

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SIVI PİSTONLU STİRLİNG MOTORU İLE GÜNEŞ ENERJİLİ
SU POMPASI TASARIMI**

Bilal KURŞUNCU

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Necati ULUSOY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2010**

TEZ ONAYI

Bilal KURŞUNCU tarafından hazırlanan “Sıvı Pistonlu Stirling Motoru İle Güneş Enerjili Su Pompası Tasarımı” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Necati ULUSOY

Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri:

Unvan, Adı Soyadı: Doç. Dr. Ramazan KAYACAN

Unvan, Adı Soyadı: Yrd. Doç. Dr. Necati ULUSOY

Unvan, Adı Soyadı: Yrd. Doç. Dr. Mustafa Reşit USAL

Prof. Dr. Mustafa KUŞÇU

Enstitü Müdürü

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

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER DİZİNİ	xi
1.GİRİŞ	1
1.1. Sıvı Pistonlu Stirling Motorları	4
1.1.1. Sıvı pistonlu Stirling motoru çeşitleri	9
1.1.1.1. Geri beslemeli sıvı pistonlu Stirling motoru.....	9
1.1.1.2. Eksenel olarak salınan yer değiştiricili sıvı pistonlu Stirling motorları	10
1.1.1.3. Birden fazla yer değiştirici kolona sahip sıvı pistonlu stirling motorları	11
1.1.2. Sıvı pistonlu Stirling motorlarında pompa dizaynları	12
1.2. Güneş Enerjisi Kolektörleri	14
1.2.1. Sabit güneş kolektörleri	15
1.2.1.1. Düz levhali kolektörler	16
1.2.1.2. Vakum tüplü kolektörler.....	17
1.2.1.3. Karışık parabolik kolektörler	17
1.2.2. Güneş izleyicili odaklı güneş kolektörleri	18
1.2.2.1. Parabolik oluklu kolektörler	20
1.2.2.2. Fresnel sistemi	21
1.2.2.3. Parabolik çanak yansıtıcılar	23
1.2.2.4. Heliostat sistemler	25
2. KAYNAK ÖZETLERİ	26
3. MATERYAL VE YÖNTEM	29
3.1. Sıvı Pistonlu Stirling Motorlu Su Pompası Tasarımı.....	29
3.1.1. Çalışma gazı ve çalışma basıncı	29
3.1.2. Çalışma sıcaklıkları	30
3.1.3. Yer değiştirici piston sıvı kolonu frekansı.....	30
3.1.4. Ayarlama kolonu frekansı	32
3.1.5. Sistemin güç değerlerinin hesaplanması	37

3.1.6. Sistemin toplam hacim değişiminin hesaplanması (V_o).....	40
3.1.7. Sistemin süpürme hacminin hesaplanması (V_s)	40
3.1.8. Yer değiştirici piston çapının hesaplanması (D)	41
3.1.9. Sistemdeki ölü hacimlerin bulunması (V_D).....	41
3.1.10. Ayarlama kolonu uzunluğunun bulunması (L_t)	42
3.1.11. Viskoz akış kayıpları (E_v).....	43
3.1.12. Kinetik akış kayıpları (E_k)	44
3.1.13. Geçici ısı transfer kaybı (Eh).....	44
3.2. Güneş Açıları Ve Güneş Işınımının Hesaplanması	45
3.2.1. Güneş Açıları	45
3.2.1.1. Yükseklik açısı.....	46
3.2.1.2. Güneş denklinasyon açısı (de)	47
3.2.1.3. Güneşsel saat açısı (h_{GSA})	47
3.2.1.4. Azimuth açısı (a_g)	48
3.2.1.5. Güneş geliş açısı (θ_g).....	48
3.2.2. Güneş ışıını hesapı	48
3.2.2.1. Atmosfer dışına gelen güneş ışıınıının hesaplanması (I_0).....	48
3.2.2.2. Yeryüzüne gelen günlük tüm güneş ışıınıının hesaplanması.....	49
3.2.2.3. Eğik düzleme gelen güneş ışıınıı.....	51
3.3. Parabolik Oluklu Güneş Kolektörü Tasarımı	52
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	57
4.1. Sıvı Pistonlu Stirling Motoru Değişkenlerinin Hesaplanması.....	58
4.1.1. Çalışma gazı ve basıncı	58
4.1.2. Yer değiştirici piston frekansının hesaplanması (f).....	58
4.1.3. İstenilen debi ve yükseklik değeri için gerekli hidrolik gücün hesaplanması (W_{net}).....	60
4.1.4. Sistemdeki toplam hacim değişimin hesaplanması (V_o).....	60
4.1.5. Süpürme hacminin hesaplanması (V_s).....	62
4.1.6. Yer değiştirici piston çapının hesaplanması (D)	63
4.1.7. Sistemdeki ölü hacimlerin hesaplanması (V_D)	64
4.1.8. Sistemin saatlik strok sayısının hesaplanması (S_s)	65
4.1.9. Pompa kısmındaki minimum ölü hacmin hesaplanması (V_p)	65

4.1.10. Genişleme (V_e), sıkıştırma (V_c), ısıtıcı (V_t) ve rejeneratör (V_r) kısımlarının ölü hacimlerinin hesaplanması	67
4.1.11. Ayarlama kolonu uzunluğunun hesaplanması (L_t)	68
4.1.12. Kinetik akış kayıplarının hesaplanması (E_k)	69
4.1.13. Viskoz akış kayıpları (E_v).....	70
4.1.14. Geçici ısı transfer kayıpları (E_h)	70
4.1.15. Sistem için gerekli minimum gücün hesaplanması ($W_{\min}$).....	70
4.1.16. Sistem çıkış gücünün hesaplanması (W_0)	72
4.2. Güneş Açıları ve Güneş Işınımının Hesaplanması	72
4.2.1. Güneş açılarının hesaplanması.....	73
4.2.1.1. Güneş denklinasyon açısının hesaplanması (de)	73
4.2.1.2. Güneşsel saat açısı (h_{GSA}), yerel saat açısı (H_a), gün uzunluğu (t_g), zenit (z) ve güneş geliş açısının (θ_g) hesaplanması.....	74
4.2.2. Güneş ışıının hesaplanması	77
4.2.2.1. Atmosfer dışına gelen güneş ışıını hesabı (I_0).....	77
4.2.2.3. Yatay düzleme gelen anlık tüm güneş ışıının hesaplanması (I).....	78
4.2.2.4. Yatay düzleme gelen direkt (I_d) ve yayılı (I_y) anlık güneş ışıını değerlerinin hesaplanması	79
4.2.2.5. Eğik düzleme gelen anlık güneş ışıınılarının hesaplanması	80
4.3. Parabolik Oluklu Güneş Kolektörü Isıl Analizi.....	82
4.4. Örnek Uygulama.....	82
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	86
6. KAYNAKLAR.....	88
EKLER.....	91
ÖZGEÇMİŞ.....	92

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SIVI PİSTONLU STİRLİNG MOTORU İLE GÜNEŞ ENERJİLİ SU POMPASI TASARIMI

Bilal KURŞUNCU

**Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Necati ULUSOY

Bu çalışmada, sıvı pistonlu Stirling motorları incelenmiş ve sıvı pistonlu Stirling motoru genel çalışma prensibine uyan güneş enerjili su pompası tasarım parametreleri denklemler halinde yazılmıştır. Güneş enerjisinden faydalanmak için parabolik oluklu güneş kolektörü kullanılmıştır. Parabolik oluklu güneş kolektörü tasarımı için gerekli denklemler yazılmıştır. Visual Basic programlama dili kullanılarak yazılan bir program ile istenilen debi ve basma yüksekliği değerleri için, ülkemizin farklı illerinde, farklı ay ve günün saatlerinde, farklı ortam koşulları göz önüne alınarak, sistem tasarımı için gerekli değerler hesaplanmıştır.

Bu çalışmada, pompa için, farklı debi, basma yüksekliği ve frekans değerleri için sistem parametrelerinin değişimi incelenmiş hesaplanan değerler tablolar halinde sunulmuştur.

Oluşturulan program ile parabolik oluklu güneş kolektörünün alıcı boru çapı, alıcı boru sıcaklığı, alıcı boru örtü sıcaklığı, ısıtıcı akışkan debisi ve kolektöre giriş sıcaklığı, ortamın rüzgar hızı için ısı analizi yapılmıştır.

$Q=0.5 \text{ m}^3/h$ debi ve $H=1\text{m}$ basma yüksekliği değerleri için, sıvı pistonlu Stirling motorlu güneş enerjili pompa için gerekli değerler ve Temmuz ayında, Isparta, Ankara ve Antalya illerinde, güneş açıları, ısıtım değerleri hesaplanmış, sistem için gerekli kolektör açıklık alanları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sıvı pistonlu Stirling motoru, güneş enerjisi, su pompası

2010, 92 sayfa

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

DESIGN OF LIQUID-PISTON STIRLING ENGINE WATER PUMP USING SOLAR ENERGY

Bilal KURŞUNCU

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Necati ULUSOY

In this study, liquid piston Stirling engines were investigated, and the design parameters of water pump using solar energy which conforms to the general working principle of liquid piston Stirling engine were written by equations. In order to benefit from solar energy, solar collectors having parabolic channel were used. The necessary equations for the design of solar collectors having parabolic channel were written. By a program written by Visual Basic software, the required values for system design were calculated for the intended flow rate and delivery head, taking into account the different environment conditions of different hours of day, months and the cities of our country.

In the study, the change of system parameters for different flow rate, delivery head and frequency values was investigated, and the calculated values were presented by tables.

By the written program, the diameter, temperature and cover temperature of receiver pipe, heater fluid rate and collector entrance temperature and thermal analysis for wind speed of environment for solar collector having parabolic channel were made.

The necessary values for liquid piston Stirling engine using solar energy at values of $Q=0.5 \text{ m}^3/\text{h}$ fluid rate and $H=1\text{m}$ delivery head were calculated, sun angles and radiation values in Isparta, Ankara and Antalya cities in July were calculated, and the necessary collector aperture fields for the system were compared.

Key Words: Liquid piston Stirling engine, solar energy, water pump

2010, 92 pages

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları çözmemde bana yardımlarını esirgemeyen değerli Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Necati ULUSOY'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tezimin her aşamasında bana moral ve motivasyon sağlayan sevgili eşime ve oğluma, sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Bilal KURŞUNCU

ISPARTA, 2010

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Patenti alınmış ilk Stirling motoru	2
Şekil 1.2. Ülkemizin güneş radyasyonu haritası	3
Şekil 1.3. Stirling motoru genel çalışma prensibi.....	5
Şekil 1.4. İş pistonu eklenmiş Stirling motorunun genel çalışma prensibi.....	5
Şekil 1.5. Rejeneratör eklenmiş şematik stirling motoru	6
Şekil 1.6. Sıvı pistonlu Stirling motoru basma stroku	7
Şekil 1.7. Sıvı pistonlu stirling motoru emme strokunda.....	8
Şekil 1.8. Geri beslemeli sıvı pistonlu Stirling motoru.....	9
Şekil 1.9. Çıkış kolonu sisteme sıcak kısım doğrultusunda	10
Şekil 1.10. Eksenel olarak salınan yer değiştiricili sıvı pistonlu Stirling motoru	10
Şekil 1.11. Eksenel olarak hareket eden yer değiştiricili sıvı pistonlu	11
Şekil 1.12. Birden fazla yer değiştirici kolona sahip sıvı pistonlu Stirling motorları	12
Şekil 1.13. Çıkış koluna direk olarak pompa kolu bağlanmış sistem.....	13
Şekil 1.14. Geri beslemeli sıvı pistonlu Stirling motorlu pompa	13
Şekil 1.15. Gaz birleşimli sıvı pistonlu Stirling motorlu su pompası.....	14
Şekil 1.16. Düz levhalı güneş enerjisi kolektörü.....	16
Şekil 1.17. (a) Bileşik parabolik kolektör şematik gösterimi (b) uygulaması.....	18
Şekil 1.18. Güneş kolektörlerinde güneş takip sistemleri.....	19
Şekil 1.19. Parabolik oluklu güneş kolektörü şematik gösterim	20
Şekil 1.20. Parabolik oluklu güneş kolektörü	21
Şekil 1.21. Fresnel mercekli sistem	21
Şekil 1.22. Fresnel yansıtıcı sistem	22
Şekil 1.23. Fresnel yansıtıcı güneş enerjisi sistemi	22
Şekil 1.24. Çift emicili fresnel yansıtıcı güneş enerjisi sistemi	23
Şekil 1.25. Fresnel yansıtıcı sistem.....	23
Şekil 1.26. Parabolik çanak yansıtıcı şematik gösterimi.....	24
Şekil 1.27. Parabolik çanak yansıtıcı sistem	24
Şekil 1.29. Heliostat sistem	25
Şekil 3.1. Tasarımı ve hesaplamaları yapılan sıvı pistonlu Stirling Motorlu.....	29
Şekil 3.2. Yer değiştirici pistonun şematik gösterimi.....	31
Şekil 3.3. Çalışma gazı bağlı ayarlama kolonu	32
Şekil 3.4. Ayarlama kolonu sisteme direk bağlı olduğu durum	34
Şekil 3.5. Dünya üzerinde önemli güneş ışınları.....	46
Şekil 3.6. Güneş yükseklik açısı ve düzlem ışın gelme açılarının şematik gösterimi	46
Şekil 3.7. Parabolik oluklu güneş kolektörü şematik gösterim	53
Şekil 4.1. Hazırlanan programın ekran görüntüsü.....	57
Şekil 4.2. Sistemin frekans değerleri	59
Şekil 4.3. Frekans değerlerinin yer değiştirici piston sıvı kolonu uzunluğu.....	59
Şekil 4.4. Sabit debi ($Q=0.5\text{ m}^3/h$) ve basma yüksekliği ($H=1\text{m}$)	61
Şekil 4.5. $Q=0.5\text{ m}^3/h$, $H=1\text{m}$ ve farklı frekans değerleri için yer değiştirici.....	64
Şekil 4.6. Pompa kısmındaki minimum hacmin frekans değeri ile değişimi	66
Şekil 4.7. Güneş açı ve ışınlarının hesaplanması için ay, saat ve il seçimi.....	72
Şekil 4.8. Denklinasyon açılarının aylara göre değişimi	74
Şekil 4.8. Isparta ili için çalıştırılan programın çıktısı.....	83
Şekil 4.9. Ankara ili için çalıştırılan programın çıktısı.....	84
Şekil 4.10. Antalya ili için çalıştırılan programın çıktısı	84

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Güneş kolektörlerinin sınıflandırılması.....	15
Çizelge 3.1. Çeşitli gazlara ait özgül ısı oranları.....	36
Çizelge 3.2. Farklı faz açısı ve sıcaklıklarda $\left(\frac{\Delta P}{P_m}\right)^2$ değeri.....	45
Çizelge 4.1. Hesaplanan frekans (f) değerlerine karşılık gelen yer değiştirici piston sıvı kolonu uzunluğu değerleri (L_D).....	59
Çizelge 4.2. $Q=0.5 \text{ m}^3 / h$ ve farklı basma yüksekliği (H) değerleri için hidrolik güç değerleri (W_{net}).....	60
Çizelge 4.3. $H=1\text{m}$ ve farklı debi (Q) değerleri için hidrolik güç (W_{net}) değerleri.....	60
Çizelge 4.4. $Q=0.5 \text{ m}^3 / h$, $H=1\text{m}$ ve farklı frekans değerleri için toplam hacim değişimi (V_0) değerleri.....	61
Çizelge 4.5. $Q=0.5 \text{ m}^3 / h$, $f=0.596 \text{ Hz}$ ve farklı basma yüksekliği (H) için toplam hacim değişimi (V_0) değerleri.....	61
Çizelge 4.6. $H=1\text{m}$, $f=0.596 \text{ Hz}$ ve farklı debi değerleri için toplam hacim değişimi (V_0) değerleri.....	62
Çizelge 4.7. $Q=0.5 \text{ m}^3 / h$, $H=1\text{m}$ ve farklı frekans değerleri için süpürme hacmi (V_s) değerleri.....	62
Çizelge 4.8. $Q=0.5 \text{ m}^3 / h$, $f=0.596 \text{ Hz}$ ve farklı basma yüksekliği (H) için süpürme hacmi (V_s) değerleri.....	62
Çizelge 4.9. $H=1\text{m}$, $f=0.596 \text{ Hz}$ ve farklı debi değerleri için toplam hacim değişimi (V_0) değerleri.....	63
Çizelge 4.10. $Q=0.5 \text{ m}^3 / h$, $H=1\text{m}$ ve farklı frekans değerleri için yer değiştirici piston çapı (D) değerleri.....	63
Çizelge 4.11. $Q=0.5 \text{ m}^3 / h$, $f=0.596 \text{ Hz}$ ve farklı basma yüksekliği (H) için yer değiştirici piston çapı (D) değerleri.....	63
Çizelge 4.12. $H=1\text{m}$, $f=0.596 \text{ Hz}$ ve farklı debi (Q) değerleri için yer değiştirici piston çapı (D) değerleri.....	63
Çizelge 4.13. $Q=0.5 \text{ m}^3 / h$, $H=1\text{m}$ ve farklı frekans değerleri için sistem ölü hacmi değerleri (V_D).....	64
Çizelge 4.14. $Q=0.5 \text{ m}^3 / h$, $f=0.596 \text{ Hz}$ ve farklı basma yüksekliği (H) için sistem ölü hacmi değerleri (V_D).....	65
Çizelge 4.15. $H=1\text{m}$, $f=0.596 \text{ Hz}$ ve farklı debi değerleri için sistem ölü hacmi değerleri (V_D).....	65
Çizelge 4.16. Farklı frekans değerleri için (f) strok sayısı (S_s) değerleri.....	65
Çizelge 4.17. $Q=0.5 \text{ m}^3 / h$, $H=1\text{m}$ ve farklı frekans değerleri için, pompa kısmındaki minimum ölü hacmin (V_p) değerleri.....	66

