir verime sahip olmasına karşın, reaksiyonun sona ermesi için çok uzun bir süre geçmesi gerekmektedir. Bu açıdan reaksiyon kinetiği bir kimyasal reaksiyonun hızını belirlemeyi ve bu hızı değiştirme olanaklarını araştırır. Reaksiyon hızı, reaksiyona giren bir bileşene ait konsantrasyonun zamana göre değişimidir. Heterojen reaksiyonlar için reaksiyon hızını, birim reaksiyon yüzeyinden birim zamanda dönüşüm miktarı olarak tanımlamak gerekir. Reaksiyon hızı genellikle reaksiyon hız sabiti ve reaksiyona giren gazların konsantrasyonları cinsinden ifade edilir. Reaksiyon hızı, zamanla azaldığından reaktanlar için negatif, ürünler için ise zamanla arttığından pozitiftir. Heterojen reaksiyonlar için reaksiyon hızını,

$$r = k \prod P_i^{n_i} \quad (4.30)$$

şeklinde belirlemek yeterlidir (Telli, 1988). Bu ifade hız denklemidir. Burada n_i , i bileşenin mertebesini göstermektedir. Reaksiyon mertebesi ise, reaksiyona giren maddelerin, hız denklemlerinde yer alan konsantrasyonlarının üslerinin toplamı olarak tanımlanır. Yani,

$$n = \sum_{i=1}^N n_i \quad (4.31)$$

ifadesi geçerlidir. Reaksiyon hızı r reaksiyona katılan bileşenlere bağımlı olmaksızın belirlenir ve

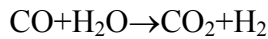


şeklindeki bir reaksiyon için,

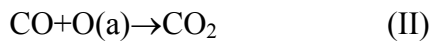
$$r = \frac{r_A}{v_A} = \frac{r_B}{v_B} = \frac{r_C}{v_C} = \frac{r_D}{v_D}$$

bağıntı yazılabilir (Telli, 1988). Literatürde (Newsome, 1980; Üçgül, 1995) model reaksiyon olan $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ reaksiyonu için çeşitli hız ifadeleri verilmiştir.

1-) Model reaksiyon normal basınçta ve $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta Temkin ve Kulkova (Newsome, 1980) tarafından demir esaslı katalizör kullanarak incelenmiştir. Bu çalışmaya göre,



reaksiyonu,



şeklinde, üç ardışık reaksiyondan oluşmaktadır. Bu reaksiyona ait hız ifadesi,

$$r = k_+ P_{\text{CO}} \left(\frac{P_{\text{H}_2\text{O}}}{P_{\text{H}_2}} \right)^{1/2} - k_- P_{\text{CO}_2} \left(\frac{P_{\text{H}_2}}{P_{\text{H}_2\text{O}}} \right)^{1/2} \quad (4.32)$$

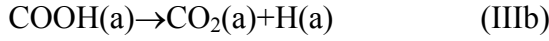
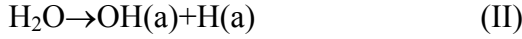
şeklinde verilmiştir. Burada, r reaksiyon hızı, k_+ ve k_- ileri ve geri hız sabitleri, P_i i bileşenine ait kısmi basınçtır.

2-) Shebirya, Morozov ve Temkin (Newsome, 1980) aynı reaksiyonu demir esaslı katalizör kullanarak incelemişlerdir. Reaksiyon hız ifadesi için Kul'kova ve Temkini'nin yaklaşımından hareket ederek hız ifadesini,

$$r = k \cdot \frac{P_{H_2O} P_{CO} - K^{-1} P_{CO_2} P_{H_2}}{A P_{H_2O} + P_{CO_2}} \quad (4.33)$$

şeklinde vermişlerdir. Burada, r reaksiyon hızı, P_i i bileşenine ait kısmi basınç, k hız sabiti, K denge sabiti, A sabittir.

3-) Bohlbro (Newsome, 1980) aynı model reaksiyonu içeriği %93 Fe_2O_3 - %7 Cr_2O_3 olan demir esaslı katalizörler kullanarak, atmosferik basınç ve 330-500 °C sıcaklık aralığında incelemiştir. Reaksiyonun,

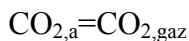
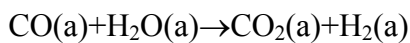
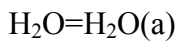
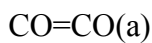


şeklinde elementer adımlardan oluştuğunu bildirerek, bu reaksiyonlara ait hız ifadesini,

$$r = k(CO)^{0,9} (H_2O)^{0,25} (CO_2)^{-0,6} (H_2)^0 (1 - \beta) \quad (4.34)$$

şeklinde vermişlerdir. Burada, k hız sabiti, () i bileşeni için konsantrasyon, $\beta = (CO_2)(H_2) / K(CO)(H_2O)$.

4-) Shchibrya ve arkadaşları (Newsome, 1980) tarafından Cu-Zn-Cr katalizörleri kullanarak ve



$H_{2,a} = H_{2,gaz}$ ile kinetik denklemi,

$$r = k \cdot \frac{P_{H_2O} P_{CO} - K^{-1} P_{CO_2} P_{H_2}}{A P_{H_2O} + P_{CO_2}} \quad (4.35)$$

şeklinde tanımlamışlardır.

5-) Bohlbro ve Jorgensen (Newsome, 1980) bakır esaslı Cu-Zn-Cr katalizörünü kullanarak reaksiyon hızı için,

$$r = k(CO)^{0,8} (H_2O)^{0,5} (CO_2)^6 (H_2)^{-0,15} (1 - \beta) \quad (4.36)$$

hız denklemini önermiştir.

6-) Overstreet (Newsome, 1980) Co-Mo-Cs kobalt-molibden esaslı katalizörlerini kullanarak 1 atm basınç ve 300-400 °C sıcaklıkları arasında,

$$-\ln \frac{\chi_{CO} - \chi_{CO}^{eq}}{\chi_{CO}^0 - \chi_{CO}^{eq}} = k \left(\frac{V}{F} \right) \quad (4.37)$$

kinetik bağıntısını önermiştir. Burada, V kataliz hacmi, F reaktan gazların akış hızı, χ_{CO}^0, χ_{CO} başlangıç ve bitişte CO mol yüzdeleri, χ_{CO}^{eq} denge dönüşümünde CO'nun mol yüzdesi, k birinci derecede hız sabitidir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1. Tasarımı Yapılan Güneş Reaktörü

Tasarımı yapılan güneş reaktörü iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde silindirik parabolik yalak tipi kollektör ön ısıtma için kullanılmıştır. İkinci bölümde ise bakır esaslı katalizör kullanılan su-gaz dönüşüm reaktörü bulunmaktadır.