Çizelge 4.18. $H=1m$, $f=0.596\text{ Hz}$ ve farklı debi değerleri için, pompa kısmındaki minimum ölü hacmin (V_p) değerleri.....	66
Çizelge 4.19. $Q=0.5\text{ m}^3/h$, $H=1m$ ve farklı frekans değerleri (f) için, genişleme (V_e), ısıtıcı (V_i), rejeneratör (V_r) kısımları ölü hacimleri.....	67
Çizelge 4.20. $Q=0.5\text{ m}^3/h$, $f=0.596\text{ Hz}$ ve farklı basma yüksekliği (H) için, genişleme (V_e), ısıtıcı (V_i), rejeneratör (V_r) kısımları ölü hacimleri.....	67
Çizelge 4.21. $H=1m$, $f=0.596\text{ Hz}$ ve farklı debi (Q) değerleri için, genişleme (V_e), ısıtıcı (V_i), rejeneratör (V_r) kısımları ölü hacimleri.....	68
Çizelge 4.22. $Q=0.5\text{ m}^3/h$, $H=1m$, $f=0.596$ ve farklı ayarlama kolunu yarıçapı (R_t) değerleri için, ayarlama kolunu uzunluğu (L_t) değerleri.....	68
Çizelge 4.23. $Q=0.5\text{ m}^3/h$, $H=1m$, $R_t=0.02m$ ve farklı frekans değerleri (f) için, ayarlama kolunu uzunlukları (L_t).....	69
Çizelge 4.24. $Q=0.5\text{ m}^3/h$, $f=0.596\text{ Hz}$, $R_t=0.02m$ ve farklı basma yüksekliği (H) için, ayarlama kolunu uzunlukları (L_t).....	69
Çizelge 4.25. $f=0.596\text{ Hz}$, $R_t=0.02m$, $H=1m$ ve farklı debi değerleri (Q) için, ayarlama kolunu uzunlukları (L_t).....	69
Çizelge 4.26. $Q=0.5\text{ m}^3/h$, $H=1m$, $f=0.596$ ve farklı ayarlama kolunu yarıçapı (R_t) değerleri için, kinetik akış kayıpları (E_k).....	69
Çizelge 4.27. $Q=0.5\text{ m}^3/h$, $H=1m$, $f=0.596$ ve farklı ayarlama kolunu yarıçapı (R_t) değerleri için, viskoz akış kayıpları (E_v).....	70
Çizelge 4.28. $Q=0.5\text{ m}^3/h$, $H=1m$, $f=0.596$ ve farklı genişleme kısmı sıcaklıkları (T_e) için, geçici ısı transfer kayıpları (E_h).....	70
Çizelge 4.29. $Q=0.5\text{ m}^3/h$, $H=1m$, $R_t=0.02m$, $T_e=327^\circ$ ve farklı frekans değerleri (f) için hesaplanan gerekli minimum güç ($W_{\min}$).....	71
Çizelge 4.30. $Q=0.5\text{ m}^3/h$, $f=0.596\text{ Hz}$, $R_t=0.02m$, $T_e=327^\circ$ ve farklı basma yüksekliği (H) için hesaplanan, gerekli minimum güç ($W_{\min}$).....	71
Çizelge 4.31. $f=0.596\text{ Hz}$, $R_t=0.02m$, $T_e=327^\circ$, $H=1m$ ve farklı debi değerleri (Q) için hesaplanan, gerekli minimum güç ($W_{\min}$).....	71
Çizelge 4.32. $Q=0.5\text{ m}^3/h$, $f=0.596\text{ Hz}$, $R_t=0.02m$, ve farklı genişleme kısmı sıcaklıkları (T_e) için hesaplanan, gerekli minimum güç ($W_{\min}$)... ..	72
Çizelge 4.33. $Q=0.5\text{ m}^3/h$, $f=0.596\text{ Hz}$, $R_t=0.02m$, ve farklı genişleme kısmı sıcaklıkları (T_e) için sistem çıkış gücü değerleri (W_0).....	72
Çizelge 4.34. Yıl boyunca denklinasyon açıları.....	73
Çizelge 4.35. Gün içinde değişen güneşsel saat açısı değerleri.....	74
Çizelge 4.36. Isparta, Ankara, Antalya illeri için saat açıları (H_a).....	75
Çizelge 4.37. Gün uzunluğunun (t_g) bazı iller için aylara göre değişimi.....	75

Çizelge 4.38. Farklı iller için, Temmuz ayında, günün değişen saatlerinde zenit (z) ve güneş ışını geliş açısı değerleri (θ_g).....	76
Çizelge 4.39. Isparta, Ankara ve Antalya illerinde atmosfer dışına gelen güneş ışıını değeri(I_0).....	77
Çizelge 4.40. Isparta, Ankara ve Antalya İlleri için yatay birim düzleme gelen güneş ışıını miktarı değeri (Q_0).....	78
Çizelge 4.41. Isparta, Ankara ve Antalya illeri için Temmuz ayı anlık tüm güneş ışıını (I) değeri.....	79
Çizelge 4.42. Isparta, Ankara ve Antalya ili için, Temmuz ayında yatay düzleme gelen direk (I_d) ve yayılı (I_y) anlık güneş ışıını değeri.....	79
Çizelge 4.43. Isparta ili Temmuz ayı eğik düzleme gelen anlık güneş ışıını değeri.....	80
Çizelge 4.44. Ankara ili Temmuz ayı eğik düzleme gelen anlık güneş ışıını değeri.....	81
Çizelge 4.45. Antalya ili Temmuz ayı eğik düzleme gelen anlık güneş ışıını değeri.....	81
Çizelge 4.46. Isparta, Ankara ve Antalya illeri için hesaplanan, parabolik oluklu kolektör, ısı kayıp katsayıları.....	82

SİMGELER DİZİNİ

S	Kolektör yüzeyi tarafından emilen güneş enerjisi
T_r	Alıcı yüzeyin sıcaklığı
ε_r	Akıcı yüzeyin yayıcılık katsayısı
ε_g	Cam kaplama yüzeyin yayıcılık katsayısı
c_p	Kolektör ısı taşıyıcı akışkanın özgül ısısı
T_i	Kolektör ısı taşıyıcı akışkanın giriş sıcaklığı
$\dot{m}$	Kolektör ısı taşıyıcı akışkanın debisi
T_0	Kolektör ısı taşıyıcı akışkanın çıkış sıcaklığı
h_{fi}	Boru içerisindeki ısı transfer katsayısı
T_a	Ortam sıcaklığı
V	Rüzgar hızı
A_r	Alıcı yüzey alanı
A_g	Cam kaplama yüzey alanı
A_a	Kolektör yüzey alanı
F'	Güneş kolektörü etkinlik faktörü
U_L	Toplam kolektör kayıpları
F_R	Güneş kolektörü ısı taşınım katsayısı
h_w	Güneş kolektöründe rüzgardan dolayı meydana gelen ısı kayıp katsayısı
h_r	Güneş kolektöründe radyasyonla meydana gelen ısı kayıp katsayısı
h_c	Güneş kolektöründe konduksiyonla meydana gelen ısı kayıp katsayısı
σ	Boltzmann Sabiti
Re	Reynolds Sayısı
Nu	Nusselt Sayısı
ρ_{hava}	Havanın yoğunluğu
D_i	Kolektördeki ısı taşıyıcı akışkanın bulunduğu borunun iç çapı
μ_{hava}	Havanın dinamik viskozitesi
$h_r, c \rightarrow a$	Güneş kolektöründe ısıtıcı akışkanın dolaştığı borunun yüzeyinden ortama olan radyasyonla ısı kayıp katsayısı
$h_r, r \rightarrow c$	Güneş kolektöründe ısıtıcı akışkanın dolaştığı boru ile cam yüzey arasındaki radyasyonla meydana gelen ısı kayıp katsayısı
T_g	Cam kaplama yüzeyin sıcaklığı
Q_u	Kolektör yüzeyinden elde edilen güç
D_0	Alıcı borunun dış çapı
D_g	Alıcı borunun dışındaki cam kaplamanın çapı
q_u'	Birim kolektör uzunluğu başına elde edilen faydalı enerji

η_0	Kolektör verimi
A_d	Yer değiştirici kolon kesit alanı
ρ	Sıvı yoğunluğu
g	Yer çekimi ivmesi
ω	Açısal hız
f	Sistem frekansı
D	Yer değiştirici kolon çapı
A_t	Ayarlama kolonu kesit alanı
L_t	Ayarlama kolonu uzunluğu
V_m	Sıvı pistonlu Stirling motoru çalışma gazının ortalama hacmi
P_m	Sıvı pistonlu Stirling motoru çalışma gazı ortalama basıncı
ΔP	Sıvı pistonlu Stirling motorunun çalışma gazının toplam basınç değişimi
γ	Çalışma gazının ısıl oranı
V_i	Sıvı pistonlu Stirling motorunda çalışma gazının izotermal hacmi
V_a	Sıvı pistonlu Stirling motorunda çalışma gazının adyabatik hacmi
W_0	Stirling motorlarında güç ifadesi
V_e	Stirling motorlarında yer değiştirici kolonun sıcak soğuk taraflarının her bir yüzeyindeki süpürme hacmi
θ	Stirling motorlarında faz açısı
T_e	Yer değiştirici kolonun sıcak kısmının sıcaklığı
T_c	Yer değiştirici kolonun soğuk kısmının sıcaklığı
B_n	Beale sayısı
W_{net}	Stirling motorlarında elde edilen net güç ifadesi
L_D	Yer değiştirici kolon uzunluğu
$\dot{V}$	Akışkanın hacimsel debisi
R_t	Ayarlama kolonunun yarıçapı
E_v	Viskoz akış kayıpları
E_k	Kinetik akış kayıpları
K	Akışkanın dolaştığı borulardaki genişleme daralma keskin dönüş gibi durumlardan dolayı meydana gelen kayıp katsayısı
Q	Pompalanacak suyun debisi
H	Pompalanacak suyun yüksekliği
V_s	Süpürme hacmi
V_D	Ölü hacim
V_r	Rejeneratörde bulunan çalışma gazının hacmi
V_h	Yer değiştirici kolonun sıcak kısmının çalışma gazı hacmi
V_c	Yer değiştirici kolonun soğuk kısmının hacmi
V_p	Pompalama kısmının hacmi

S_s	1 saatlik strok sayısı
V_T	Strok başına sistemden basılan suyun hacmi
a,b	Angström denklemi katsayıları
t/t_0	İzafi güneşlenme
I	Anlık güneş ışıınımı
r_t	Anlık güneş ışıınımının, aylık ortalama tüm güneş ışıınımına oranı
Q_d	Yatay düzleme gelen toplam direkt güneş ışıınımı
W	Yoğuşturulabilir su buharı miktarı
K_y	Yayılı ışıınım oranı
K_t	Berraklık indeksi
I_y	Aylık ortalama yayılı ışıınım
Q_y	Toplam yayılı ışıınım
r_y	Aylık ortalama yayılı ışıınımın, toplam yayılı ışıınıma oranı
I_d	Birim yatay düzleme gelen direkt ışıınım
I_y	Birim yatay düzleme gelen yayılı ışıınım
I_{ed}	Eğik düzleme gelen anlık ışıınım
R_d	Eğik düzleme gelen anlık ışıınımın, birim yatay düzleme gelen direkt ışıınıma oranı
I_{ey}	Eğik düzleme gelen anlık ışıınım
I_{ya}	Eğik düzleme yayılarak gelen anlık ışıınım
I_e	Eğik düzleme gelen toplam ışıınım
R	Anlık güneş ışıınımının, eğik düzleme gelen anlık ışıınıma oranı
$\tau\alpha$	Yutma geçirme katsayısı
$\dot{m}_{ısıtıcı}$	Isı transfer akışkanı debisi
$c_{ısıtıcı}$	Isı transfer akışkanı ısı sığası
ΔT	Isı transfer akışkanı, kolektör giriş çıkış sıcaklık farkı
W_{net}	Pompanın hidrolik gücü
W_0	Sıvı pistonlu Stirling Motoru çıkış gücü
V_l	Isıtıcı kısım hacmi
α_y	Güneş yükseklik açısı
de	Denklinasyon açısı
h_{GSA}	Güneşsel saat açısı
h_{GD}	Güneşsel doğuş açısı
h_{GB}	Güneşsel batış açısı
H_a	Saat açısı
se	Yerel enlem
TS	Memleket saati
B_y	Yerel boylam
ZD	Zaman düzeltmeni

t_g	Gün uzunluğu
a_g	Azimet açısı
z	Zenith açısı
θ_g	Güneş ışıının geliş açısı
I_0	Atmosfer dışına gelen güneş ışıını
I_{GS}	Güneş Sabiti
F	Güneş ışıını düzeltme faktörü
Q_g	Aylık ortalama tüm güneş ışıını
Q_0	Bulutsuz günde elde edilen tüm güneş ışıını

1.GİRİŞ

Sürekli gelişmekte olan teknolojiyle birlikte insanoğlunun enerjiye olan ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Fosil yakıtlar enerji ihtiyacımızı şu an için karşılamaktadır. Fakat acil önlemler alınmazsa insanoğlunun gelecek yıllarda enerji darboğazına gireceği özellikle, 21. Yüzyılın son çeyreğinde sıklıkla bahsedilen konuların başında gelmektedir. Bilindiği gibi geçen bir iki yıl içerisinde fosil yakıtların en önemlisi olan petrolün fiyatları yüzyılın en yüksek değerine ulaşmıştır (Anonim, 2008).

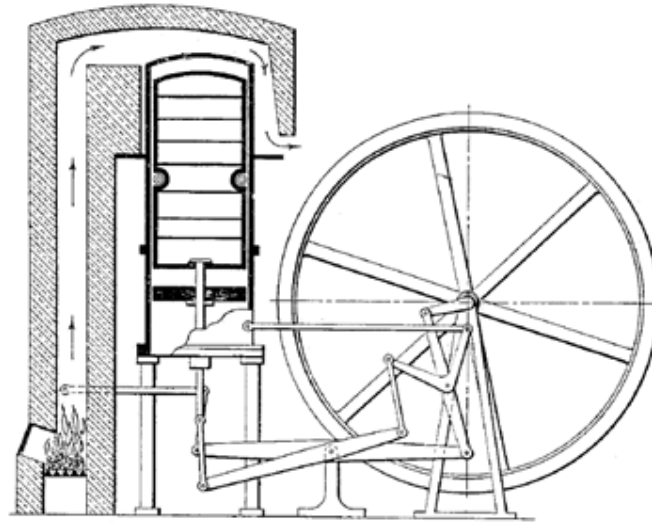
Enerji kaynakları açısından her konuda dışa bağımlı olan ülkemizde enerji probleminin çözümü için çalışmalar vardır, fakat yeterli değildir. Bilindiği gibi ülkemiz petrol, doğalgaz gibi hayati önem taşıyan enerji kaynaklarını dış ülkelere almaktadır. Bu aldığımız ürünler elektrik üretiminde, ısınmada ve daha birçok hayati önem taşıyan sektörlerde kullanılmaktadır. Bilinçsiz tüketim de bunlara eklenince ülkemiz için gelecek yıllar enerji açısından çok fazla iç açıcı görülmemektedir. Ülkemiz, yerli, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji ihtiyacının önemli bir kısmını karşılayabilecek bir potansiyele sahip olmasına karşın henüz bu kaynaklar mevcut potansiyelin çok altında değerlendirilmektedir. Bu kaynaklarımızın hızla geliştirilmesi beklentisine karşın 2030 yılında bile birincil enerji arzımıza yaklaşık olarak %5 oranında katkı yapması beklenmektedir. Son yıllarda elektrik üretimimizde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında ciddi artışlar meydana gelmemiştir (Anonim, 2008) .

Yukarıda bahsi geçen problemlerin çözüm yöntemlerinden bir tanesinin de Stirling Motoru olabileceği düşünülmektedir.

Stirling motoru ilk olarak İskoç rahip Robert Stirling tarafından 1816 yılında diesel çevrimli motorun yapılmasından yaklaşık olarak 90 yıl önce imal edilmiştir. Üretildiği yıllar için büyük bir gelişme olarak görülmektedir. Stirling motoru dıştan yanma prensibine göre çalışmaktadır (Thombare ve Verma, 2006).

Isı verebilen veya ısıya dönüştürülebilen her türlü enerji kaynağı ile çalışan Stirling motoru, hareket makinesi, ısı makinesi, ısı pompası, basınç makinesi gibi uygulamalarda alternatif olarak düşünülebilir. Enerji krizi ve çevresel faktörler göz önünde bulundurulursa, Stirling motorunun geliştirilmesi ile bu bahsi geçen problemlere çözüm getirilmesi beklenmektedir.

Tam kapalı tip Stirling motorlarının yapılması ile motorda farklı çalışma gazları kullanma ve aynı zamanda motor yüksek basınçlarda çalışma gazı ile doldurularak daha küçük hacimli motorlardan daha yüksek güç elde etme imkanı ortaya çıkmıştır. Özellikle Helyum ve Hidrojen gibi ısı depolama kapasiteleri havaya göre çok yüksek olan gazların kullanımıyla Stirling motoru güç çıkışında önemli gelişmeler kaydedilmiştir (Yücesu, 1994; Yay; 1995).

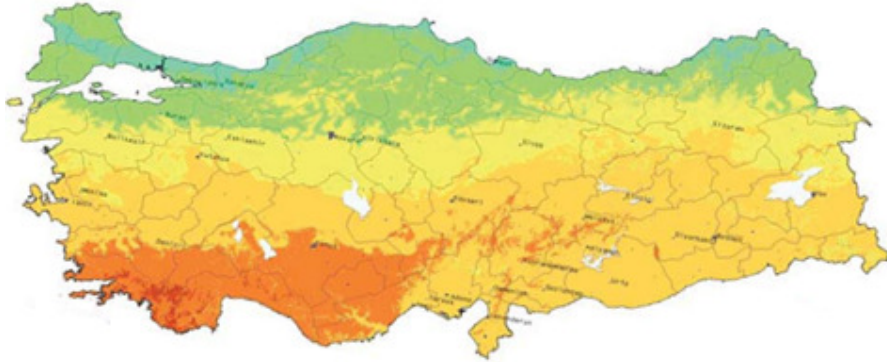


Şekil 1.1. Patenti alınmış ilk Stirling motoru (Finkelstein ve Organ, 2001)

Stirling motorunda kullanılabilecek en uygun ısı enerjisi güneş enerjisinden elde edilen ısı olabilir. Güneşin yaydığı ve dünyamıza da ulaşan enerji, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ısıdır. Füzyon ise; 2 adet hidrojen atomunun yüksek sıcaklıkta birleşmesi ile helyum atomunun oluşması

ile sonuçlanan termo-nükleer bir olay olarak tarif edilmektedir. Güneşte saniyede 564 milyon ton hidrojen 560 milyon ton helyuma dönüşmektedir. Bu dönüşüm sırasında yok olan 4 milyon ton madde $3,26 \cdot 10^{26}$ J kadar olan kısmı enerji ışıınımı olarak uzaya yayılmaktadır. Dünyanın yörüngesi üzerinde, uzayda, birim alana ulaşan güneş ışınları, güneşe dik bir yüzey üzerinde ölçüldükleri zaman $1,366 \text{ W/m}^2$ 'dir. Bu değer güneş enerjisi sabiti olarak da bilinmektedir. Dünyaya bu ışıınının 0 ila 1100 W/m^2 'lik kadar olan kısmı ulaşmaktadır. Bu ışıının ile gelen enerjinin %50'lik kısmı yerküreye ulaşmakta ve bir kısmı da ısı olarak uzaya geri yansımaktadır (Varınca ve Gönüllü, 2006; Anonim, 2007).

Ülkemiz güneş enerjisi bakımından oldukça zengin bir ülkedir. Şekil 1.2.'de ülkemizin güneş haritası görülmektedir. Bu haritada mavi renk ile gösterilen bölgeler en düşük güneş enerjisinin elde edildiği bölgeleri, kırmızı renk ile gösterilenler ise en yoğun güneş enerjisinin elde edildiği bölgeleri göstermektedir (Alaçakır, 2008).



Şekil 1.2. Ülkemizin güneş radyasyonu haritası (Alaçakır, 2008)

Bu çalışmada, sıvı pistonlu Stirling motoru ile güneş enerjili bir su pompası tasarımı yapılmıştır. Sıvı pistonlu Stirling motorunun ısıtılması, tasarlanan parabolik oluklu güneş kolektörü ile sağlanmıştır. Sistemin, farklı basma yüksekliği ve debi değerleri için, ülkemizin farklı illerinde ve farklı zamanlarda çalıştırılabilmesi için gerekli değerleri hesaplayan bir bilgisayar programı yazılmıştır. Sistemin Isparta, Ankara ve

Antalya illerinde çalıştırılması için gerekli değerler hesaplanmıştır. Bilgisayar programının yazımı için Visual Basic programlama dili kullanılmıştır.

Bu çalışmada, tasarımıda kullanılan güneş enerjisi kolektörü olarak parabolik oluklu güneş kolektörünün seçilme sebebi, tasarım ve imalatının diğerlerine nazaran kolay olması ve istenilen çalışma sıcaklığı değerlerine ulaşılabilmesi için bu tip bir kolektörün gerekli olmasıdır.

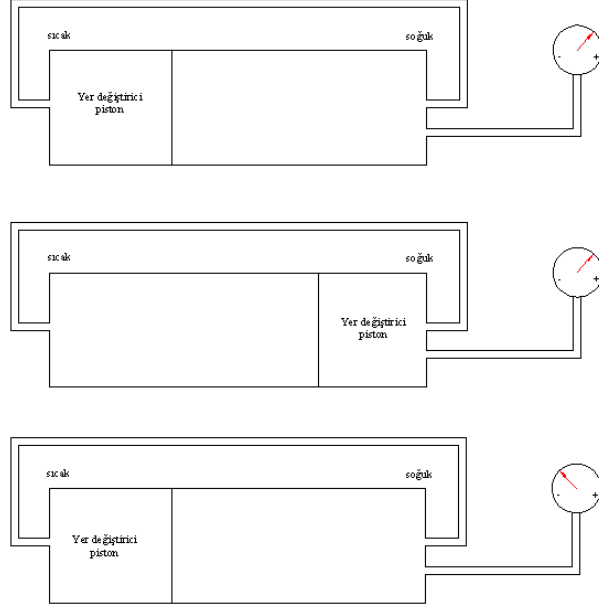
1.1. Sıvı Pistonlu Stirling Motorları

Sıvı pistonlu Stirling motorları çeşitli amaçlarda kullanılabilen, Stirling motorlarının ana felsefesi üzerine çalışan sıcak hava makineleridir. İçten yanmalı bir motor olmadığı için çeşitli sıcaklık reteleri ile kullanılabirler, yani kullanılabilen güç kaynakları diğer makinelere göre oldukça fazladır. Güç kaynakları olarak jeotermal enerji, güneş enerjisi örnek gösterilebilir. Çalışma akışkanı olarak genellikle hava kullanılmaktadır (West, 1983; West, 1984; West, 1987; Kyei-manu ve Obodoako, 2006)

Sıvı pistonlu stirling motorlarının genel çalışma prensibini kavrayabilmek için öncelikle, en genel halde Stirling motorlarının çalışma prensibinin anlaşılması gerekmektedir.

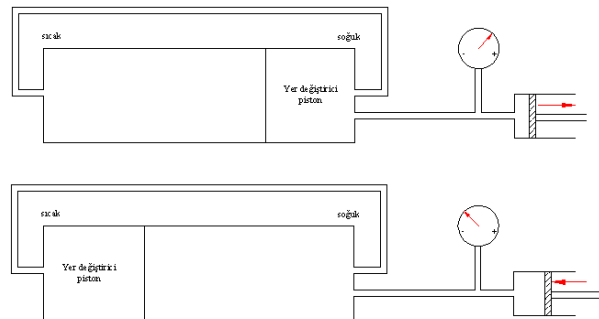
İdeal gaz yasasına göre, eğer bir gazın sıcaklığı arttırılırsa genişlemeye başlar, eğer bu ısıtılan gaz hapsedilmiş ise basıncı artma eğiliminde olur. şekil 1.3.'de Stirling motorunun genel çalışma prensibi görülmektedir. şekil 1.3.(a)'da, yer değiştirici piston ortada bulunmaktadır ve çalışma gazının yarısı sıcak kısımda, yarısı da soğuk kısımda bulunmaktadır. Sağ tarafta bulunan basınç göstergesi ortam koşullarındaki gazın basıncını göstermektedir. şekil 1.3.(b)'de piston, çalışma gazı sıcaklığının etkisi ile soğuk kısma doğru hareket etmiştir ve çalışma gazının tamamı sıcak kısımda bulunmaktadır. Çalışma gazının ortalama sıcaklığı ve basıncı artmış durumdadır. şekil 1.3.(c)'de, piston sıcak kısma doğru hareket etmiş ve çalışma gazı soğuk kısımda bulunmaktadır. Çalışma gazının basıncı ve ortalama sıcaklığı düşük durumdadır. Ortada bulunan pistonun görevi çalışma gazının sıcak ve soğuk

kısımlarda hareket etmesini sağlamaktır (Ulusoy, 1993; Ulusoy, 1994; Ulusoy, 2003; West, 1983).



Şekil 1.3. Stirling motoru genel çalışma prensibi

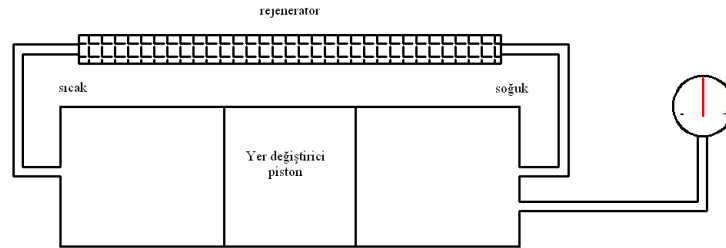
Şekil 1.4.'de yer değiştirici piston sayesinde basıncı yükseltlen çalışma gazından nasıl iş elde edilebileceği gösterilmektedir. Sağ tarafa eklenmiş pistonu iş pistonu denmektedir. Çalışma gazının basıncı yükseldiğinde sağ tarafta bulunan piston, çalışma gazının genişlemesi sayesinde iş üretmektedir. Bu elde edilen iş bir krank mili mekanizmasına ile çeşitli uygulamalarda kullanılabilir.



Şekil 1.4. İş pistonu eklenmiş Stirling motorunun genel çalışma prensibi

Çalışma gazının basıncının düşük olduğu durumda, yani yer değiştirici piston sıcak tarafta olduğu durumda iş pistonu ilk olduğu duruma geri döner. İş pistonunun ilk durumdaki pozisyonuna dönebilmesi için de bir işe ihtiyaç vardır, fakat ilk durumda üretilen iş miktarından daha az bir iş ihtiyacı olduğu için sistemden net iş elde edilmiş olur. Elde edilen iş pistonun kolundan herhangi bir yere aktarılabilir.

Pratik olarak imal edilen bu tip motorlarda bir diğer önemli cihaz da rejeneratör olarak adlandırılır. Rejeneratör, çalışma gazının sıcak ve soğuk taraflar arasında gidip gelmesi esnasında ısı tutarak sistemin verimini arttırmaktadır. Rejeneratör cihazı, içerisinde ısı tutma özelliğine sahip maddelerden yapılmaktadır. Rejeneratörsüz olarak çalıştırılan sistemlerde, sıcak kısımdan sıcaklığı yükselen ve soğuk kısma doğru akmakta olan çalışma gazı, bir fan veya su ile soğutulması gerekmektedir. Bu durum sistemin verimini düşürmektedir. Eğer aynı sistemde rejeneratör bulunursa, sıcak taraftan soğuk tarafa doğru hareket eden çalışma gazı, rejeneratör içinden geçerken sisteme ısı bırakacak ve geri dönüşünde bu bıraktığı ısıyı alacak ve böylelikle sistemin kayıpları minimuma indirilmiş olmaktadır. Stirling motorlarında rejeneratör etkinliği sistemin verimliliğini arttırıcı sebeplerin başında gelmektedir. Şekil 1.4.'deki sisteme rejeneratör eklenmesiyle oluşan sistem Şekil 1.5.'de görülmektedir (West, 1983).

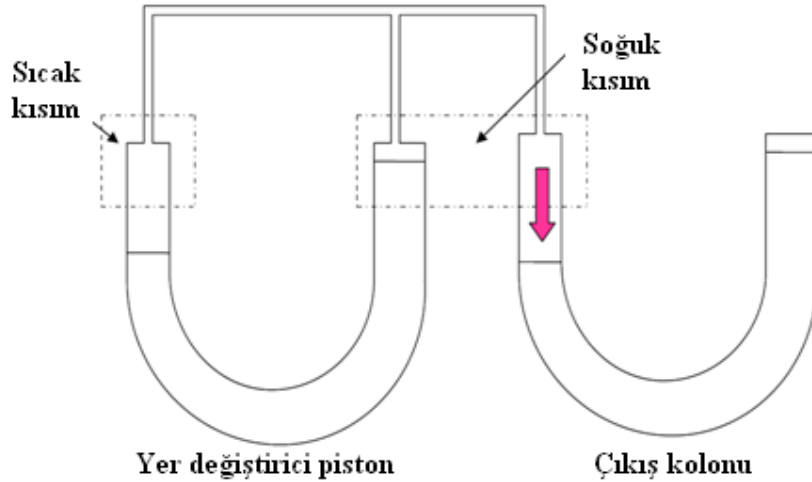


Şekil 1.5. Rejeneratör eklenmiş şematik stirling motoru

Sıvı pistonlu stirling motorunun genel işleyişi Şekil 1.6. ve Şekil 1.7. ve Şekil 1.8.'de görülmektedir. Bu tip sistemleri diğer stirling motorlarından ayıran en büyük özellik, mekanik olarak düzenlenmiş pistonların yerini sıvı pistonların almasıdır. Şekil 1.6.'da, sol kısımda görülen U tüp, yer değiştirici sıvı pistonu olarak adlandırılır. Şekil 1.6.'da, sağ kısımda görülen U tüp ise çıkış kolunu veya iş kolunu olarak

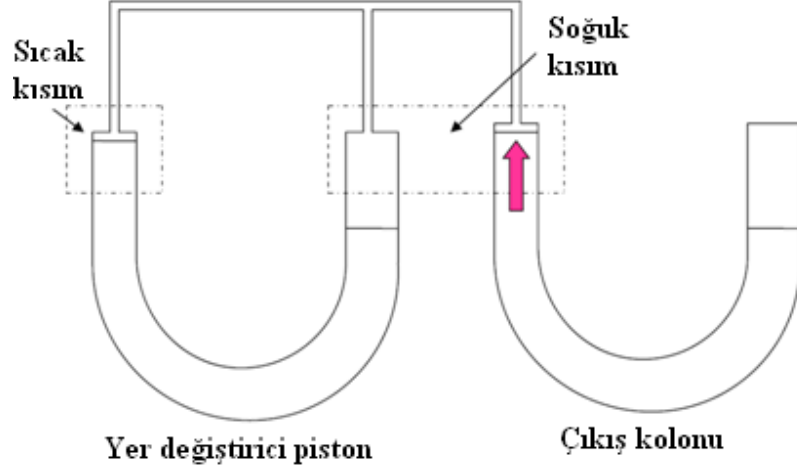
bilinen, bir tarafı atmosfere açık olan sıvı pistondur. Geleneksel Stirling motorlarında bu tip motorlara gama tip Stirling motoru adı verilmektedir (West, 1983; Kyei-manu ve Obodoako, 2006).

Sıvı pistonlu Stirling motorlarında, yer değıştirci piston içerisindeki sıvı, dışarıdan verilen sıcaklık ile genişleyen çalışma gazının hacminin artması sayesinde salınmaya başladığında çevrimin bir yerinde, sıcak tarafta bulunan çalışma gazı alt ölü noktada iken, sağ tarafta bulunan soğuk çalışma gazı üst ölü noktada olacak şekilde sıvı sütunları çakışır. Bu çakışma sayesinde sistemde bulunan çalışma gazı olan havanın büyük bir kısmı sıcak tarafta bulunmaktadır. Bu durum Şekil 1.6.'da görülmektedir. Çalışma gazının büyük bir kısmının sıcak kısımda bulunmasından dolayı basıncı artar ve artan basıncın karşılanabilmesi için sistemdeki hava, hacim genişlemesine maruz kalmaktadır. Bu şekilde sağ tarafta bulunan çıkış kolonunda güç oluşur. Bu güç çeşitli şekillerde kullanılabilir. Bu tip sistemlerde genellikle su pompalama amaçlı olarak kullanılmaktadır. Su pompalama amaçlı kullanılan Şekil 1.6.'daki gibi sistemlerde, bu durum basma stroku olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 1.6. Sıvı pistonlu Stirling motoru basma stroku (Kyei-manu ve Obodoako, 2006)

Yer değiştirici sıvı pistonu içerisindeki sıvı, geri salınmasından dolayı soğuk kısımdaki sıvı üst ölü noktada olur. Bu durum şekil 1.7.'de gösterilmiştir. Bu durumda, çalışma gazının büyük kısmı, soğuk kısımda olur ve düşük sıcaklıktan dolayı basıncı düşer ve çıkış tüpündeki su sütunu sağ taraftan sol tarafa doğru gelir. Böylelikle pompalamak için gerekli güç elde edilmiş olacaktır (Kyei-manu ve Obodoako, 2006).



şekil 1.7. Sıvı pistonlu stirling motoru emme strokunda (Kyei-manu ve Obodoako, 2006)

Sıvı pistonlu stirling motorlarının en önemli avantajı karmaşık mekanik yapısının bulunmamasıdır. Sıvı pistonlu stirling motorlarının diğer büyük avantajlarından biri de sessiz olarak çalışması gösterilebilir. Diğer tipteki pompa olarak kullanılan stirling motorları mekanik pistonlar içerdiği için sıvı pistonlu stirling motorlarına göre daha fazla gürültü çıkararak çalışmaktadırlar. Sıvı pistonlu stirling motorlarının en büyük dezavantajlarından biri olan sıvı viskozitesi, bu tip makinelerde verimin epeyce düşmesine yol açmaktadır.

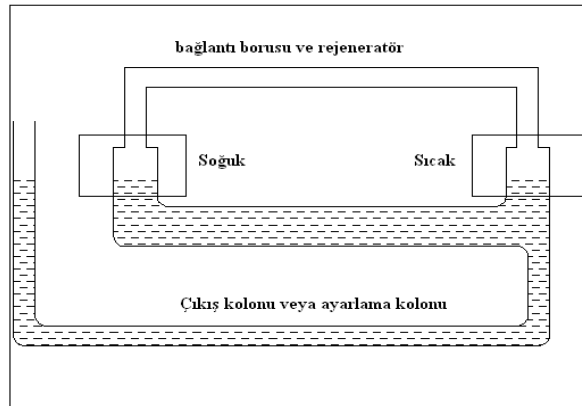
Sıvı pistonlu stirling motorlarında verim, %3 ila %6 civarında olmaktadır. Verimlerinin düşük olmasına rağmen, güneş enerjisi uygulamaları ile kullanılabilmesi ve yılın çoğu zamanında güneş enerjisinin bol miktarda elde edilebildiği bölgelerde kullanılabilmesi, veriminin düşük olmasının dezavantaj olmasını engellemektedir.

Sıvı pistonlu stirling motorlarının en büyük avantajlarından bir diğeri de mekanik olarak tasarımının basit ve tasarım şartlarının esnek olmasıdır. Diğer Stirling motorları gibi ısı pompası ve soğutucu olarak kullanılmasının yanında en yaygın olarak kullanıldığı alan su pompalamadır (Kyei-manu ve Obodoako, 2006).