5.1.1. Parabolik Kollektörün Boyutlandırılması

1 saatte 293 K'de, 0,5 kmol CO gazı ve 0,5 kmol H₂O alıcının odağına yerleştirilmiş, çapları 0,125 m olan iki farklı alıcı boru içinde parabolik yalak tipi kollektöre ön ısıtma için girmektedir. Bu iki alıcı boru aynı zaman çapı 0,25 olan cam koruyucu ile kaplıdır. Bu iki bileşenin sıcaklığını 523 K'ne çıkarmak için gereken ısı miktarı 8,123 kW olarak bulunmuştur. Bu ısıyı sağlayabilecek alıcı boru uzunluğu aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanabilir.

$$q_u = [I_b \cdot R_b (W - D_0) \cdot \rho \cdot \gamma \cdot (\tau\alpha)_b + I_b \cdot R_b \cdot D_0 (\tau\alpha)_b - U_L \cdot \pi \cdot D_0 (T_p - T_a)] L \quad (5.1)$$

Burada $I_b = 600 \text{ W/m}^2$, $R_b = 1$, $W = 4\text{m}$, $D_0 = 0,25\text{m}$, $\rho = 0,90$, $\gamma = 0,95$, $(\tau\alpha)_b = 0,8$, $U_L = 4,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Ek C), $T_p = 543 \text{ K}$, $T_a = 293 \text{ K}$ alınmıştır. Bu verilere göre alıcı uzunluğu Denklem (5.1)'den 9,6 metre bulunur. Fakat ön ısıtıcı kollektör uzunluğu 10 metre alınmıştır.

5.1.2. Boru Reaktörün Boyutlandırılması

Reaktörlerin temel boyutları çap ve uzunluktur. Uzunluğun çapa oranı olan darlık derecesi reaktörün tipine göre değişir. Tank reaktöründe darlık derecesi 0,7 (geniş) ile 1,8 (dar) arasında değişir. Darlık derecesi 2 ile 10 arasında ise reaktör kule yapısındadır. Kule tipi reaktörler daha çok gaz-sıvı tepkimelerde kullanılır. Darlık derecesi 10 ve 10'nun üzerinde olan reaktör boru reaktör adını alır.

Boru reaktörün tasarım değişkenleri olan hacim (V_r) ve molar besleme debisi (F_0) boru reaktörünün boyutlandırılmasında temel alınır. Aşağıdaki ifade kullanılarak hacimsel besleme debisi (Q),

$$F_0 \cdot \frac{\text{mol}}{\text{saat}} \cdot \frac{22,4 \text{ Litre}}{1 \text{ mol}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{10^3 \text{ Litre}} \quad (5.2)$$

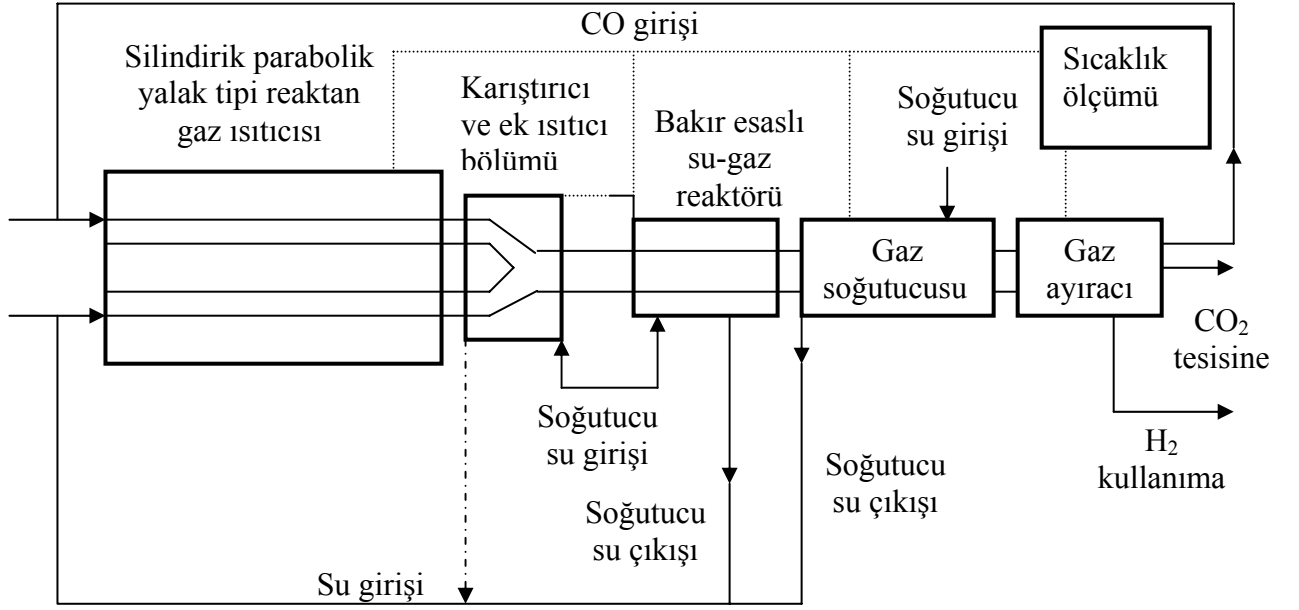
bulunur. V_r/Q boşluk zamanı olarak tanımlanır. Bu ifade, diğer koşullar veya mol sayısında bir değişme nedeniyle bir genleşme veya sıkıştırma söz konusu değilse alıkoyma süresinin gerçek bir ölçümüdür. Alıkoyma süresi doğrudan ölçülemeyen bir değerdir. Bunun aksine V_r/Q ölçülebilir bir değerdir.

Teknikte 0,001 ile 0,5 m/s arasındaki çizgisel hızlar kullanılır (Armağan, 1992). Çizgisel hız bir yandan kinetik ile diğer yandan da kütle ve ısı iletimi ile ilgilidir. $Re > 2000$ 'de iletim kolaylaşır ve Reynolds sayısı,

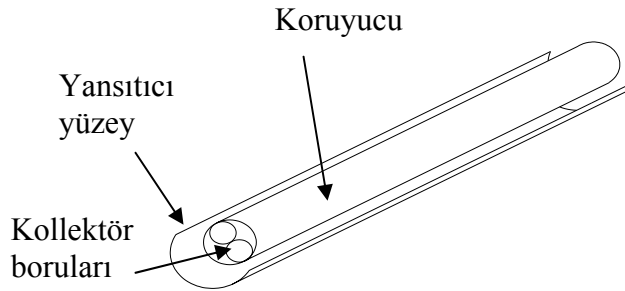
$$Re = \frac{u \cdot d}{\nu} \quad (5.3)$$

ile verilmektedir. Burada u çizgisel hız, d çap ve ν 'de kinematik viskozitedir. Boşluk hızı $1 \text{ m}^3/\text{h}$ olan reaktörler ekonomik sayılırlar. Böyle bir reaksiyonda 1 m^3 reaksiyon hacmi içinden 1 saatte 1 m^3 sıvı geçer. 1 m^3 reaktör hacmi esas alınırsa darlık derecesi 20 için reaktör boru $0,25 \text{ m}$ çapında ve 5 m uzunluğunda olması gerekir.