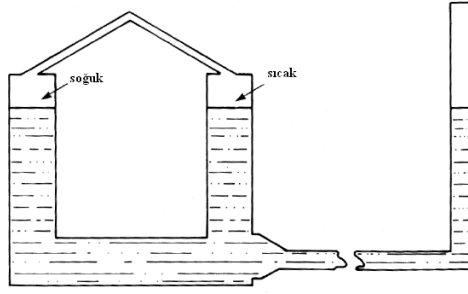
1.1.1. Sıvı pistonlu Stirling motoru çeşitleri

1.1.1.1. Geri beslemeli sıvı pistonlu Stirling motoru

Tasarımı basit ve yaygın olarak kullanılmakta olan sıvı pistonlu Stirling motorlarına örnek, Şekil 1.8.'de görülmektedir. Şekil 1.8.'de, çıkış kolonu sıcak kısmın bittiği yere bağlanmış olarak bulunmaktadır. Şekil 1.9'da görüldüğü bağlanırsa sistem çalışmayabilir. Çünkü esas olan güç sıcak kolonun hareketinden kaynaklanmakta ve motoru hareket ettirmektedir. Bu tip motorlarda sıcak ve soğuk kısımda bulunan sıvı yüzeylerinde bulunan basınç değişimi eşit olmakla birlikte bağlantı borusu ve rejeneratörde meydana gelen basınç değişimi ihmal edilebilmektedir. Şekil 1.9.'da, Sıcak kısımda bulunan sıvının kütlesi, soğuk kısımda bulunan sıvı kütlesine göre daha azdır. Bu sebepten dolayı basınç değişimlerine sıcak kısım daha çabuk tepki verir ve harekete geçmesi soğuk kısımdan daha kolay olmaktadır (West, 1983; West, 1987).



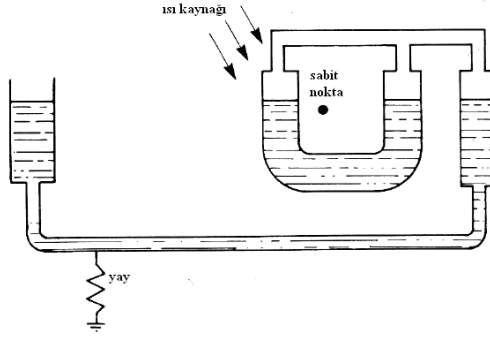
Şekil 1.8. Geri beslemeli sıvı pistonlu Stirling motoru (West,1983)



Şekil 1.9. Çıkış kolonu sisteme soğuk kısım doğrultusunda bağlanmış geri beslemeli sıvı pistonlu Stirling motoru (West,1983)

1.1.1.2. Eksenel olarak salınan yer değiştiricili sıvı pistonlu Stirling motorları

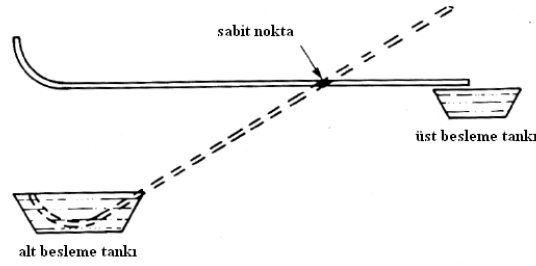
Bu tip motorlara, hareketli yer değiştirici pistonu sahip motorlarda denir. Eksenel olarak salınan yer değiştiricili sıvı pistonlu Stirling motorlarının yer değiştirici pistonlarının bulunduğu kısım, bir noktadan sabitlenmiştir. Bu tip motorların şematik gösterimi Şekil 1.10.'da verilmektedir. Yer değiştirici piston, bir noktadan sabitlenmiş bir ekseninde hareket edebilmektedir. Çıkış kolunda ise, statik sürtünme ve kayıpları ihmal edilmiş bir yay tarafından, denge şartı gerçekleştirilmektedir.



Şekil 1.10. Eksenel olarak salınan yer değiştiricili sıvı pistonlu Stirling motoru (West, 1983)

Yayın bulunduğu kısım, yukarı aşağı hareket etmeye başlayınca denge şartından dolayı, yer değiştirici piston içerisindeki sıvı da salınım hareketi yapmaya başlayacaktır. Bu hareket, sistemin ısıtılması ile süreklilik kazanacaktır. Bu sistemin, yer değiştirici pistonun sabitlendiği noktaya ayrı bir mekanizmanın monte edilmesi ile sistemden elde edilen güç başka yerlerde kullanılabilecektir. Bu sistemden elde

edilen işin başka yerde kullanılmasına örnek Şekil 1.11.'de görülmektedir. (West, 1983).



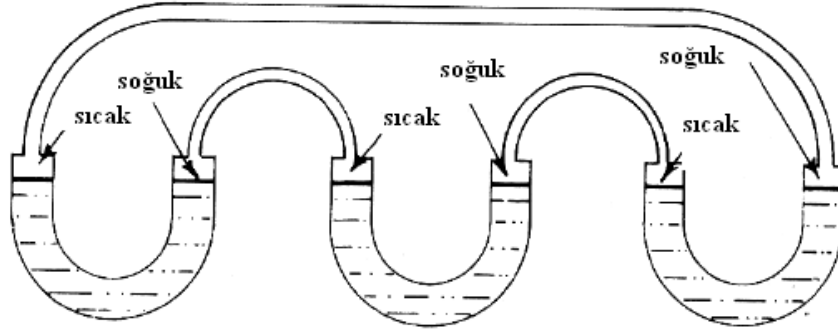
Şekil 1.11. Eksenel olarak hareket eden yer değiştiricili sıvı pistonlu Stirling motoru ile su pompalama (West, 1983)

1.1.1.3. Birden fazla yer değiştirici kolona sahip sıvı pistonlu stirling motorları

Sıvı pistonlu stirling motorlarında, yer değiştirici piston içerisinde bulunan sıvının geri dönüşü için gerekli enerji, yer çekimi ile gerçekleşmektedir ve sistemin frekansı yer değiştirici piston içerisindeki sıvı sütununun uzunluğu ve kesit alanına bağlıdır. Sistem içerisindeki basınç değişiminin yer değiştirici piston içerisindeki sıvının frekansına etki etmesi söz konusu değildir. Çünkü çalışma gazında meydana gelen basınç değişimleri yer değiştirici piston içerisindeki sıvıya her iki kolda da eşit miktarda etki etmektedir.

Çıkış pistonundaki sıvının hareketinde ise sadece yer çekimi ivmesi etkili değildir. Çünkü sistem içerisinde bulunan çalışma gazının genişleyip sıkışması, çıkış kolonunda, sıvının bir yüzeyine etki etmektedir. Bu durum çıkış kolonunun yer değiştirici pistondan uzun olmasını gerektirmektedir. Çıkış pistonu ile yer değiştirici pistonun frekanslarının eşit olması, sistem için fayda sağlayacaktır.

Birden fazla yer değiştiricili pistonu sahip sıvı pistonlu Stirling motorlarında oluşan kuvvetler, hem basınç değişimlerinden hem de yer çekimi ivmesinden kaynaklanmaktadır. Bu tarz motorlarda küçük bir basınç değişimi birleşerek büyük hacimsel değişimlere yol açar. Bu tip motorlara örnek Şekil 1.12.'de gösterilmiştir (West, 1983).

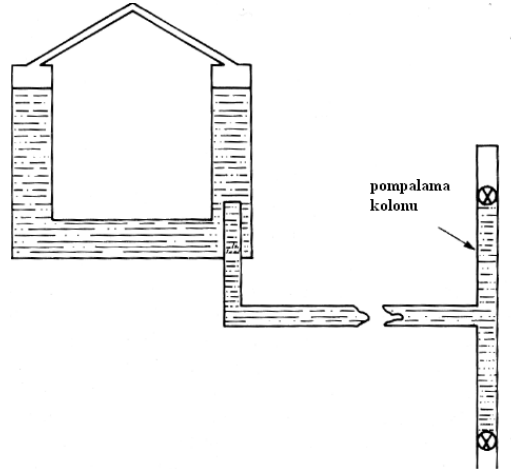


Şekil 1.12. Birden fazla yer değiştirici kolona sahip sıvı pistonlu Stirling motorları (West, 1983)

1.1.2. Sıvı pistonlu Stirling motorlarında pompa dizaynları

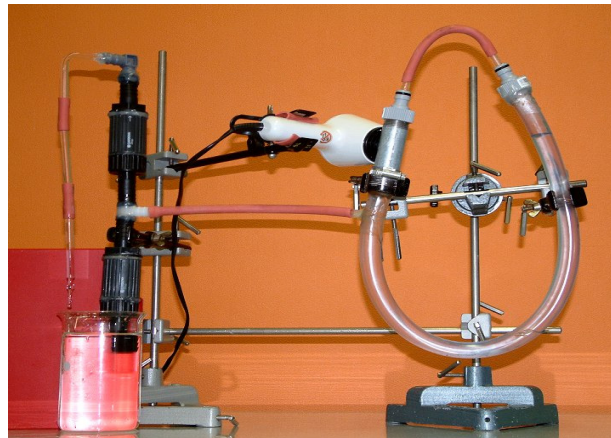
Sıvı pistonlu stirling motorlarından elde edilen güç, çeşitli şekillerde kullanılabilir. Güç çıkışının olduğu kısma bir piston bağlanması ile pistondan elde edilen güç bir krank mekanizmasına aktarılabilir. Bu tarz motorlarda elde edilen güç daha çok su pompalamada kullanılabilir. Sistemde, değişik dış ısı kaynaklarından faydalanılabilir olması, kullanım yerleri açısından büyük esneklik sağlar. Bu tarz pompalar, tarımsal sulama amaçlı olarak kullanılabilir. Bu tip sistemlere jeotermal enerjisi, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının adaptasyonu sağlanabilmektedir.

Sıvı pistonlu Stirling motorunun pompa olarak kullanılabilmesi için farklı yollar bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi, çıkış kolonuna bir T parçası ve bu parçaların atmosfere açık kısımlarına çek valfler eklemek suretiyle uygulanan pompalardır. Bu tip motorlarda, altta bulunan çek valften suyun emilebilmesi için motor içerisindeki basıncın düşük olması gerekir. Aynı şekilde, üstte bulunan çek valften suyun basılabilmesi için motor içerisindeki basıncın atmosfer basıncından yüksek olması gerekmektedir. Bu tip sıvı pistonlu Stirling motorlarında pompa uygulamasına ait örnek şematik gösterim, Şekil 1.13.'de görülmektedir (West, 1983)



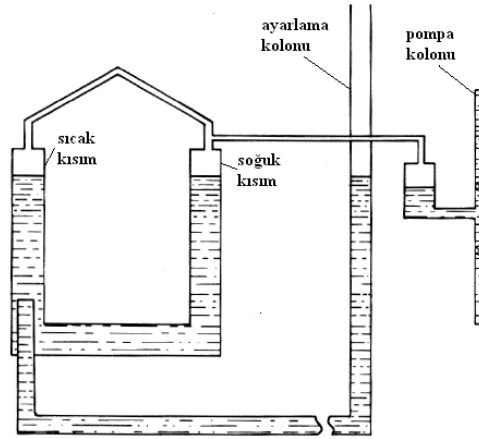
Şekil 1.13. Çıkış koluna direk olarak pompa kolu bağlanmış sistem (West, 1983)

Bu tipdeki sıvı pistonlu Stirling motorlu su pompası pratikteki uygulamaları oldukça fazladır. Bu uygulamalardan bir tanesi de Şekil 1.14.'de görülmektedir. Bu sistem geri beslemeli sıvı pistonlu Stirling motoru prensiplerine göre imal edilmiş bir pompadır. Sistemde ısıtıcı olarak basit bir sıcak hava tabancası kullanılmıştır. Sistemde rejeneratör ve soğutucu olarak kullanılan herhangi bir aygıt bulunmamaktadır. Yer değiştirici piston olarak PVC bir hortum bulunmaktadır. Bağlantılar ve düzenekteki tüm parçalar PVC olarak kullanılmıştır



Şekil 1.14. Geri beslemeli sıvı pistonlu Stirling motorlu pompa (Anonim, 2010)

Sıvı pistonlu Stirling motorlu su pompası tasarımına bir diğer örnek, pompalama pistonu ile çıkış pistonunun, tamamen birbirinden ayrıldığı gaz birleşimli sıvı pistonlu Stirling motorlu su pompasıdır. Şekil 1.14.'de olduğu gibi bu sistemde de, çalışma gazı, sıcaklık kaynaklı basınç değişimlerini kullanarak çalışmaktadır. Çalışma gazının basıncı yükseldiğinde, üst taraftaki çek valften su dışarı akmaktadır. Aynı şekilde, basınç düşük olduğu zaman alt taraftaki çek valften sıvı emilmektedir. Şekil 1.15.'de, bu anlatılan tipte çalışan sıvı pistonlu Stirling motorlu su pompası görülmektedir.



Şekil 1.15. Gaz birleşimli sıvı pistonlu Stirling motorlu su pompası (West, 1983)

1.2. Güneş Enerjisi Kolektörleri

Güneş kolektörleri, güneş enerjili sistemlerin en önemli parçalarıdır. Güneşten aldığı radyasyon enerjisini absorbe ederek ısı enerjisine çevirmekte ve içerisindeki dolaşımda bulunan akışkana ısı enerjisi olarak transfer etmektedirler. Kolektör içerisinde dolaşımda bulunan ısı transfer akışkanı, genel olarak, yağ, hava veya su olmaktadır. Bu elde edilen ısı enerjisi kullanımına göre çeşitli şekillerde değerlendirilebilmektedir. Mesela ülkemizde, evlerin sıcak su ihtiyacını gidermek için ısı enerjisi su ısıtmada çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Güneş kolektörlerini basit olarak iki gruba toplayabilmektedir. Birinci grubu sabit kolektörler, ikinci grubu ise konsantre yani odaklı kolektörler oluşturmaktadır. Birinci gruptaki kolektörler güneşten gelen ışınları yüzeylerinde tutmaktadırlar.

İkinci grup kolektörler ise konkav yüzeylerine gelen ışınları yansıtarak bir noktada birleştirip yüksek sıcaklık elde etmekte kullanılmaktadırlar.

Güneş kolektörlerinin kullanım alanlarının ayırt edilmesindeki bir diğer yöntem de konsantrasyon oranı olarak tanımlanmaktadır. Konsantrasyon oranı bir başka deyişle alansal odaklama oranı; yansıtıcı yüzey kesit alanının alıcı yüzey kesit alanına bölünmesi ile elde edilmektedir. Bu oran büyüdükçe elde edilen sıcaklık değerleri artış göstermektedir. En düşük alansal odaklama oranı düz levhali kolektörlerde, en yüksek odaklama oranı ise heliostat sistemlerde elde edilebilmektedir. Güneş enerjisi kolektörleri ile ilgili detaylı bilgiler Çizelge 1.1.'de görülmektedir (Öztürk, 2008; O'Galagher, 2008; Soteris, 2009).

Çizelge 1.1. Güneş kolektörlerinin sınıflandırılması (Soteris, 2009)

Hareket Durumu	Kolektör tipi	Yutucu Tipi	Konstrasyon Oranı	Sıcaklık Aralığı(°C)
Sabit	Düz levha	düz	1	30-80
	Vakum tüplü	düz	1	50-200
	Karışık parabolik kolektör	borulu	1...5	60-240
tek eksenli izleyicili			5...15	60-300
	Fresnel sistemli	borulu	10...40	60-250
	Silindirik oluk	borulu	15...50	60-300
	Parabolik oluk	borulu	10...85	60-400
iki eksenli izleyicili	Parabolik çanak yansıtıcı	noktasal	600...2000	100-1500
	Heliostat sistemler	noktasal	300...1500	150-2000

1.2.1. Sabit güneş kolektörleri

Bu tipteki kolektörler güneş ışığının en yoğun geldiği açıya göre sabitlenmiş ve güneşi takip etmeyen güneş kolektörleridir. Bu tipteki kolektörler üç ana gruba ayrılmaktadırlar.

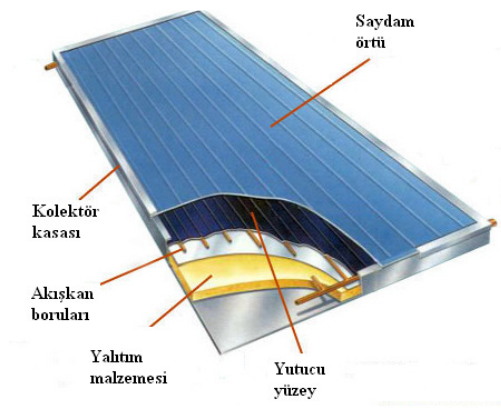
1- Düz levhali kolektörler

2- Vakum tüplü kolektörler

3- Karışık parabolik kolektörler (Soteris, 2009)

1.2.1.1. Düz levhalı kolektörler

Şekil 1.16'da düz levhalı kolektör görülmektedir. Güneş ışığı saydam örtüden geçerek yutucu yüzeye geldiğinde, gelen güneş ışınımının büyük bir kısmı yutucu yüzey tarafından tutularak ısı taşıyıcı akışkanına transfer edilmektedir. Yutucu plaka, iletim kaybını en aza indirmek için izolasyon malzemesi ile kaplanmıştır.



Şekil 1.16. Düz levhalı güneş enerjisi kolektörü (Anonim, 2010)

Bu tip kolektörlerde, ısı transfer akışkanının ulaşabildiği maksimum sıcaklık derecesi, 80 derece civarında olmaktadır. Akış kanalları, yutucu plakanın tüm yüzeyini kaplayamamasından, yutucu plakadan iletim yoluyla akışkana ulaşmaktadır. Isı taşıyıcı borular, yutucu plaka üzerine aralıklarla yerleştiririler. Borular arasında kalan yutucu plaka yüzeyleri, borulara tutturulmuş kanatlar şeklinde görev yapmaktadırlar. Isı bu kanallardan borulara, borular da içlerinde ki sıvıyı (genellikle su) aktarılmaktadır. Yüksek ısı iletkenliği olan ve korozyondan etkilenmeyen bakır ve alüminyum, bu tip kolektörler için, iyi bir yutucu plaka malzemesidir.