Şekil 5.1. ve 5.2.'de teorik hesapları yapılan güneş enerjili kimyasal reaktörün şematik bir görünüşü verilmiştir. Burada reaktan gazlar silindirik parabolik yalak tipi reaktan gaz ısıtıcısı bölümüne girmekte burada reaksiyon sıcaklığına kadar ısıtılmaktadır. Gaz ısıtıcısı, sistemin odak noktasında bulunan emici boru iki ayrı gaz için ayrı ayrı iki borudan oluşmaktadır. Boruların dışında şeffaf bir koruyucu tabaka mevcuttur.



Şekil 5.1. Tasarımı yapılan güneş enerjili kimyasal reaktör



Şekil 5.2. Silindirik parabolik yalak tipi reaktan gaz ısıtıcısı

Reaksiyon sıcaklığına kadar ısıtılmış gazlar gaz ısıtıcısından çıktıktan sonra karıştırıcı ve ek ısıtıcı bölümde karıştırılmakta karışım reaksiyon sıcaklığına ulaşmamış ise ısıtılmaktadır. Fakat belirlenen reaksiyon sıcaklığının üstüne çıkılmışsa soğutma uygulanmaktadır ve buradan su-gaz değişiminin gerçekleştirildiği reaktöre giriş yapılmaktadır. Reaktör içindeki reaksiyon ekzotermik olduğundan burada açığa çıkan ısı bir soğutucu su devresi ile alınmakta ve böylece reaktördeki izoterm koşul sağlanmaktadır.

Soğutucu kullanılan ısınmış çıkış suyu tekrar gaz ısıtıcı bölümüne gönderilerek bir enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Reaktör çıkışında dönüşüme uğramış gaz karışımı gaz soğutucusuna girmekte burada sisteme verilen soğutma suyuyla sıcaklığı düşürülerek gaz ayırıcısına gönderilmektedir. Yine burada kullanılan soğutma suyu da sisteme geri beslenmektedir. Gaz ayırıcısında dönüşümünü tamamlamış olan karbondioksit ve hidrojen depolama ve kullanım alanına gönderilirken dönüşmemiş karbonmonoksit sistem besleme ağzına tekrar gönderilmektedir. Her bir sistemin sıcaklık kontrolleri sıcaklık ölçüm bölümünde yapılmaktadır.

5.2. Sonuçlar

Sunulan çalışmanın özünü, hidrojen üretimi amaçlı su-gaz değişim reaksiyonunun gerçekleştirileceği, heterojen katalitik güneş enerjili ideal boru reaktörün teorik tasarım hesapları oluşturmuştur.

Bölüm 1’de konuya giriş yapılmış, Bölüm 2’de bugüne değin yapılan çalışmalar tartışılmış Bölüm 3’de ise güneş enerjisi temel hesapları verilmiş ve güneş enerjili ideal boru reaktörün esasını teşkil eden silindirik parabolik yalak tipi kollektör için temel güneş enerjisi hesapları yapılmıştır. Ek-1 bölümünde Isparta ili için geçerli olacak, yatay birim yüzeye bir anda gelen direk güneş ışınımı ifadesini veren $I_d = A \cos(\theta_z) \exp(-Bm)$ W/m^2 ifadesinin aylara göre A ve B katsayıları meteorolojik verilerden yararlanarak hesaplanan değerleri Ek-1 bölümündeki Tablo A.1’de verilmiştir. Bu denklem tüm güneş enerjisi tasarım hesapları için uygun bir denklemdir.

Alıcıda toplanan anlık enerji değerleri Ek-1 bölümünde Tablo A.2 ve Şekil A.1’de verilmiştir. Burada incelenen aylar içinde parabolik yalak tipi kollektörde toplanan ortalama anlık enerjinin Temmuz ayında en yüksek değere ulaştığı görülmektedir.

Kullanılan kollektör sisteminin enerjetik ve ekserjetik analizleri yapılmış sonuçlar Ek-1 bölümünde Şekil A.2 ve A.3’de sunulmuştur. Sistemin enerjetik ve ekserjetik verimlerinin Temmuz ayında en yüksek değere ulaştığı görülmüştür.

Bölüm 4’de reaktör tipleri tanımlanarak, çalışmada kullanılan reaktör tipine ait temel hesaplar sunulmuştur. Ayrıca su-gaz değişim reaksiyonuna ait temel denklemler verilerek hesaplama için gerekli bağıntılar türetilmiştir. Yine, boru reaktör için poliner difüzyon katsayılarının hesapları Bölüm 4.2.2.’de verilmiş, Ek-2 bölümünde de grafikleri sunulmuştur. Şekil B.1-2-3-4 incelendiğinde D_{12} , D_{14} , D_{24} , D_{41} , D_{42} ve D_{43} poliner difüzyon katsayılarının artış gösterdiği, diğerlerinin azalma gösterdiği ortaya konulmuştur. Ortamda CO ve H₂O’nun azalması D_{12} , D_{14} ve D_{24} ’ün ve hidrojenin artışı da D_{41} , D_{42} ve D_{43} ’ün artmasında etkin olmaktadır.

Sıcaklık 523 K’den 623 K’ne arttığı zaman poliner difüzyon katsayılarının değerleri üzerinde olumlu bir etki yaparak, Şekil B 1-2-3-4’de gösterildiği gibi arttırmıştır.

Dünyanın yakıt ihtiyacının çoğunu karşılayan fosil yakıtlar (petrol, doğalgaz ve kömür) hızla tükenmeye başlamıştır. Ayrıca bu yakıtların yanma ürünleri sera problemi ozon tabakasının delinmesi, asit yağmurları ve hava kirliliği gibi olaylar çevremiz ve gezegenimizdeki hayat için büyük bir tehlike oluşturmaktadır. Bir çok bilim adamı bu küresel sorunların çözümünün mevcut fosil yakıt sistemi yerine, hidrojen enerjisi istemlerine geçilmesi ile mümkün olabileceği konusunda hem fikirdirler. Hidrojen çok etkili ve temiz bir yakıttır. Yanması sırasında ortaya çıkacak ürünler kesinlikle sera gazı, ozon tabakasına zarar veren, asit yağmurlarına sebep olacak maddeler değildir ve hava kirliliği yaratmayacaktır. Hidrojen yenilenebilir enerji kaynaklarından (örneğin güneş enerjisi) üretilirse, bunun sonucunda hiçbir zaman değişmeyecek, kalıcı bir enerji sistemi kurulmuş olacaktır.