Saydam örtünün esas görevi, toplayıcıdan çevreye taşınım ile olan ısı kaybını azaltmak ve yutucu yüzeyin yağmur, dolu ve toz gibi dış etkenlerden korumaktır. Güneşten gelen ışınım kısa dalga boyludur, yutucu yüzeyden yansıyan ve yayılan ışınım ise uzun dalga boyludur. Bu yüzeyden saydam örtünün; kısa dalga boylu

ışınımı geçirme oranının büyük, yutucu levhadan yayılan uzun dalga boylu ışıını da geçirme oranın küçük olması gerekmektedir. Ayrıca kullanılan örtü malzemesi yüksek geçirgenlik oranına sahip olmalı, yutma ve yansıtma oranları minimum olmalıdır.

Saydam örtü, güneş ışıının büyük bir kısmını geçirmeli, uzun dalga boyu olan ısı ışıını geçirmemeli, sıcaklık ile şekil değiştirmemeli, en az 100°C sıcaklığa dayanmalı, kolay kırılmamalı, aşınmamalı ve çizilmemeli, zamanla mor ötesi (ultraviyole) ışıından bozuşmamalı, hafif ve ucuz olmalıdır.

Yutucu yüzey güneş ışıını yutan ve ısıyı borulardaki akışkana ileten kısımdır. Yutucu yüzey malzemesi olarak genellikle bakır, alüminyum ve çelik kullanılmaktadır. Yutucu olarak seçilen malzemenin lehim ve kaynak gibi imalat özellikleri de önemlidir. (Öztürk, 2008; Soteris, 2009).

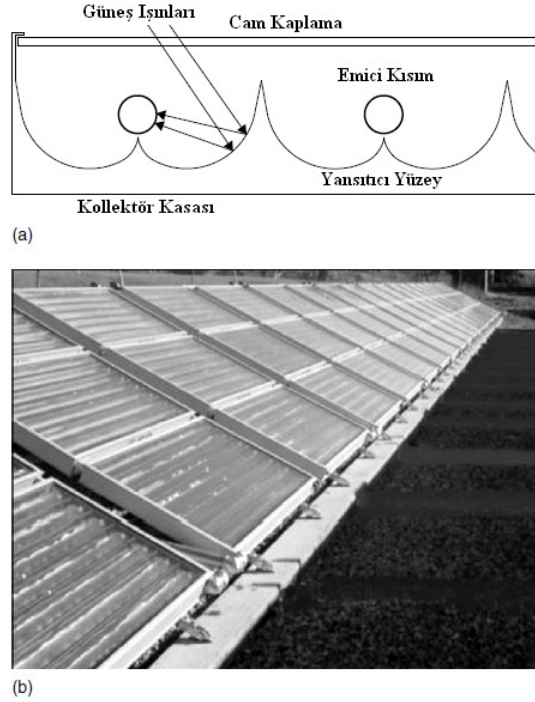
1.2.1.2. Vakum tüplü kolektörler

Vakum tüp teknolojisi bugün piyasada geleneksel emici kolektörlerden daha iyi performansa sahiptir. Bu gelişmiş tasarım, borosilicate cam (borcam) iki tabaka arasında bir vakum katman ile oluşur ve iç kısımda tüpler içermektedir. Bu vakum bir termos gibi, termal enerjinin % 93'e kadar koruyarak, daha yüksek bir verim elde etmektedir. Elde edilen bu termik enerji borular yardımı ile gerekli yerlere aktarılır. Yüksek verimlilik ile dairesel yapıları sayesinde güneş ışıını gün boyu dik açığa yakın bir açı ile alırlar. Tüplerin içerisinde bakır bir boru ile tüplerin soğurduğu güneş enerjisini manifolda iletirler (Öztürk, 2008; Soteris, 2009).

1.2.1.3. Karışık parabolik kolektörler

Karışık parabolik kolektörler gelen güneş ışıınlarını büyük ölçüde emici yüzeye yansıtan kolektörlerdir. Yüzeylerinde bulundurdıkları yansıtıcı yüzeyler sayesinde, parabolik açıklıktan gelen güneş ışıınlarını kolektörün alt kısmına yerleştirilen emici yüzeye aktarmaktadırlar. Emici yüzeyler, düz, kama, borulu, çift yüzeyli gibi çeşitli tiplerde olabilmektedir.

Karışık parabolik kolektörler, gelen güneş ışınının geniş açılarda yakalanmasını, yüzeylerinde bulundurdıkları yansıtıcı yüzey sayesinde sağlarlar. Yansıtıcı yüzey parabolik yüzeye yerleştirilmiştir. Bu yansıtıcı yüzeye gelen herhangi bir açıdaki güneş ışınları, yansıtıcı yüzeyin parabolik olmasından dolayı emici yüzeye aktarılmış olurlar. Şekil 1.17.'de, bu tip kolektörler için bir örnek gösterilmektedir (Soteris, 2009).



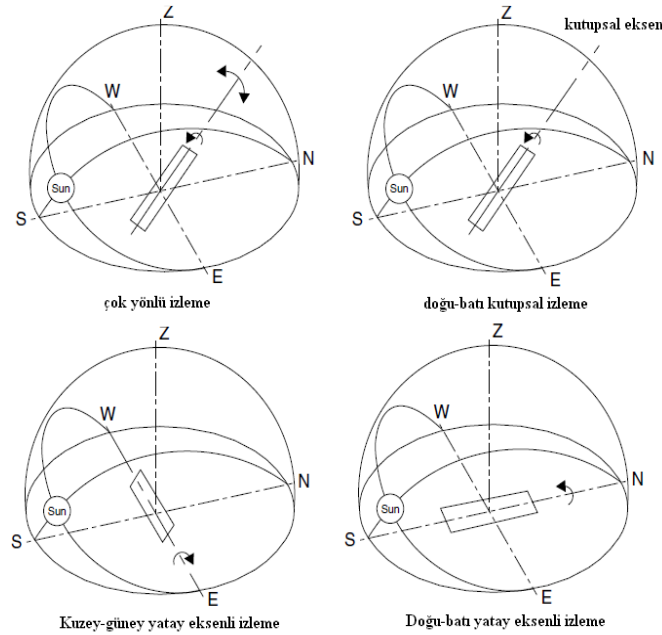
Şekil 1.17. (a) Bileşik parabolik kolektör şematik gösterimi (b) uygulaması (Soteris, 2009)

1.2.2. Güneş izleyicili odaklı güneş kolektörleri

Yüksek sıcaklık istenilen uygulamalarda kullanılan bu sistemler, güneş enerjisini bir noktaya veya bir yüzeye toplayıp yansıtan sistemlerdir. Bu sistem sayesinde ulaşılabilecek sıcaklık değerlerine, düz plakalı güneş kolektörleri ile ulaşmak nerede ise imkansızdır. Düz plakalı kolektörlerde, bu yüksek sıcaklık değerlerine ulaşabilmek için, çok fazla güneş ışınımını küçük bir yüzeye etki ettirmek gereklidir.

Güneş izleyicili odaklı güneş kolektörleri, birçok şekilde tasarımı olan sistemlerdir. Yansıtıcı yüzey parabolik veya silindirik, emici yüzeyler ise düz, silindirik, konveks veya konkav olabilmektedir. Emici yüzeylerin üst kısımları camla kaplanmış veya çıplak halde olabilmektedir. Bu tip sistemlerde, konsantrasyon oranı yüksektir. Konsantrasyon oranı, parabol açıklığı ile emici yüzey arasındaki oran olarak ifade edilmektedir. Konsantrasyon oranının fazla olması, yüksek sıcaklık elde edilmesini sağladığı gibi, bu konsantrasyon oranına çıkabilmek için sistemin optik olarak en uygun bir biçimde tasarlanmış ve konumlandırılmış olması gerekmektedir.

Güneş izleyicili odaklı güneş kolektörlerinde güneş takip mekanizması iki tipte imal edilmektedir. Şekil 1.18’de görüldüğü gibi, bunlar tek eksenli takip, çift eksenli takip olarak ifade edilmektedir. Tek eksenli takip mekanizmasında sistem, sadece doğu batı doğrultusunda hareket etmektedir. Çift eksenli sistemlerde ise güneş ışınlarının en yoğun olduğu yöne doğru sistem kendini hareket etmektedir.



Şekil 1.18. Güneş kolektörlerinde güneş takip sistemleri (Soteris, 2009)

Odaklı güneş enerjisi sistemler, aşağıdaki gibi gruplara ayrılmaktadır;

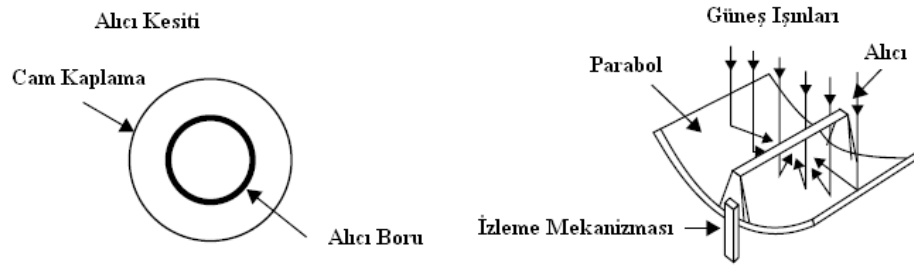
- 1- Parabolik oluklu kolektör
- 2- Fresnel yansıtıcılı

3- Parabolik çanak

4- Heliostat (Soteris, 2009).

1.2.2.1. Parabolik oluklu kolektörler

Güneş enerjili sistemlerde, yüksek sıcaklıklara ulaşabilmek için, performansı yüksek güneş enerjisi kolektörlerine ihtiyaç vardır. Parabolik oluklu kolektörler sayesinde, 400° sıcaklık mertebesine ulaşabilmektedir. Parabolik oluklu kolektörler, 50° – 400° sıcaklık aralığında verimli olarak çalışabilmektedirler. Parabolik oluklu kolektörler, yansıtıcı özelliğe sahip bir malzemeyi, parabolik şekilde bükülmesi ile imal edilmektedirler. Alıcı yüzey, odak hattına doğrusal bir şekilde yerleştirilmiş ve üzeri cam örtü ile kaplanmıştır. Parabolik yüzeye gelen güneş ışınları, parabolik yüzeyden paralel bir şekilde yansıyarak emici kısma gelmektedir. Odaklanmış güneş ışınları, alıcı yüzey tarafından emilerek, ısı enerjisi olarak çalışma akışkanına aktarılarak, yararlı ısı enerjisi elde edilmiş olmaktadır. Parabolik oluklu kolektörlerde, güneşi tek ekseninde izleme yeterli olabilmektedir. Parabolik oluklu kolektörlere ait şematik gösterim, Şekil 1.19.'da görülmektedir.



Şekil 1.19. Parabolik oluklu güneş kolektörü şematik gösterim (Soteris, 2009)

Parabolik oluklu kolektörler eğer doğu-batı ekseninde yerleştirilmişler ise güneş ışınlarını güney kuzey doğrultusunda izleyeceklerdir. Aynı bunun gibi eğer sistem güney kuzey doğrultusunda yerleştirilmiş ise güneş ışınlarını doğu batı doğrultusunda izleyeceklerdir.

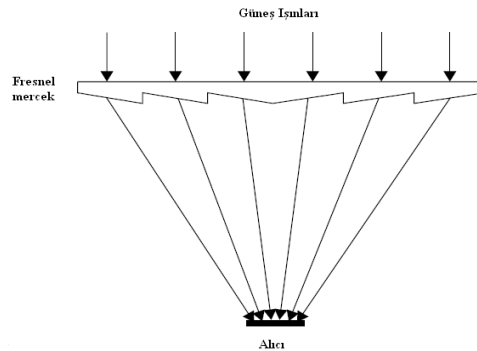
Parabolik oluklu güneş kolektörlerinde, alıcı boru üzeri cam kaplama ile kaplanmış durumdadır. Bu kaplama sayesinde, alıcı borudaki ısı kaybı azaltılmaya çalışılmaktadır. Yalnız alıcı boru üzerinde bulunan cam örtüden dolayı sistemden yansıyan ışınların tam olarak alıcı boruya ulaşması engellenmiş olacaktır. Alıcı boru ile cam örtü arasındaki ısı kaybını engellemek için iki malzeme arası vakumlanmış olarak yapılmaktadır. Parabolik oluklu kolektörlerde alıcı borunun uzunluğu genellikle 25 ile 100 metre arasında değişmektedir. Parabolik oluklu kolektör uygulaması Şekil 1.20.'de görülmektedir (O'Gallagher, 2008; Soteris 2009).



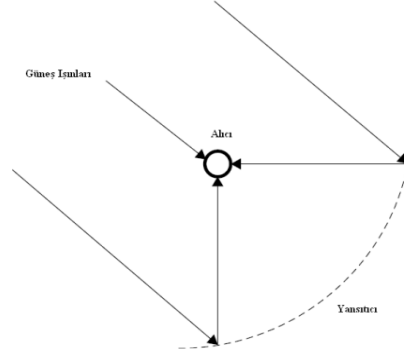
Şekil 1.20. Parabolik oluklu güneş kolektörü (Soteris, 2009)

1.2.2.2. Fresnel sistemi

Fresnel sistemi, iki ayrı çeşidi olan güneş enerjisinden faydalanma sistemidir. Bunlardan birincisi, fresnel mercekli sistem, ikincisi doğrusal fresnel yansıtıcı sistem olarak adlandırılmaktadır. Bunlara ait şematik gösterimi Şekil 1.21. ve 1.22.'de görülmektedir.

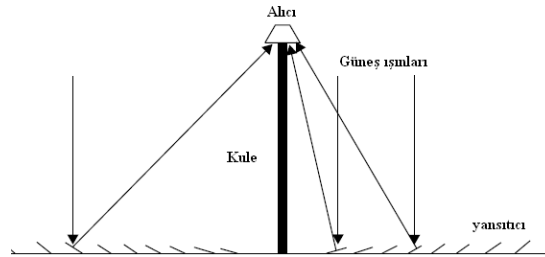


Şekil 1.21. Fresnel mercekli sistem (Soteris, 2009)



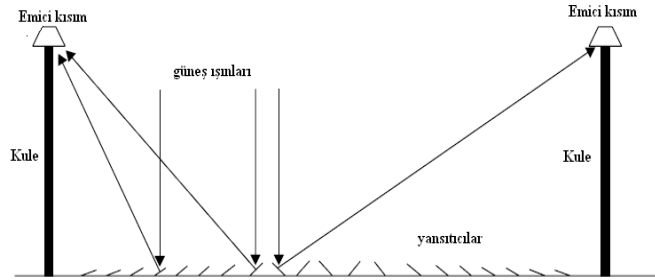
Şekil 1.22. Fresnel yansıtıcılı sistem (Soteris, 2009)

Fresnel mercekli güneş ışınları, herhangi bir malzemeden yapılmış toplayıcı özelliği olan merceğe gelmekte ve bir ışın demeti halinde alıcı yüzeyine yansıtılmaktadır. Fresnel yansıtıcılı sistemlerde ise güneş ışınları parabolik oluk kolektörlerdeki gibi yüzeyden alıcıya yansıtılmaktadır. Parabolik oluklu kolektörlerle, fresnel yansıtıcılı sistemlerin farkı, yansıtıcı yüzeyin parabolik olarak tasarlanma zorunluluğunun olmamasıdır. Bu sistemlerde, düz zemin üzerine yerleştirilmiş yansıtıcılar, güneş ışınlarını bir kuledeki emiciye odaklarlar. Bu sistemlerde, büyük ebatlı emiciler tasarlanabilir ve emicinin hareket etmesine gerek yoktur. Parabolik oluklu sistemlerden en büyük avantajı, bu sistemlerde kullanılan yansıtıcıların parabolik oluklu sistemdeki yansıtıcılardan, imalatının ve maliyetinin düşük olmasıdır. Diğer bir avantaj olarak, sistemin yansıtıcılarının düz zemin üzerine monte edilmesidir, bu da sistemin yapısal açıdan parabolik oluklu kolektörlere göre daha basit olmasını sağlamaktadır. Bu sistemin çalışması ile ilgili şematik gösterim Şekil 1.23.'de görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi, yerde bulunan yansıtıcılardan yansıyan ışınlar kuledeki emici kısmına odaklanmaktadır.



Şekil 1.23. Fresnel yansıtıcılı güneş enerjisi sistemi (Soteris, 2009)

Fresnel yansıtıcı sistemlerde dezavantaj olarak görülen diğer bir durumda, yansıtıcı yüzeylerin birbirlerini gölgelemeleridir. Yansıtıcı yüzeylerin birbirlerini gölgelemesini önlemek için yansıtıcılar birbirinden ayrı şekilde döşenmelidir. Bu durumda yer sıkıntısı oluşturmaktadır. Bu durum kule yüksekliğini arttırarak giderilebilir fakat bu da sistemin maliyetini arttırmaktadır. Bu istenmeyen durumu giderebilmek için iki ayrı emici kule tasarımı yapılabilmektedir. Bu sistem şematik olarak, Şekil 1.24.'de görülmektedir. (Öztürk, 2008; Soteris, 2009).



Şekil 1.24. Çift emicili fresnel yansıtıcı güneş enerjisi sistemi (Soteris, 2009)

Bu sistem prensibine dayalı olarak kurulmuş santral Şekil 1.25.'de görülmektedir.

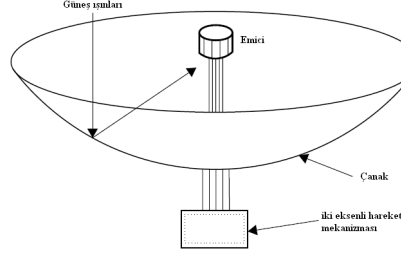


Şekil 1.25. Fresnel yansıtıcı sistem (Anonim, 2010)

1.2.2.3. Parabolik çanak yansıtıcılar

Parabolik çanak yansıtıcılar iki ekseninde de hareket yapabilen ve güneş ışınlarını çanak kısmının ortasında toplayan, odaklamayı noktasal olarak yapan sistemlerdir. Emici kısım, odaklanmış güneş ışınlarının sistem içerisindeki akışkana termal enerji

olarak aktarılmasını sağlamaktadır. Bu sistemler genellikle elektrik üretiminde kullanılmaktadırlar. Sistem, şematik olarak Şekil 1.26.'da görülmektedir.



Şekil 1.26. Parabolik çanak yansıtıcı şematik gösterimi (Soteris, 2009)

Parabolik çanak yansıtıcılarla çalışma akışkanına aktarılan termal enerji ile ulaşılabilecek sıcaklıklar 1500° üzerinde olabilmektedir. Parabolik çanak yansıtıcılar her zaman güneş ışınlarını tek noktaya en uygun güneşlenme açısında aldıklarından verimi en yüksek güneş enerjisi sistemleridir. Bu sistemler konsantrasyon oranı olarak 600 ila 2000 arasındaki rakamlara ulaştıkları için yüksek termal verime sahip sistemlerdir. Kolektör ve emici kısımları çeşitli malzemelerden yapılabildiklerinden malzeme seçiminde esnek koşullara sahiptirler. Bu sistemin resmi Şekil 1.27.'de görülmektedir (Soteris, 2009).



Şekil 1.27. Parabolik çanak yansıtıcı sistem (Soteris, 2009)

1.2.2.4. Heliostat sistemler

Çevresinde bulundurduğu yansıtıcı aynalar sayesinde güneş ışınlarını bir noktada toplayan sisteme heliostat sistemler denir. Bu sistemlere güneş tarlaları da denmektedir. Bu sistemlerde güneş ışınları tek bir noktaya odaklandıkları için, sadece odak noktasında enerji transferi gerçekleştiğinden, enerji transfer ekipmanlarının sadeliği noktasında üstünlükleri mevcuttur. Konsantrasyon oranları olarak 300 ila 1500 arasında olduklarından sistemin enerji verimliliği fazla olmaktadır. Termal enerji depolama açısından üstünlükleri bulunmaktadır. Elde edilen güç bakımından diğerlerine göre üstün olduğu için, sistemin, ekonomiklik açısından diğer sistemlere göre üstünlükleri mevcuttur. Heliostat sistemli güneş enerjisi santrali Şekil 1.29’da görülmektedir.



Şekil 1.29. Heliostat sistem (Soteris, 2009)

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Özcan (1997) yoğunlaştırıcı kolektörler hakkında araştırmalarda bulunmuş ve karışık parabolik yoğunlaştırıcının önemli özellikleri ve kullanım alanları üzerinde durarak, karışık parabolik yoğunlaştırıcının yoğunlaştırma oranı, ısı analizi ve verim hakkında formüller vermiştir. Yeryüzüne gelen güneş ışınları ile ilgili temel formüller de verilmiştir. Karışık parabolik yoğunlaştırıcı için İzmit iline göre Haziran ayı şartları için gerekli ısıtım miktarı ayrı ayrı bulunup, yoğunlaştırıcının faydalı ısı gücü ve verimi hesaplanmıştır. Karışık parabolik yoğunlaştırıcılarda sıcaklık arttıkça verim azaldığı görülmüştür.

Çolak (2003) güneşi takip eden oluk tipi güneş parabolik kolektörleri üzerine çalışmıştır. Çalışmada güneş ışınlarının çevresel özellikleri ve ısıma davranışları dikkate alınarak alıcı yüzey ve yansıtıcı yüzeyin analizleri yapılmıştır. Çalışmada imal edilen kolektörün lazer ışın test cihazı ile yapılan optik ölçümlerinde, çizgisel odak verimi %95 olarak belirlenmiştir.

Candeniz (2006) silindirik parabolik güneş toplayıcılarını incelemiştir. Ankara ili Haziran ayı şartları altında silindirik parabolik güneş toplayıcısı ele alınmıştır. Güneşi tek yönde takip eden bu toplayıcıya giren ısı transfer akışkanı olarak su kullanılmıştır. Sistem değerlendirilirken, gün sonu konut sıcak su ihtiyacı karşılanması amaçlanmış ve ihtiyaç duyulan depo suyu sıcaklığı 55-60 °C olarak ölçülmüştür.

Yılmaz (1989) çalışmasında 3 adet değişik tip parabolik yansıtıcı güneş kolektörü imal etmiştir. Isı transfer akışkanı olarak su kullanılmıştır. Su 100 lt'lik bir depoda toplanmış ve depo suyu sıcaklıkları incelenmiştir.

Özay (2008) çalışmasında dışarıdan ısı desteklemesi yaparak absorpsiyonlu sistemlerin verimliliğinin ve kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Isı desteklemesi silindirik parabolik güneş kolektörü ile yapmıştır. Silindirik parabolik güneş kolektörü sıcaklık ölçümleri yapmış, Isparta ilinde Temmuz ayı şartları için

gerekli aç ı ve ıs ınım hesapları yapılarak bulunan değerler tablolarda gösterilmiştir. Ayrıca kar ışık parabolik yoğunlaştırıc ının 90 °C al ıcı y zey sıcaklığı için faydal ı ıs ıl enerji ve verim hesab ı yapılmıştır.

West (1987) alışmasında, Stirling motoru g  çıkış denklemlerinin elde edilmesi üzerinde durmuş, farklı Stirling motoru tiplerinin su pompası olarak kullanımında, yapılan deneyler sonucu elde edilen, çalışma gaz ı bas ınc ı, frekans, hacim değişimi, genişleme ve sık ıştırma sıcaklıkları değerleri için elde edilen debi değerlerini tablolar halinde sunmuştur. Ayrıca sıv ı pistonlu Stirling motoru çıkış g  üzerinde durmuş, sabit genişleme ve sık ıştırma sıcaklıkları için, farklı yer değiştirici piston çapları ile elde edilebilecek maksimum debi ve bas ma y kseklikleri değerlerini tablo ve grafikler halinde sunmuştur.

West (1984) alışmasında, sıv ı pistonlu Stirling motorunun, genel çalışma prensibi ve eşitleri hakkında bilgiler vermiş, sistemde meydana gelen mekanik kay ıplar üzerinde durmuştur. Sıv ı pistonlu Stirling motorlarında kullanılan yer değiştirici piston içerisindeki sıv ı kolonunun minimum uzunluğunu hesaplamıştır.

West (1985) alışmada, sıv ı pistonlu Stirling motorlarının dinamik olarak analizini yapm ıř, yer değiştirici pistonun uzunluğu ve yer değiştirici piston içerisindeki sıv ı kolonunun, genişleme ve sık ıştırma kısımları sıcaklıkları ile değişimini denklemler halinde sunmuştur.

Kyei-Manu, Abodoako (2006) alışmalarında, 23 Watt g  nde ve %3.5 verime sahip sıv ı pistonlu Stirling motorlu pompa imal etmiş, çalışma gaz ı bas ınc ı değişiminin ölçümlerini yapm ıř ve grafik haline getirmiştir. Ayrıca, ıs ı değiştirgeci ve sıcak silindirdeki çalışma gaz ının sıcaklık değişimlerinin ölçümlerini yapm ıř ve grafik haline getirmiştir.

Yay (1995) alışmasında, Stirling motoru ile genel bilgiler vermiştir. Stirling motorunun gelişimi ve uygulamaları tablolar halinde sunmuştur. Termodinamik olarak farklı evrimleri Stirling evrimi ile kar şılaştırmıştır. Stirling motorunun

Çalışma prensibi incelenmiş diğerk tipteki motorlarla avantaj ve dezavantaj olarak karşılaştırarak tablolar halinde sunmuştur. Rhombic tipte ve yer değıştirici tipteki Stirling motorlarının incelemiş ve detaylı bilgiler vermiştir.

Demiralp (1994) alışmasında, ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli ile ilgili istatistiksel verileri incelemiştir. Stirling motorları ile ilgili literatür bilgileri ışığında serbest diplerli bir Stirling motoru tasarlamıştır. Stirling motorunun çalışmasının, güneş enerjisinden elde edilen ışıınım enerjisi ile elde edilen elektrik enerjisinden sağlandığının düşünmüştür.

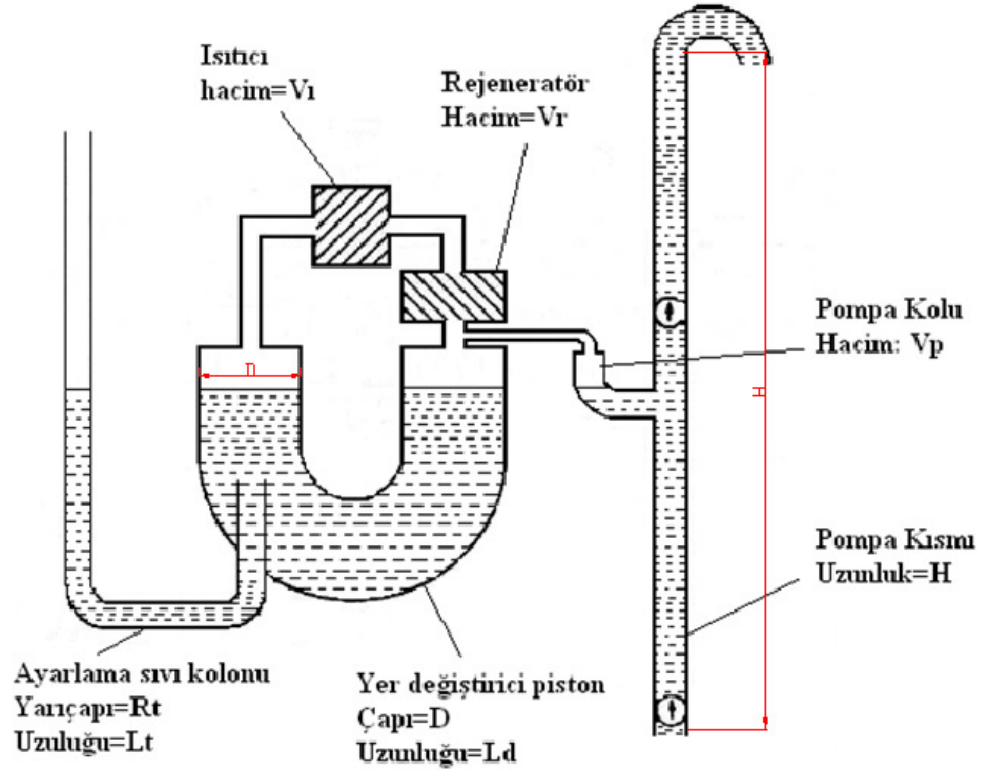
O'Gallagher (2008) alışmasında, odaklı güneş kolektörlerini incelemiş ve hesaplamalarda kullanılacak denklemleri oluşturmıştır. Çeşitli uygulamalarda kullanılabilecek güneş kolektörleri için tasarım parametrelerini incelemiştir. Farklı güneş kolektörlerinin ekonimiklik açısından analizini yapmıştır.

Thombare ve Verma (2008) alışmalarında, gemiştten günümüze Stirling motorlarının gelişimi incelemiş, Stirling motorlarının hesaplamalarında kullanılan denklemleri türetilmesi ile ilgili bilgiler vermiştir. Ayrıca Stirling motorlarının performansını etkileyen faktörlere değinmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Sıvı Pistonlu Stirling Motorlu Su Pompası Tasarımı

Şekil 3.1.'de tasarımı yapılan sıvı pistonlu Stirling Motorlu su pompasının şematik gösterimi görülmektedir.



Şekil 3.1. Tasarımı ve hesaplamaları yapılan sıvı pistonlu Stirling Motorlu su pompası

3.1.1. Çalışma gazı ve çalışma basıncı

Sıvı pistonlu Stirling motorlarında, tasarımın kolaylığı açısından çalışma gazı olarak genellikle hava tercih edilmektedir. Gelişen teknoloji sayesinde kullanılabilen çalışma akışkanlarına helyum ve hidrojen de eklenmiştir. Çalışma gazı olarak hava seçildiğinden dolayı, ortalama basıncın atmosferik basınca eşit olduğu kabul edilmektedir (Kyei-Manu ve Obodoako 2006).

3.1.2. Çalışma sıcaklıkları

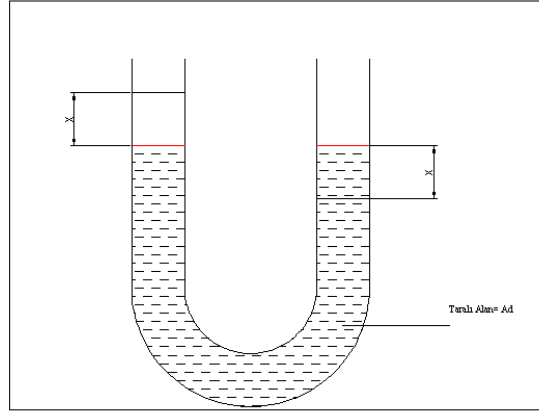
Yeni nesil stirling motorlarında, çalışma gazı sıcaklıkları yüksek tutulabilmektedir. Öyle ki bazı Stirling motorlarında, çalışma gazı sıcaklıkları 700-800 $^{\circ}K$ civarlarına kadar çıkarılabilmektedir. Yalnız bu sıcaklıklarda sistemin işletilebilmesi için seçilecek malzemelerin özelliklerinin, bu sıcaklık aralıklarında çalışabilecek özelliklere sahip olmaları gerekmektedir.

İdeal Stirling motorları, sıcak ve soğuk kısım arasındaki sıcaklık farkının 1 $^{\circ}C$ olması halinde bile çalışabilmektedir. Fakat bilindiği gibi ideal stirling motorlarında kayıplar ihmal edildiğinden, teorikte bunun mümkün olmadığı bilinmektedir. Gerçek Stirling motorlarında bu kayıplar meydana geldiği için çalışma gazının sıcak olan kısmının mümkün olan maksimum sıcaklıkta, soğuk olan kısmın ise mümkün olan minimum sıcaklıkta sabit olması gerekmektedir (Kyei-Manu ve Obodoako 2006).

3.1.3. Yer değiştirici piston sıvı kolonu frekansı

Sıvı pistonlu stirling motorlarında maksimum salınımın sağlanabilmesi için akış kayıplarının minimum olması ve sistem frekansının sıvı kolonlarının doğal frekansına eşit veya rezonans halde olması istenir. Yer değiştirici piston içerisindeki sıvı kolonu çok uzun olursa, çalışma gazı içerisindeki basınç değişimleri, sıvı kolonu içerisinde bulunan sıvının ağırlığının fazla olmasından dolayı sıvıyı hareket ettiremez, böylelikle çalışma gazı içerisinde hacim değişimleri olamayacağından bir iş oluşamaz. Eğer yer değiştirici piston içerisindeki sıvı kolonu küçük seçilirse, sistem gerekli basınç değişimlerini yakalayamadan sıvı kolonu sınırlarına ulaşır, böylelikle yine hiçbir iş elde edilmemiş olur.

Yer değiştirici pistonun frekansını tespit edebilmek için, yer değiştirici pistonun üst kısmının Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi atmosfere açık olduğu düşünülmektedir. Yer değiştirici pistondaki sıvı yüzeylerinin üst kısımlarının atmosfere açık olması sayesinde, iki tarafa da eşit miktarda basınç, yani atmosfer basıncı etki edeceğinden iki taraftaki basınç etkisi, birbirlerini götürmüş olmaktadır.



Şekil 3.2. Yer değıştirici pistonun şematik gösterimi

Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi salınım başladığında, sıvı yüzeyi bir tarafta x kadar aşağı indiğinde, diğer tarafta da x kadar yukarı çıkmış olacaktır. Bu durumda, sıvı sütununun yükselen tarafındaki sıvı ağırlığı, diğer taraftaki sıvı sütununun ağırlığından $2xA_d\rho$ kadar fazla olacaktır. Burada A_d yer değıştirici tüpün kesit alanı, ρ sıvının yoğunluğu, x ise sıvının yer değıştirdiği uzunluk olarak verilmektedir. Burada $2xg\rho$ 'dan dolayı bir basınç artışı olacaktır ve sonuç olarak oluşan kuvvet $2A_dx\rho g$ kadar olacaktır. Burada g yer çekimi ivmesidir. Yer değıştirici piston içerisindeki toplam kütle $A_d\rho L_d$ olarak bulunur. L_d , sıvı sütunun uzunluğudur. Yukarıdaki kütleden dolayı oluşan kuvvetle Newton'un 2. yasası uygulamasınca yazılabilecek eşitlik, Denklem 3.1'de görülmektedir.

$$A_d\rho L_d\ddot{x} = -2xA_d\rho g \quad (3.1)$$

$$\ddot{x} = -\frac{2gx}{L_d} \quad (3.2)$$

Denklem 3.2'de basit harmonik hareketin açısal frekansı formülüdür. Basit harmonik hareketin açısal hızı ω olarak bilindiğine göre;

$$\omega = \sqrt{\frac{2g}{L_d}} \text{ rad/saniye} \quad (3.3)$$

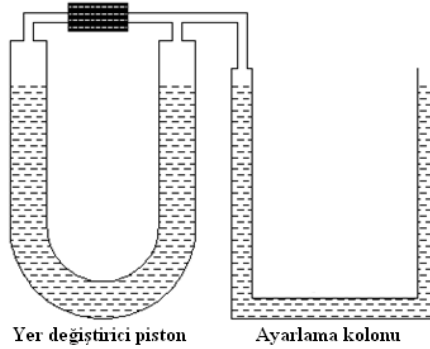
ve sistemin frekansı f olarak belirlenirse sistemin frekansını veren Denklem 3.4 elde edilmiş olacaktır.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2g}{L_d}} \text{ Hz} \quad (3.4)$$

Sıvı pistonlu stirling motorlarında yer değiştirici piston uzunluğunun 0.3 metreden az ve 3 metreden çok olması sakıncalı olabilmektedir. Bu durumda frekans aralığı 0.4 ile 1.4 arasında değişmektedir. Pratik uygulamalarda yer değiştirici piston uzunluğunun 1-2 metre arası olması beklenmektedir, bu frekansın 0.5-0.7 Hz aralığında olmasını sağlamaktadır. Çoğu pratik uygulamalarda frekans değeri 0.5-0.7 arasında olduğu kabul edilmektedir (West, 1983; West, 1987; Kyei-Manu ve Obodoako, 2006).