Sürdürülebilirlik, mevcut ekolojik, ekonomik ve kalkınma problemlerinin çözümünde kullanılan bir kavramdır. Enerji kaynakları ile sürdürülebilir kalkınma arasındaki ilişki toplumlar ve ülkeler için oldukça önemlidir. Bu nedenle, enerji kaynakları toplumun gelişmesi için bir ihtiyaç değil bir gerekliliktir. Sürdürülebilir kalkınmayı hedefleyen bir toplum çevresel etkileri olmayan enerji kaynaklarını kullanmalıdır. Böyle bir hedef ancak enerjisini kendisi üreten dışarıya bağlı olmayan, çevreye zarar vermeyen veya atık emisyonları çevre üzerinde negatif etki oluşturmayan enerji kaynaklarını kullanmakla gerçekleştirilebilir.

Yapılan kapsamlı çalışmaların temelini güneş, hidrolik, rüzgar, nükleer, jeotermal, biyokütle gibi yenilenebilir enerji destekli hidrojen teknolojilerinin ve stratejilerinin geliştirilmesi ve sürdürülebilir hidrojen teknolojilerinin devam ettirilmesi oluşturmaktadır. Gelişmiş ülkeler ekonomik dar boğazı hidrojen enerjisi ile aşma planları yapmaktadır.

Bölüm 5’de güneş enerjili kimyasal reaktör sistemine ait temel tasarım hesapları yapılmıştır. Detayları Şekil 5.1. ve 5.2.’de sunulmuştur. Tasarımı yapılan güneş enerjisi destekli hidrojen üretim tesisi; ekonomik, uygulanabilir ve çevreye asla zarar vermeyen ve reaksiyon ürünlerinin tamamının enerjiye ve ekonomiye dönüştürüle bildiği sürdürülebilir bir sistemdir. Seralarda kullanılmak üzere yurtdışından saf karbondioksit getirilmektedir. Reaktördeki dönüşüm sonucunda ortaya çıkan saf karbondioksit seralarda kullanılarak bu sektörün dışarıya bağılılığı ortadan kaldırılabılır. Hatta sistemde, atmosfere zararlı bir atık olarak atılan karbonmonoksit kullanıldığı için atmosferi temizleme gibi önemli bir özelliği de bulunmaktadır.

Sunulan çalışma, silindirik parabolik yalak tipi güneş kollektörlü kimyasal reaktörler için bir öncü çalışma niteliğindedir. Bundan sonraki çalışmalar için de yol gösterici olması dileğimidir.

KAYNAKLAR

Acaroğlu, M., 2003. Alternatif Enerji Kaynakları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 168-175.

Aghbalou, F., Touzani, A. ve Mada, M., 1998. A Parabolic Solar Collector Heat-Pipe Heat Exchanger Reactor Assembly For Cyclohexane's Dehydrogenation: A Simulation Study, Renewable Energy, Vol. 14, 61-67.

Alibaş, K., 1997. Güneş Enerjisi ve Güneş Enerjisinden Yararlanma Olanakları, Mühendis ve Makine Dergisi, cilt 29, sayı 331.

Armağan, T., 1992. Reaktör Tasarımı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 135 s.

Astrid Hublitz, Markus Spinnler, 2003. Technical Comparison of Different Solar-Assisted Heat Supply Systems for a Multi-Effect Seawater Distillation Unit, ISES Solar World Congress, Göteborg, June, 14-19 Sweden.

Atagündüz, G., 1989. Güneş Enerjisi Temelleri ve Uygulamaları, Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü Yayınları, İzmir, 371 s.

Atagündüz, G., 1995. Güneş Enerjisi ile Hidrojen Üreten İki Kilowatt Güçünde Bir Tesisin Boyutlandırılması, 5. Türk-Alman Enerji Sempozyumu, İzmir, 301 s.

Baldemir, F., 1987. Güneş Enerjisine Giriş, Fırat Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elazığ, 113 s.

Bezir, N.Ç., 2002. Güneş Havuzlarında Güneş Enerjisinin Depolanması ve Uygulamaları, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 28-31.

Bhowmik, N.C., Mullick, S. C., 1985. Calculation of Tubular Absorber Heat Loss Factor, Solar Energy, Vol. 35, N 3, 219-225.

Cobble, M.H., 1961. Theoretical Concentrations for Solar Furnaces, Solar Energy, N 2, 61-72.

Denbigh, K.G., 1984. Chemical Reactor Theory, Cambridge University Press, USA, 250 s.

Deriş, N., 1984. Güneş Evleri, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İstanbul, 117 s.

Deriş, N., 1987. Güneş Enerjisi ile Sıcak Su Isıtma Tekniği, Sermet Matbaası, İstanbul, 278 s.

Duffie, J.A., Beckman, W.A., 1980. Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley and Sons, New York, USA, 658 s.

Ergin, M., 1996. A Parametric Study on The Performance of Cylindrical Parabolic Concentrating Solar Collectors, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 57 s.

Eltez, M., 1986. Sabit Yansıtıcılı-Çizgisel Odaklı Kule Projesinde Yansıtıcılı-Odaklayıcı Yüzeyin Şekillendirilmesi, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Doktora Tezi, İzmir, 231 s.

Fakıoğlu, T., Ecevit, A., 1998. Türkiye'deki Çeşitli İstasyonlarda Toplam ve Saatlik Güneş Işıma Hesap Değerleri, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Cilt 19 n 1-2, sayfa 27-32.

Genç, A., 1998. Güneşi Tek Eksende Takip Eden Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcısının Performans Deneyleri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 71 s.

Goerke, O., Pfeifer, P. ve Schubert, K., 2004. Water Gas Shift Reaction and Selevtive Oxidation of CO in Microreactors, Applied Catalysis, Vol 15, 145-158.

Hession, P.J., Bonwick, W.J., 1984. Experience with a Sun Tracker System, Solar Energy, Vol 32, No 1, 3-11.

Karaduman, A., 1989. Parabolik Güneş Kollektörü Sisteminin Tasarım ve Yapımı, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 82 s.

Kılıç, A., Öztürk, A., 1983. Güneş Enerjisi, Kipaş Dağıtımcılık, İstanbul, 274 s.

Kormaz, D., 1998. Güneş Takipli Bir Sistemin Bilgisayar Kontrolü Tasarımı ve Uygulaması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 66s.

Kreith, F. and Kreider, F., 1978. Principles of Solar Engineering, Hemisphere PUBLISHING Corporation, New York, 462 s.

Külünk, H., Eyice, S., 1983. Yeni Enerji Kaynakları, İstanbul, 138 s.

Look, D.C. and Sundvold, P.D., 1983. Analysis of Concentrating Collectors of Energy From a Distant Point Source, Solar Energy, V 31, No.6, 545-55.

Macaginan, H.B., Lorenzo, E. and Jimenez, C., 1994. Solar Radiation in Madrid, International Journal of Solar Energy, V 16, N 1, 1-44.

Meniel, A.B., 1977. Concentrating Collectors, Solar Energy Engineering, Chapter 9, 183-216.

Mullick, S. C., Nanda, S., K., 1989. An Improved Technique for Computing the Heat Loss Factor of a Tubular Absorber, Solar Energy, V 42, N 1, 1-7.

Newsome, D.S., 1980. The Water-Gas Shift Reaction, Catal. Rev. Sci. Eng., N 21, 275-318.

Oturanç, N., 1989. Extraterrestrial Güneş Radyasyonunun Hesaplanmasında Güneş Geliş Açısının Astronomik Koordinat Sistemlerinde İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir, 78 s.

Ovesen, C. V., Stoltze, P, Norskov, J. K. ve Campbell, C. T., 1991. A Kinetic Model of The Water Gas Shift Reaction, Journal of Catalysis, N 134, 445-468.

Pasel, J., Cremer, P., Wegner, B., Peters, R. ve Stolten, D., 2003. Combination of Autothermal Reforming with Water-Gas-Shift-Reaction and Small-Scale Testing of Different Water-Gas-Shift Catalysts, Applied Catalysis, 112-118.

Tabakova, T., Boccuzzi, F., Manzoli, M. ve Andreeva, D., 2003. FTIR Study of Low-Temperature Water-Gas Shift Reaction on Gold/Ceria Catalyst, Applied Catalysis, 385-397.

Telli, Z.K., 1988. Difüzyon ve Reaksiyon Kinetiği, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayın no:1, 85 s.

Telli, Z.K., 1996. Yakıtlar ve Yanma, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, 141 s.

Topbaş, M.A., 1998. Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı, Prestij Yayıncılık, İstanbul, 846 s.

Turns, S.R., 2000. An Intraduction to Combustion, McGraw-Hill, USA, 672 s.

Usta, H., 1995. Güneş Enerjisi İle Çalışan Soğurmalı soğutma Sistemlerinin Tasarımlarının Geliştirilmesi ve İmali, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 98 s.

Uyar, E., Altınel, L., 1991. Elektronik Kumandalı Prototip Bir Güneş Takip Sitemi ve Verimliliğinin Araştırılması, Güneş Enerjisi ve Çevre Bildirisi, IV. Türk-Alman Enerji Sempozyumu, Ege Üniversitesi, İzmir, 328-339.

Uyarel, A.Y., Öz, E., S., 1987. Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Birsen Yayınevi, Ankara, 296 s.

Üçgül, İ., 1995. Fick Siteminde Dört Bileşenli Gaz Difüzyonunun Teorik Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 65 s.

Üçgül, İ., 2003. Fick Sisteminde Dört Bileşenli Poliner Gaz Difüzyonunun Teorik İncelenmesi, ULIBTK'03, 14. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Isparta, 402-405.

Üçgül, İ., Öztürk, M., Özek, N., 2004. I. Parabolik Yalak Tipi Kollektörün Optik ve Enerjetik Analizi, Türk Fizik Derneği 2. Fizik Kongresi, Bodrum, 157.

Üçgül, İ., Öztürk, M., Özek, N., 2004. II. Isparta İçin Parabolik Yalak Tipi Kollektörün Enerjetik ve Ekserjetik Analizi, Türk Fizik Derneği 2. Fizik Kongresi, Bodrum, 158.

Üçgöl, İ. ve Koyun, T., 2004. Şeffaf Yalıtımlı Düz Kollektörler ile Düz Kollektörlerin (güneş enerjisi toplayıcılarının) I. ve II. Yasa Verimliliklerinin İrdelenmesi, II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, Kütahya, 268-276.

Üçgöl, İ. ve Öztürk, M., 2005. Yüksek Sıcaklıklı Güneş Enerjisi Alıcı Sistemleri İçin Malzeme Seçimi, Güneş Enerjileri Teknolojileri Sempozyumu ve Sergisi, Makine Mühendisleri Odası, Mersin.

Üçgöl, İ., Öztürk, M., Şenol, R., 2005. I. Sulama Sistemlerinde Fotovoltaik Pil Kullanımı, Makine Mühendisleri Odası, Kayseri, 6-11.

Üçgöl, İ., Öztürk, M., Şenol, R., 2005. II. Bir Benzin İstasyonunun Temiz Enerji İle Aydınlatılması, Makine Mühendisleri Odası, Mersin.

You, Y., Hu, E.J., 2002. A Medium-Temperature Solar Thermal Power System and Its Efficiency Optimisation, Applied Thermal Engineering, Australia, 357-364.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Murat ÖZTÜRK

Doğum Yeri : Isparta

Doğum Yılı : 1978

Medeni Hali : Evli

Eğitim ve Akademik Durumu :

Lise 1992-1996

Lisans 1996-2000

Yabancı Dil : İngilizce

İş Deneyimi :

2000 – 2005 Milli Eğitim Bakanlığı

EKLER

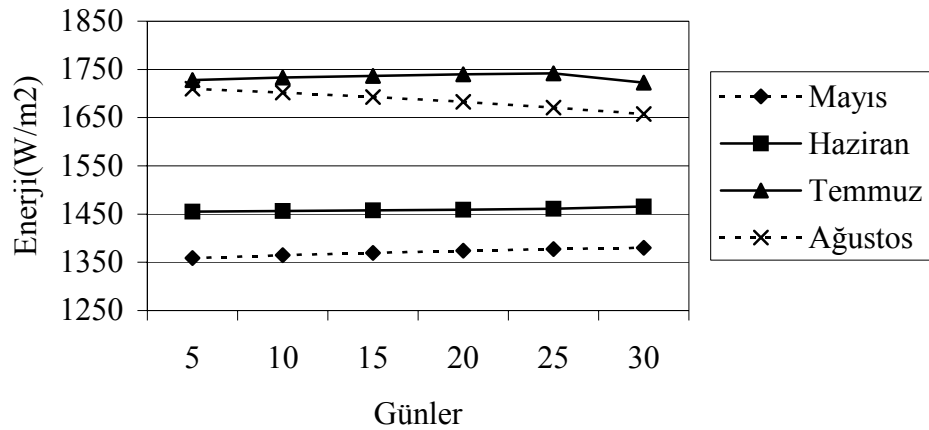
EK-1 Parabolik Kollektörün Enerji ve Verimlilik Tablolari