3.1.4. Ayarlama kolonu frekansı

Ayarlama kolonu veya çıkış kolonundaki frekansı hesaplamak diğerlerine göre biraz daha zor olmaktadır. Çünkü yer değiştirici piston içerisinde bulunan sıvı yüzeyine etkiyen sıkıştırma ve genleşmeden oluşan kuvvetler, her iki sıvı yüzeyine de eşit etki etmediğinden birbirlerini sönümlemezler. Öncelikle aşağıdaki Şekil 3.3.'deki gibi bağlanan ayarlama kolonunun frekansını bulunması gerekmektedir.



Şekil 3.3. Çalışma gazı bağlı ayarlama kolonu

Şekil 3.3.'de ayarlama kolonunun kesit alanı A_r , uzunluğu ise L_r olarak kabul edilmiştir. Ayarlama kolonunun bir ucu atmosfere açık olarak düşünülmektedir. V_m

olarak tabir edilen hacim ise sistem durağan durumda iken çalışma gazının ortalama hacmidir.

Sistem salınmaya başladığında, ayarlama kolonundaki sıvı x kadar hareket ederse, çalışma yüzeyinde iki olay meydana gelir. İlk olarak yer değiştirme pistonundaki sıvının seviyesi x kadar yükselir. İkinci olarak çalışma gazının hacminde $A_t x$ kadar azalma meydana gelir. Ayarlama kolonundaki oluşan bu etkiler, sistemin denge pozisyonuna geri dönmesi için etki oluşturur. Şimdi sistem içerisindeki çalışma gazının başlangıçtaki basıncı P_m olarak kabul edilirse, ideal gaz yasasınca eşitlik aşağıdaki şekilde yazılır:

$$P_m V_m = (P_m + p)(V_m - A_t x) \quad (3.5)$$

$$V_m p = A_t x (P_m + p) \quad (3.6)$$

Stirling motorlarında çok küçük sıkıştırma oranlarının mevcut olmasından dolayı, p basıncı P_m basıncının yanında çok küçük bir değere sahiptir. Bundan dolayı burada P_m basıncı ile olan p basıncını ihmal edilmektedir. Böylelikle formül sadeleşmiş olur:

$$p = \frac{A_t x (P_m)}{V_m} \quad (3.7)$$

Kolon boyunca basınç değişimi ΔP hesaplanacak olursa

$$\Delta P = \frac{A_t x (P_m)}{V_m} + 2\rho g x \quad (3.8)$$

$$\Delta P = \left(\frac{A_t (P_m)}{V_m} + 2\rho g \right) x \quad (3.9)$$

olarak bulunmaktadır. Denklem 3.8'de, birinci terim gazın sıkışmasından dolayı oluşan basınç değişimi, ikinci terim ise ayarlama kolonu içerisindeki sıvının

ağırlığından kaynaklanan basınç değişimidir. Denklem 3.9 Newton'un 2. Kanunu uyarınca tekrar yazılırsa;

$$A_t \rho L_t \ddot{x} = -A_t \left(\frac{A_t (P_m)}{V_m} + 2\rho g \right) \quad (3.10)$$

$$\ddot{x} = - \left(\frac{A_t P_m}{V_m \rho L_t} + \frac{2g}{L_t} \right) x \quad (3.11)$$

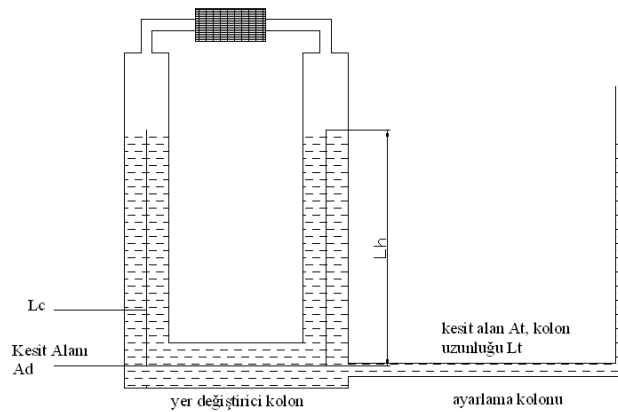
Sistemin açısal hız değeri Denklem 3.10 ve 3.11 eşitlenerek yazılır;

$$\omega = \sqrt{\left(\frac{A_t P_m}{V_m \rho L_t} + \frac{2g}{L_t} \right)} \text{ radyan/s} \quad (3.12)$$

Denklem 3.12'den yararlanarak sistemin frekansı;

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{A_t P_m}{V_m \rho L_t} + \frac{2g}{L_t} \right)} \text{ Hz} \quad (3.13)$$

olarak bulunmaktadır. Denklem 3.13'de V_m olarak verilen terim m^3 cinsinden sistemin çalışmadığı durumdaki ortalama hacmi, ρ olarak verilen ifade su yoğunluğudur.



Şekil 3.4. Ayarlama kolonu sisteme direk bağlı olduğu durum

Şekil 3.4.'deki gibi bağlanan ayarlama kolonu sisteminde ise, çalışma gazının sıkışmasından kaynaklanan basınç değişimi, Şekil 3.3'deki sistemin aynısı olmaktadır. Ayarlama kolonunun kesit alanı ile yer değiştirici piston içerisindeki sıvı kolonun kesit alanları birbirinden farklıdır. Ayarlama kolonunun açık yüzeyi ile yer değiştirici piston içerisindeki çalışma gazının basınç farklılıkları yazılarak Denklem 3.14 elde edilmiş olacaktır.

$$\Delta P = \frac{P_m A_t x}{V_m} + \rho g x + \frac{\rho g x A_t}{2 A_d} \quad (3.14)$$

Denklem 3.14'de $\frac{P_m A_t x}{V_m}$ ifadesi, çalışma gazının sıkışmasından kaynaklanan basınç değişimi, $\rho g x$ ayarlama kolonundaki sıvı seviyesinin düşmesinden kaynaklanan basınç değişimi, $\frac{\rho g x A_t}{2 A_d}$ ise yer değiştirici piston içerisindeki sıvı seviyesinin yükselmesinden kaynaklanan basınç değişimi olarak adlandırılmaktadır.

Denklem 3.9 ile Denklem 3.14 eşitlenirse Denklem 3.15 elde edilmektedir.

$$\left(\frac{A_t P_m}{V_m} + 2 \rho g \right) x = \left(\frac{P_m A_t}{V_m} + \rho g + \frac{\rho g A_t}{2 A_d} \right) x \quad (3.15)$$

Denklem 3.15, denklem 3.12 ve 3.13'de yerine konulursa sistemin açısal hızını veren Denklem 3.16 ve sistemin frekansını veren Denklem 3.17 elde edilmektedir.

$$\omega = \sqrt{\frac{P_m A_t}{V_m \rho L t} + \frac{(1 + A_t / 2 A_d) g}{L_t}} \text{ radyan/sn} \quad (3.16)$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{P_m A_t}{V_m \rho L t} + \frac{(1 + A_t / 2 A_d) g}{L_t}} \text{ Hz} \quad (3.17)$$

Buraya kadar olan kısımda gaz yüzeylerinin izotermal olduğu kabulünden yola çıkarak denklemler oluşturulmuştur. Şimdi bu denklemler gaz yüzeylerinin izotermal olmadığı durumlar için yazılacaktır.

Bilindiği gibi mükemmel izotermal gazların sıkıştırılabilirlik oranı P_m/V_m olmaktadır. Burada P_m olarak belirtilen başlangıç basıncını, V_m olarak belirtilen kısım ise başlangıç hacmini göstermektedir. Bu sıkıştırılabilirlik oranı Denklem 3.18 ve Denklem 3.19’da görülmektedir.

Mükemmel bir gazın sıkıştırılabilirlik oranı adyabatik ortamda ki gazlar için,

$$\frac{V_m}{\gamma P_m} \quad (3.18)$$

olarak verilmektedir. Bu denklemde γ ile verilen ifade gazların özgül ısı oranını ifade etmektedir. Stirling motorlarında kullanılan çeşitli gazlara ait özgül ısı oranları Çizelge 3.1.’de görülmektedir.

Çizelge 3.1. Çeşitli gazlara ait özgül ısı oranları

Gaz	Özgül Isı Oranı (γ)
Hava	1.43
Asetilen	1.3
Hidrojen	1.41
Helyum	1.66

Bu sistemde olduğu gibi, izotermal ve adyabatik durumların birlikte işlediği durumlarda sistemin işleyişini analiz etmek biraz daha zor olmaktadır. Çünkü çalışma gazı adyabatik ve izotermal olan kısımlarda gidip gelmektedir. Fakat burada, bu durum, sistem üzerinde çok fazla etkili olmamaktadır. Denklem tekrar yazılırsa;

$$\frac{\Delta P}{\Delta V} = -\frac{P_m}{V_i + \frac{V_a}{\gamma}} \quad (3.19)$$

Denklem 3.19’da V_i olarak ifade edilen izotermal hacmi, V_a olarak verilen ifade adyabatik hacim olarak ifade edilmektedir. Denklem 3.19, Denklem 3.17’de yerine koyulursa Denklem 3.20 elde edilmektedir.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_t} \left(\frac{\pi R_t P_m}{\rho \left(V_i + \frac{V_a}{\gamma} \right)} + g \left(1 + \frac{R_t^2}{2R_d^2} \right) \right)} \quad (3.20)$$

Denklem 3.20’de görülen R_t çıkış kolonunun yarıçapı, R_d yer değiştirici kolon yarıçapı olarak verilmektedir. Ayarlama kolonu L_t değeri Denklem 3.21 ile bulunmaktadır (West 1983; Kyei-Manu ve Oboodako 2006).

$$L_t = \frac{\left[\frac{\pi R_t^2 P_m}{\rho \left(V_i + \frac{V_a}{\gamma} \right)} \right] + g \left[1 + \frac{R_t^2}{2R_d^2} \right]}{4\pi^2 f^2} \quad (3.21)$$

3.1.5. Sistemin güç değerlerinin hesaplanması

Sıvı pistonlu stirling motorlarında en uygun güç değerleri hesaplama yöntemi olarak Schmidt analizi gösterilmektedir. Bu analize klasik analiz de denmektedir. Bu analizle Stirling motorları üç grupta değerlendirilmektedir. Analizde kullanılan Stirling motoru tipleri alfa, beta ve gama olarak adlandırılmaktadır. (Thombare ve Verma, 2008).

Klasik analiz de Schmidt tarafından yapılan kabuller aşağıdaki gibidir;

- 1- Bütün prosesler tersinir olarak gelişmektedir.
- 2- Rejeneratör tam verimde çalıştığı kabul edilmektedir.
- 3- Çalışma gazı ideal gaz yasasına göre çalışmaktadır.
- 4- Çalışma gazı olarak kullanılan gazın kütlesi çevrim boyunca değişmemektedir.
- 5- Çalışma gazının hacim değişimleri sinüzoidal olarak gerçekleşmektedir.
- 6- Sıcak kısımda gaz sıcaklığında değişim olmadığı kabul edilmektedir.
- 7- Silindirin iç yüzeyleri ile piston sıcaklığının sabit olduğu kabul edilmektedir.

- 8- Makinenin hızı sabit kabul edilmektedir.
- 9- Sistem kararlı olarak çalışmaktadır.
- 10- Kayıplar ihmal edilmektedir.
- 11- Çalışma gazında herhangi bir kaçak yoktur.
- 12- Isıtma, genişleme bölgesindeki sıcaklık (T_e)
- 13- Sıkıştırma, soğutma bölgesindeki sıcaklık (T_c)

Bu kabuller çerçevesinde yapılan analiz, birçok farklı değişkenin sistem üzerindeki etkisini değerlendirmektedir. Cooke-Yarborough tarafından bu analiz basitleştirilerek güç formülü denklem 3.22'deki gibi yazılmaktadır;

$$W_o = P_m V_0 f \pi \frac{V_e}{4V_m} \frac{T_e - T_c}{T_e + T_c} \sin \theta \quad (3.22)$$

Burada V_0 sistemdeki net hacim değişimi, V_e yer değiştirici kolon içerisindeki her bir yüzeyin süpürme hacmi, V_m sistemin durgun durumdaki ortalama hacmi, P_m ortalama basınç, T_e Kelvin cinsinden genişleme kısmının sıcaklığı, T_c sıkıştırma kısmının sıcaklığı, θ yer değiştirici kolon ile ayarlama kolonu arasındaki faz açısı, f sistemin frekansı olarak verilmektedir. Burada θ açısının 90° civarında olması en büyük gücü elde edilmesi demek olacaktır, çünkü $\sin \theta$ en büyük değerini bu faz açısı değerlerinde almaktadır (West, 1983; West, 1987; Kyei-Manu ve Oboodako 2006).

Stirling motorlarında güç değerlerini hesaplarırken bazı sabit değerler bulunmaktadır. Bunlar Beale sabiti (B_n) ve West sabiti olarak bilinmektedir (Thombare ve Verma, 2008; Kongtragool ve Wongwises, 2006).

William Beale, ideal Stirling motoru üzerindeki çalışmalarında, maksimum güç çıkışının sistem basıncına, hacmine ve hızına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Bu araştırmacının çalışmalarındaki en önemli durum, sistem içerisindeki sıcaklık dikkate alınmadan hesaplamaların yapılmasıdır. Çoğu Stirling motorlarının basit analizlerinde, sistemin genişleme kısmının sıcaklığının atırılması ile alınan gücün

yükseldiği bilinmektedir. William Beale bu formülü çıkarırken sistem sıcaklığını sabit tutmuştur. Iwomoto beale sayısını genişleme kısmının sıcaklığını 650° sabit tutarak, yaklaşık olarak 0.15 hesaplamıştır. Bu şekilde hesaplanan güç değeri Denklem 3.23'de görülmektedir (Thombare ve Verma, 2006).

$$W_{net} = P_m B_n f V_0 \quad (3.23)$$

C.D.West'e göre West Sayısı da Stirling motorlarının performans değerlerini incelemek için kullanılan ampirik bir sayıdır. Beale sayısına benzer şekilde olmasına rağmen içerdği sistem sıcaklık değerleri yönünden, sistem güç formülünden daha sağlıklı değerler almasını sağlamaktadır. West sayısı, 5-150kW gücündeki motorlarda, denklem 3.25'deki gibi 0.25 civarı, diğer bundan küçük Stirling motorlarında, denklem 3.24'deki gibi 0.35 olarak kullanılmaktadır.

$$W_0 \cong 0.35 P_m V_0 f \frac{T_e - T_c}{T_e + T_c} \quad (3.24)$$

$$W_0 \cong 0.25 P_m V_0 f \frac{T_e - T_c}{T_e + T_c} \quad (3.25)$$

Bu formüller genel Stirling motorlarında güç ifadesini vermektedir. Sıvı pistonlu Stirling motorlarında yer değiştirici piston için bu güç denklemleri tekrardan yazılabilir. P_m olarak ifade edilen kısım, sistem atmosfere açık olarak çalıştığı için atmosfer basıncında alınabilir (0.1Mpa). Sistem frekansını veren denklem 3.4, Denklem 3.25'de yerine konulursa sistemin güç ifadesini veren Denklem 3.26 elde edilmektedir.

$$W_0 = 0.25 P_m \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2g}{L_D}} V_0 \frac{T_e - T_c}{T_e + T_c} \quad (3.26)$$

Denklem 3.26'da, sistemin net hacim değişimi ifade eden V_0 , sistemin faz açısının 90° olmasından ve strok uzunluğunun yer değiştirici pistonun çapı kadar olmasından, net hacim değişimi, yer değiştirici pistonun hacim değişiminin vektörel olarak toplamına eşit olmaktadır. Bu ifade denklem 3.27'de görülmektedir.

$$V_0 = \sqrt{2} \frac{\pi D^3}{4} \quad (3.27)$$

Denklem 3.27, Denklem 3.26'da yerine konulursa Denklem 3.28 elde edilmiş olur.

$$W_0 = 7900 D^{5/2} \frac{T_e - T_c}{T_e + T_c} \quad (3.28)$$

Denklemden de anlaşılacağı gibi sistemden elde edilen güç sıcaklık ve yer değiştirici piston çapı ile doğru orantılı olarak değişmektedir (West, 1987).