Tablo A.1. Isparta için hesaplanan A ve B katsayıları

Aylar	A	B
Ocak	308,6	0,142
Şubat	326,8	0,144
Mart	384,9	0,156
Nisan	418,8	0,180
Mayıs	680,7	0,196
Haziran	716,4	0,205
Temmuz	859,5	0,207
Ağustos	848,6	0,201
Eylül	812,6	0,177
Ekim	651,8	0,160
Kasım	524,4	0,149
Aralık	272,7	0,142

Tablo A.2. Alıcıda toplanan anlık enerji(W/m²)

Sezon	Zaman (Saat)	Enerji W/m2	Sezon	Zaman (Saat)	Enerji W/m2
Mayıs	8	1240,9	Temmuz	8	1575
	9	1350		9	1707,8
	10	1410,4		10	1782
	11	1441,4		11	1820,3
	12	1451		12	1832,2
Haziran	8	1332,3	Ağustos	8	1498,8
	9	1436,3		9	1658,1
	10	1495		10	1743,5
	11	1525,4		11	1786,5
	12	1534,9		12	1799,7



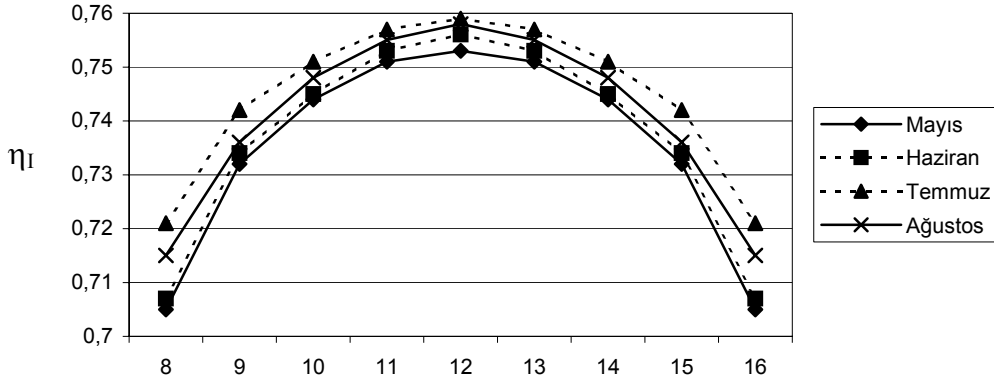
Şekil A.1. Parabolik yalak tipi kollektörde toplanan ortalama anlık enerjinin(W/m²) aylara göre karşılaştırılması

Tablo A.3. Isparta Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları için hesaplanmış bulanıklık faktörleri

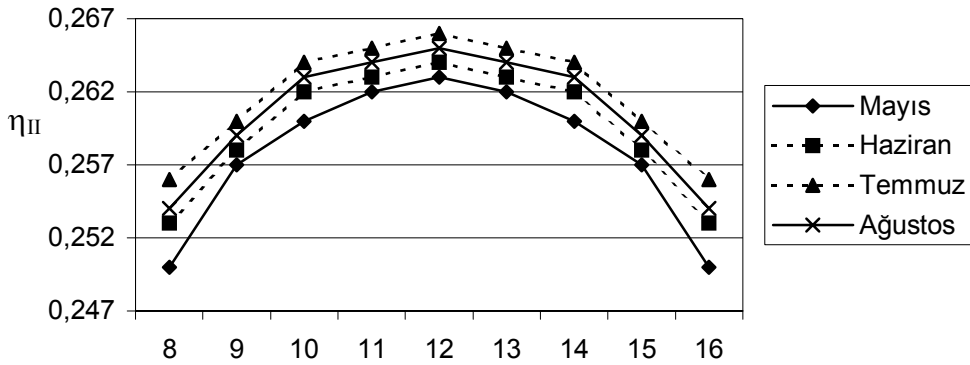
Saat	Bulanıklık faktörü (f)			
	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos
08:00	$6,745 \cdot 10^{-6}$	$7,33 \cdot 10^{-6}$	$7,531 \cdot 10^{-6}$	$6,578 \cdot 10^{-6}$
09:00	$9,174 \cdot 10^{-6}$	$9,761 \cdot 10^{-6}$	$1,015 \cdot 10^{-5}$	$9,283 \cdot 10^{-6}$
10:00	$1,121 \cdot 10^{-5}$	$1,179 \cdot 10^{-5}$	$1,234 \cdot 10^{-5}$	$1,158 \cdot 10^{-5}$
11:00	$1,256 \cdot 10^{-5}$	$1,314 \cdot 10^{-5}$	$1,38 \cdot 10^{-5}$	$1,312 \cdot 10^{-5}$
12:00	$1,304 \cdot 10^{-5}$	$1,361 \cdot 10^{-5}$	$1,431 \cdot 10^{-5}$	$1,357 \cdot 10^{-5}$

Tablo A.4. Yatay düzleme gelen anlık güneş ışınımları

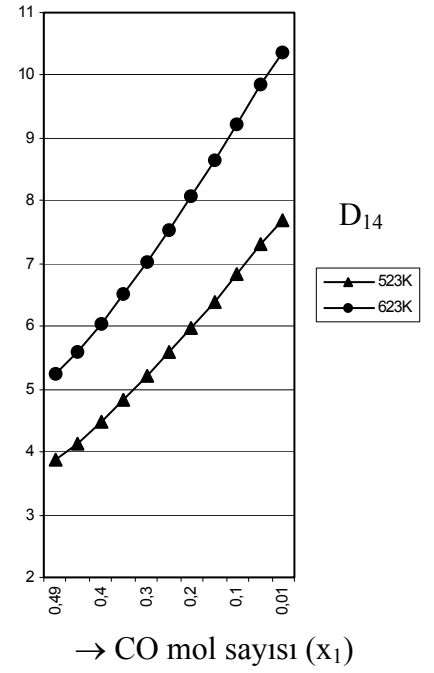
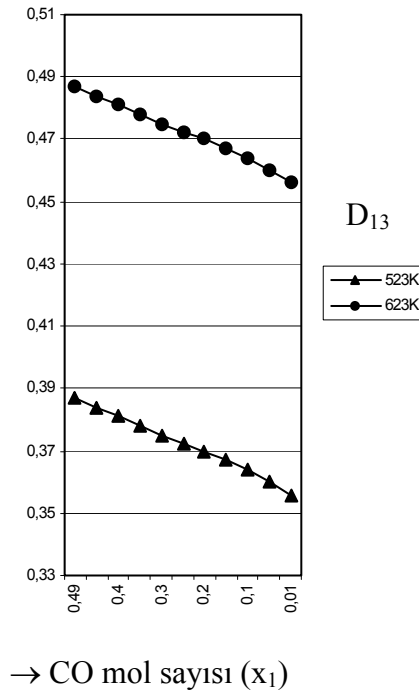
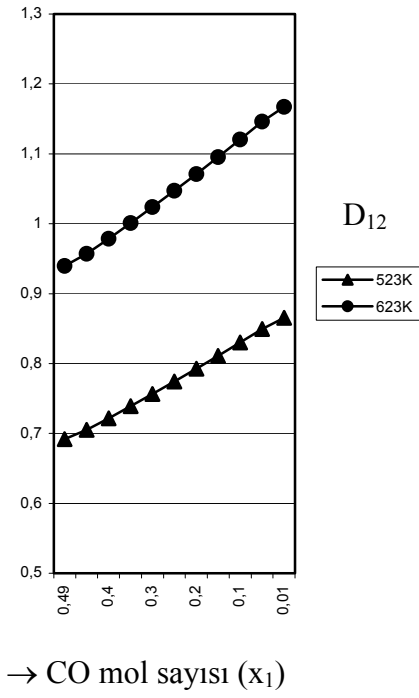
Sezon	Zaman (Saat)	I (W/m ²)	I _c (W/m ²)	Sezon	Zaman (Saat)	I (W/m ²)	I _c (W/m ²)
Mayıs	08:00	425,9	244,9	Temmuz	08:00	475,5	322,6
	09:00	579,3	349,3		09:00	640,9	448,3
	10:00	707,9	440,4		10:00	755,6	556,2
	11:00	793,7	502,6		11:00	855,7	629,3
	12:00	824	524,7		12:00	903,8	655,2
Haziran	08:00	415,3	277,16	Ağustos	08:00	462,8	284
	09:00	586,2	393,1		09:00	616,4	406,2
	10:00	731,6	486,6		10:00	744,6	518,7
	11:00	828,5	550,7		11:00	829,7	595,8
	12:00	859,6	573,3		12:00	862,8	623,1



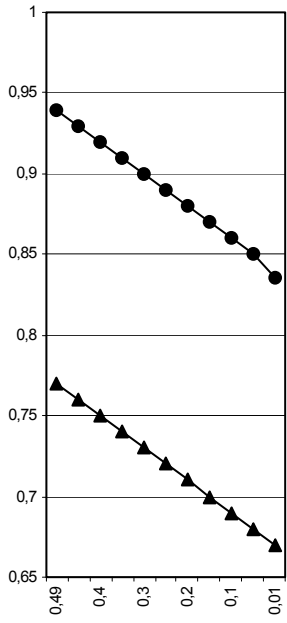
Şekil A.2. Parabolik yalak tipi kollektörün I. yasa verimliliğinin karşılaştırılması



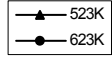
Şekil A.3. Parabolik yalak tipi kollektörün II. yasa verimliliğinin karşılaştırılması



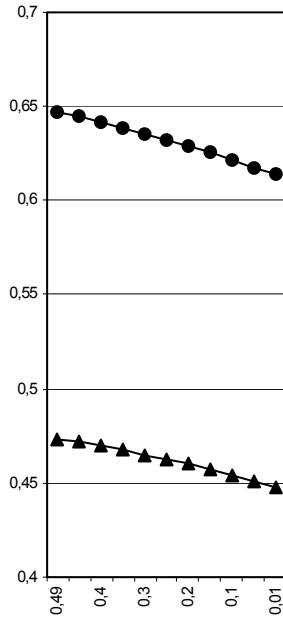
Şekil B.1. Polimer difüzyon katsayılarının CO mol sayısı (x_1) ile değişimi.



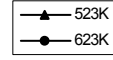
D₂₁



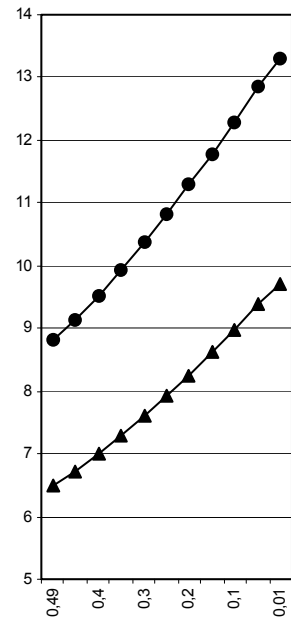
→ CO mol sayısı (x₁)



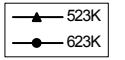
D₂₃



→ CO mol sayısı (x₁)

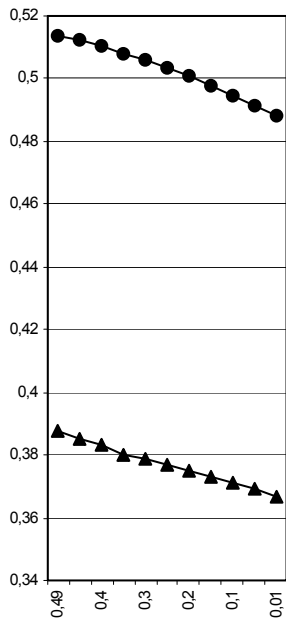


D₂₄

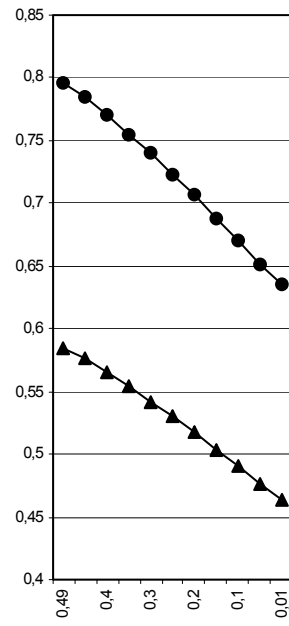


→ CO mol sayısı (x₁)

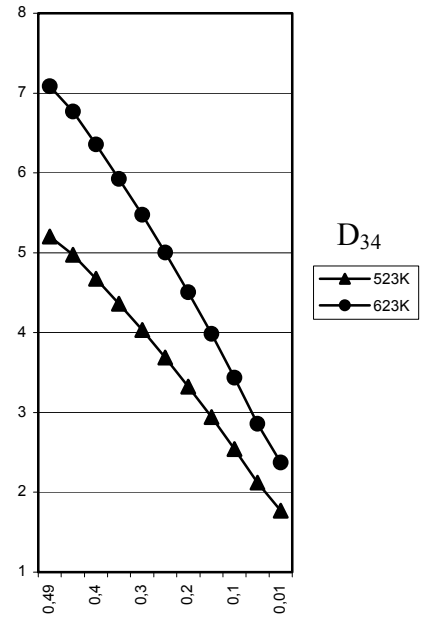
Şekil B.2. Poliner difüzyon katsayılarının CO mol sayısı (x₁) ile değişimi.



→ CO mol sayısı (x₁)

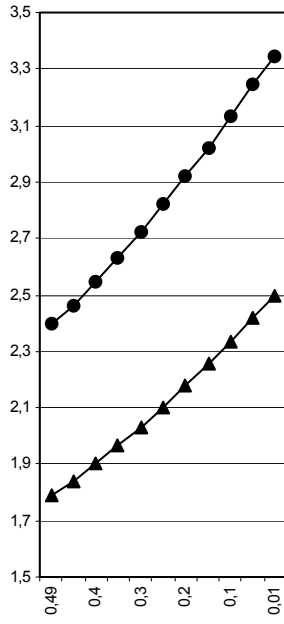


→ CO mol sayısı (x₁)

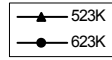


→ CO mol sayısı (x₁)

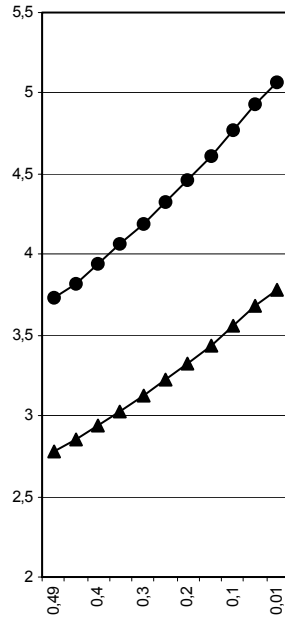
Şekil B.3. Poliner difüzyon katsayılarının CO mol sayısı (x₁) ile değişimi.



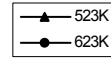
D_{41}



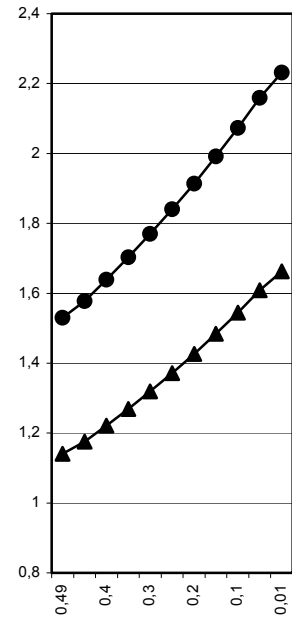
→ CO mol sayısı (x_1)



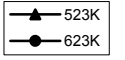
D_{42}



→ CO mol sayısı (x_1)



D_{43}



→ CO mol sayısı (x_1)

Şekil B.4. Polimer difüzyon katsayılarının CO mol sayısı (x_1) ile değişimi.

EK-3 Toplam Isı Kayıp Katsayısının Ampirik Metot Kullanarak Hesaplanması

Toplam ısı kayıp katsayısı,

$$U_L = \left[\frac{1}{h_{r12} + h_{c12}} + \left(\frac{D_1}{D_2} \right) \frac{1}{h_{r2a} + h_{c2a}} + \left(\frac{D_1}{D_2} \right) \frac{t_g}{k_g} \right]^{-1} \quad (C.1)$$

ifadesiyle verilmektedir. Burada,

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K}^4)$$

$$D_1 = 0,125 \text{ m}$$

$$D_2 = 0,25 \text{ m}$$

$$\varepsilon_1 = 0,30$$

$$\varepsilon_2 = 0,94$$

$$T_1 = 310 \text{ K}$$

$$T_a = 293 \text{ K}$$

$$t_g = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$k_g = 1,4 \text{ W/mK}$$

$$V_w = 3 \text{ m/s}$$

değerleri alınmıştır.

$$h_w = h_{c2a} = 4 \cdot V_w^{0,58} \cdot D_2^{-0,42}$$

$$h_{c2a} = 4 \cdot 3^{0,58} \cdot (0,25)^{-0,42} = 13,54 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$T_2 = T_a + 0,04075 \cdot (D_1/D_2)^{0,4} \cdot h_w^{-0,67} \cdot [2 - 2\varepsilon_1 + (6 + 9\varepsilon_1)T_1/100](T_1 - T_a)$$

$$T_2 = 293 + 0,04075 \cdot (0,125/0,25)^{0,4} \cdot 13,54^{-0,67} \cdot [2 - 2 \cdot 0,30 + (6 + 9 \cdot 0,30) \cdot 310/100](310 - 293)$$

$$T_2 = 296 \text{ K}$$

$$h_{r12} = \frac{\sigma \cdot (T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2)}{1/\varepsilon_1 + (D_1/D_2)(1/\varepsilon_2 - 1)}$$

$$h_{r12} = \frac{5,67 \cdot 10^{-8} (310^2 + 296^2) (310 + 296)}{1/0,30 + (0,125/0,25)(1/0,94 - 1)} = 1,894 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$C_w = \frac{17,74}{(T_1 + T_2)^{0,4} \cdot D_1 (D_1^{-0,75} + D_2^{-0,75})}$$

$$C_w = \frac{17,74}{(310 + 296)^{0,4} \cdot 0,125 (0,125^{-0,75} + 0,25^{-0,75})} = 1,442$$

$$h_{c12} = C_w \cdot (T_1 - T_2)^{0,25}$$

$$h_{c12} = 1,442 \cdot (310 - 296)^{0,25} = 2,79 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h_{r2a} = \sigma \cdot \varepsilon_2 \cdot (T_2^2 + T_a^2) (T_2 + T_a)$$

$$h_{r2a} = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,94 \cdot (296^2 + 293^2) (296 + 293) = 5,445 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Toplam ısı kayıp katsayısı Denklem (C.1)'den aşağıdaki gibi bulunur.

$$U_L = \left[\frac{1}{1,894 + 2,79} + \left(\frac{0,125}{0,25} \right) \frac{1}{5,445 + 13,54} + \left(\frac{0,125}{0,25} \right) \frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{1,4} \right]^{-1} = 4,16 \text{ W/m}^2\text{K}$$