3.1.6. Sistemin toplam değişiminin hesaplanması (V_o)

Sistemde istenilen suyu basmak için gerekli hidrolik güç, Denklem 3.29 ile hesaplanabilir. Burada W_{net} olarak verilen ifade Watt cinsinden hidrolik gücü, ρ olarak verilen ifade su yoğunluğunu, Q olarak verilen ifade m^3/h cinsinden debiyi, H olarak verilen ifade m cinsinden suyun basılacağı yüksekliği ifade etmektedir.

$$W_{net} = \rho g Q H \quad (3.29)$$

Sıvı pistonlu Stirling motorlarında, sistem gücünü ifade eden bir diğer ifade olan Denklem 3.23 ile Denklem 3.29 eşitlenir ve toplam hacim değişimini veren ifade olan V_o , Denklem 3.30 elde edilmektedir (West, 1983).

$$V_o = \frac{\rho g Q H}{P_m f B_n} \quad (3.30)$$

3.1.7. Sistemin süpürme hacminin hesaplanması (V_s)

Denklem 3.30'da verilen sistemin toplam hacim değişimi V_o , süpürme hacmi yani strok hacminin V_s , $\sqrt{2}$ katıdır. Bu ifade denklem 3.30'da yerine yazılırsa denklem 3.31 elde edilmiş olacaktır (West, 1983).

$$V_s = \frac{\rho g Q H}{\sqrt{2} P_m f B_n} \quad (3.31)$$

3.1.8. Yer deşiştirici piston çapının hesaplanması (D)

Yer deęiřtirici piston apı D olursa ve sistem strokunun çapı kadar olduęu dūřunūlrse o zaman sūpürme hacmi Denklem 3.32’deki gibi olacaktır;

$$V_s = \frac{\pi D^2}{4} D \quad (3.32)$$

Denklem 3.31 ile Denklem 3.32 birbirlerine eşitlenirse yer değiştirici piston çapını veren Denklem 3.33 bulunacaktır.

$$D = \sqrt[3]{\frac{4\rho gQH}{\sqrt{2}\pi P_m fB_n}} \quad (3.33)$$

Denklem 3.33’deki debi değerinin birimi m^3/sn cinsinden yazılırsa sistemin yer değiştirici piston çapını veren Denklem 3.34 bulunacaktır (West, 1983).

$$D = \sqrt[3]{\frac{4\rho gQH}{5091.17\pi B_n fP_m}} \quad (3.34)$$

3.1.9. Sistemdeki ölü hacimlerin bulunması (V_D)

Stirling motorlarında maksimum sıkıştırma oranı 2 ye eşittir. Sıvı pistonlu Stirling motorlu pompa sistemlerinde, ölü hacim rejeneratör, ısıtıcı gibi sistemler ve bağlantı boruları içinde kalan hacimleri ifade etmektedir. Bu hacim ile sūpürme hacmi arasındaki bağıntı Denklem 3.35’deki gibi olmaktadır.

$$\frac{V_s \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}} \right) + V_D}{V_s \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right) + V_D} = 2 \quad (3.35)$$

Denklem 3.35’de sūpürme hacmi çekildięinde, ölü hacmi veren 3.36 denklemini elde edilecektir.

$$V_D = 1.12V_s \quad (3.36)$$

Denklem 3.42 ile bulunan değer, rejeneratördeki ölü hacim V_r , genişleme kısmı hacmi V_e , ısıtıcı kısmın hacmi V_t , sıkıştırma kısmı hacmi V_c ve pompa kısmındaki

ölü hacim V_p olmak üzere, tüm ölü hacimlerinin toplamı olması gerekmektedir.

Buna göre sistemdeki ölü hacimlerin toplamı Denklem 3.37'deki gibi olur.

$$V_D = V_r + V_e + V_c + V_i + V_p \quad (3.37)$$

Burada V_p değeri, sistem frekansından giderek bulanmaktadır. Sistem frekansı f olarak ifade edildiğinde, istenilen Q debisinde suyu basmak için sistemin saatlik strok sayısı S_s ;

$$S_s = f * 3600 \quad (3.38)$$

olacaktır. Buna göre sistemden strok başına basılan suyun hacmi V_T olursa, bu değer Denklem 3.39 ile bulunmaktadır.

$$V_T = \frac{Q}{S_s} \quad (3.39)$$

Denklem 3.39'da bulunan V_T değeri, genişleme ve sıkıştırma kısımlardaki en küçük ölü hacimlerin toplamıdır. Bu durum Denklem 3.40'da görülmektedir.

$$V_T = V_e + V_c = \frac{V_p}{2} \quad (3.40)$$

Denklem 3.40'da genişleme (V_e) ve sıkıştırma (V_c) kısımlarındaki ölü hacimler hesaplarda, salınımın iki tarafta da eşit olarak gerçekleştiği varsayılarak, eşit kabul edilmektedir (West, 1983).

3.1.10. Ayarlama kolonu uzunluğunun bulunması (L_t)

Ayarlama kolonu uzunluğu denklem 3.21 yardımı ile bulunmaktadır. Denklem 3.21'deki V_i ve V_a ifadeleri denklem 3.41 ve 3.42 ile bulunmaktadır.

$$V_i = V_c + V_r + V_t \quad (3.41)$$

$$V_a = V_h + V_p \quad (3.42)$$

Burada sistemin ayarlama kolonu uzunluğu, ayarlama kolonu yarıçapına bağlı bir denklemle bulunmakta ve bulunan denklemde çeşitli değerler yerlerine koyarak sistem uygulanabilirliği açısından en uygun olanı seçilmektedir (West, 1983).

3.1.11. Viskoz akış kayıpları (E_v)

Sıvı pistonlu stirling motorları yapılarında, dönen veya hareket eden mekanik aksam bulundurmadıklarından, sürtünme kayıpları içermemektedirler. Bu makineler içerisinde bulundurdıkları sıvı ve çalışma gazından kaynaklanan viskoz akış kayıplarına maruz olmaktadır. Özellikle yer değiştirici piston içerisinde salınım yapan sıvıdan dolayı viskoz akış kayıplarına maruzdurlar.

Sıvı pistonlu Stirling motorlarında, sıvı akışı sinüzoidal olduğundan, diğer düz borularda veya kanallardaki gibi tek yönlü akış davranışı göstermemektedirler. Sıvı pistonlu Stirling motorlarında, viskoz akış kayıplarının hesaplanmasında, dar ve geniş borularda akış olarak iki tip yol izlenmektedir. Dar borulardaki akış genellikle Pouseuille akış kanunlarına göre gelişmektedir. Crandall'a göre geniş borularda akış ise boyutsuz bir sayı yardımı ile incelenmektedir. Bu boyutsuz sayıya R ait denklem 3.43'de görülmektedir. Bu denklemde f olarak gösterilen ifade sistem frekansını, ρ sıvı yoğunluğunu, η ise silindir üzerindeki, en küçük yalıtım malzemesi kalınlığı olarak ifade edilmektedir.

$$R = R_t \sqrt{2\pi f \rho / \eta} \quad (3.43)$$

Herhangi bir akışta, anlık güç kaybı değeri, akışın hacimsel debisi ile basınç düşümünün toplamına eşittir. Hacimsel debi de, ortalama akış hızı ile akışın gerçekleştiği borunun kesit alanının çarpımına eşittir.

$$\Delta P \dot{V} = \frac{R L_t \dot{V}}{\pi R_t^2} \dot{V} \quad (3.44)$$

Denklem 3.43, denklem 3.44'de yerine konulursa denklem 3.45 elde edilmiş olacaktır.

$$\Delta P \dot{V} = \sqrt{2\pi f \rho / \eta} \frac{L_t \dot{V}^2}{\pi R_t^3} \quad (3.45)$$

Sistemin hacimsel debisi, toplam hacim değişimine eşit olarak kabul edilmektedir. Böylelikle sıvı pistonlu Stirling motorlarında yer değiştirici piston içerisinde salınım yapan sıvının viskoz akış kaybını veren denklem 3.46 elde edilmektedir (Kyei-Manu ve Oboodako 2006).

$$E_v = \frac{\pi \sqrt{\pi \rho f \eta} L_t f^2 V_0^2}{R_t^2} \quad (3.46)$$

3.1.12. Kinetik akış kayıpları (E_k)

Sistemde, yer değiştirici piston üzerinde, herhangi bir noktada çap daralması veya keskin dönüşlerden dolayı sistem içerisindeki akışkanın hızı veya doğrultusu değişmektedir. Bu basınç düşümünü, akışkan hızına bağlı olarak denklem 3.47 ile hesaplanmaktadır. Burada K olarak gösterilen ifade kayıp katsayısı olarak verilmektedir. Kayıp katsayısı, kullanılan bağlantı elemanına göre değişmektedir. (Kyei-Manu ve Oboodako 2006).

$$E_k = 0.42 \sum K \frac{\pi \rho f^3 V_0^3}{2 R_t^4} \quad (3.47)$$

3.1.13. Geçici ısı transfer kaybı (E_h)

Sistemde kullanılan çalışma gazının genişleyip sıkıştırılmasından dolayı, sıcaklık değeri, artıp azalmaktadır. Çalışma gazının, yer değiştirici piston duvarına temas ettiği kısmı ile duvardan uzakta bulunan kısmı arasında sıcaklık farkı oluşmaktadır. Bu durum sistemin veriminin düşmesine ve güç kaybına yol açmaktadır. Bu tip sistemler en önemli mekanik kayıp olarak geçici ısı transfer kaybı gösterilmektedir. Denklem 3.48 yardımı ile bu değer hesaplanmaktadır.

$$E_h = \frac{F \sqrt{\pi}}{2} \left(\frac{\gamma - 1}{\gamma} \right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{K f T_e P_m} \left(\frac{\Delta P}{P_m} \right)^2 A_s \quad (3.48)$$

Denklem 3.48'de F ile belirtilen değer artış faktörüdür ve bu tip sistemlerde genellikle 7.5 değerinde alınabilir. Denklem 3.48'de görülen γ terimi özgül ısı oranı,

K çalışma gazı için ısı transfer oranı, T_e Kelvin cinsinden genişleme kısmı sıcaklığı, P_m olarak verilen terim ortalama basınç değerini, ΔP olarak verilen terim minimum maksimum basınç farkını, A_s ise sıvı kolonu yüzey alanını ifade etmektedir (West, 1983).

Denklem 3.48’de basınç farkı ile ortalama basıncın oranının karesini veren ifadedeki değerler, değişik sıcaklık ve faz açıları için Çizelge 3.2.’de görülmektedir.

Çizelge 3.2. Farklı faz açısı ve sıcaklıklarda $\left(\frac{\Delta P}{P_m}\right)^2$ değeri (West, 1983)

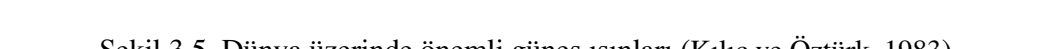
Genişleme sıcaklığı ($^{\circ}C$)	50	60	70	80	90	100	110	120	130
277	0.257	0.232	0.206	0.179	0.153	0.128	0.104	0.083	0.065
300	0.262	0.237	0.211	0.184	0.157	0.132	0.108	0.087	0.068
327	0.268	0.243	0.216	0.189	0.162	0.137	0.113	0.091	0.073
352	0.274	0.248	0.221	0.194	0.167	0.141	0.117	0.096	0.077

3.2. Güneş Açıları Ve Güneş Işınımının Hesaplanması

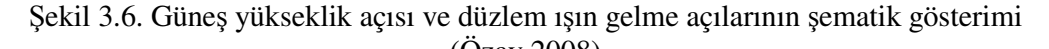
3.2.1. Güneş Açıları

Güneş enerjisi uygulamalarında genellikle güneş ışınlarını toplayan araçlar kullanılmaktadır. Bu araçlar kolektörlerdir. Kolektörler topladığı güneş enerjisini, ısı transfer akışkanına aktarmaktadırlar (su, hava vb). Isı enerjisinin aktarım esnasında veriminin yüksek olması için kolektör ile güneş ışınları arasında ki ışınların doğru olarak bilinmesi gerekir. Dünya üzerinde önemli güneş ışınları Şekil 3.5.’de görülmektedir.

Güneş ışınım değeri, coğrafi ve meteorolojik şartlara göre değişim göstermektedir. Yapılan güneş ışınımı hesaplamalarına, seçilen coğrafyanın özellikleri, güneş açıları vasıtası ile taşınsa bile yılın belli günleri aynı meteorolojik şartları elde etmek zordur.



Direk güneş ışınlarının herhangi bir yatay düzlemle yaptığı açıdır (α) . Güneşin



3.2.1.2. Güneş denklinasyon açısı (de)

Güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Bu açı dünyanın dönme ekseninin, yörünge düzlemi ile yaptığı açı, $23^0 27'$ derecelik açıdan ileri gelir. Ekinoks noktalarında denklinasyon açısı sıfır olur, gündönümü noktalarında ise denklinasyon açısı maksimum değerlerine ulaşır. Bir diğer ismi de güneş eğim açısı olarak bilinir. Güneş denklinasyon açısı Denklem 3.49 ile hesaplanabilir (Kılıç ve Öztürk, 1983).

$$de = 23.45^\circ \sin \left(360 \frac{n}{365} \right) \quad (3.49)$$

Denklem 3.49'da n olarak verilen ifade, gün sayısını ifade etmektedir.

3.2.1.3. Güneşsel saat açısı (h_{GSA})

Dünyanın saatsel dönüşünü gradyan biçiminde tanımlayan, güneşsel saat açısı h_{GSA} , herhangi bir boylamı ile güneşi dünya merkezine birleştiren doğrunun arasındaki açıdır. Bu açiya güneş boylamı da denir. Öğle vakti sıfır derece, öğleden önce pozitif öğleden sonra negatif alınan bir açıdır. Sekil 3.5.'de görülmektedir. $h_{GSA}=0$ güneşsel öğleyi, h_{GD} güneş doğuş açısını, h_{GB} güneş batış açısını belirtir.

$$h_{GSA} = 15(12 - GS) \quad (3.50)$$

Denklem 3.50'de GS olarak verilen ifade güneş saatini gösterir. Güneş saati GS ise 3.51 denklemi ile hesaplanabilir.

$$GS = TS - 4/60(30 - By) + ZD/60 \quad (3.51)$$

Denklem 3.51'de TS olarak belirtilen terim memleket saatini, By bulunulan yerin yerel boylamını, ZD olarak ifade edilen kısım ise zaman düzeltmesi olarak verilmektedir. Bu kısımda bilinmesi gereken diğer bir H_a olarak ifade edilen saat açısıdır. Bu ifade de denklem 3.52 yardımı ile hesaplanabilir.

$$H_a = \arccos(-\tan de * \tan se) \quad (3.52)$$

Denklem 3.52’de verilen de terimi bulunulan yerin denklinasyon açısını, se olarak verilen ifade ise yerel enlemi ifade etmektedir. Denklem 3.52 H_a saat açısı ile bulunulan yerin gün uzunluğu (t_g) değeri, denklem 3.53 ile hesaplanabilir. (O’Gallagher, 2008; Özay, 2008; Soteris, 2009).

$$t_g = \frac{2}{15} H_a \quad (3.53)$$

3.2.1.4. Azimuth açısı (a_g)

Güneş ışınının, yatay yüzey üzerinde kuzeye göre ve saat dönüş yönünde, sapma miktarını veren açıdır. Denklem 3.54 ile hesaplanabilir.

$$\cos a_g = \frac{\cos de \sin se \cosh_{GSA} - \sin de \cos se}{\cos y} \quad (3.54)$$

Denklem 3.54’de y olarak verilen terim güneş yükseklik açısı olarak tanımlanır ve denklem 3.55 ile hesaplanmaktadır.

$$y = 90 - z \quad (3.55)$$

Denklem 3.55’de z olarak verilen ifade zenit açısı olarak verilmektedir.

3.2.1.5. Güneş geliş açısı (θ_g)

Güneş ışınlarının yatay düzlemin normali ile yaptığı açıdır. Zenit açısı olarak da bilinmektedir. Denklem 3.56 ile hesaplanmaktadır.

$$\cos \theta_g = \cos de \cosh_{GSA} \cos(se - s) \quad (3.56)$$

3.2.2. Güneş ışınlamı hesabı

3.2.2.1. Atmosfer dışına gelen güneş ışınlamının hesaplanması (I_0)

Atmosfer dışına gelen güneş ışınlamı denklem 3.57 yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$I_0 = I_{GS} F \cos z \quad (3.57)$$

Denklem 3.57’de, I_{GS} olarak verilen ifade güneş sabiti olarak adlandırılır yaklaşık değeri 1353 Watt/m^2 ‘dir. F olarak ifade edilen terim ise güneş ışınlamı düzeltme faktörü olarak ifade edilir ve Denklem 3.58 ile hesaplanmaktadır.

$$F = 1 + 0.0033 \cos \left(360 \frac{n}{365} \right) \quad (3.58)$$

Denklem 3.58’de verilen güneş düzeltme faktörü F birimsiz bir sayıdır (Kılıç ve Öztürk, 1983).

3.2.2.2. Yeryüzüne gelen günlük tüm güneş ışınlamının hesaplanması

Günlük tüm güneş ışınlamı denklem 3.59 ile hesaplanmaktadır.

$$\frac{Q_g}{Q_0} = a + b \frac{t}{t_0} \quad (3.59)$$

Burada Q_g olarak verilen ifade aylık ortalama tüm güneş ışınlamı miktarı, Q_0 olarak verilen ifade ise bulutsuz günde elde edilen tüm güneş ışınlamıdır. Denklem 3.60 ile hesaplanmaktadır.

$$Q_0 = \frac{24}{\pi} I_{GS} F \sin se \sin E \left(\frac{\pi}{180} Ha - \tan Ha \right) \quad (3.60)$$

Denklem 3.54 ve 3.55’deki ifadelerde Q_0 ve Q değerleri Watt/m^2 cinsinden ifadelerdir. Denklem 3.54’de bulunan a ve b değişkenleri angström denklemi katsayıları olarak bilinmektedir. Bu değerler denklem 3.61 ve 3.62 denklemleri ile hesaplanmaktadır.

$$a = 0,103 + 0,000017.z + 0,198.\cos(se-de) \quad (3.61)$$

$$b = 0,533 - 0,165.\cos(se-de) \quad (3.62)$$

Denklem 3.59’da görülen $\frac{t}{t_0}$ ifadesi izafi güneşlenme süresi olarak verilmektedir.

İzafi güneşlenme süreleri her bölgenin, her ayında, ortalama olarak alınarak hesaplamalara dahil edilir (Kılıç ve Öztürk, 1983).

Yeryüzüne gelen anlık güneş ışınlamı (I) ise denklem 3.63 ile hesaplanabilir.

$$r_t = \frac{I}{Q} = \frac{\pi}{4tg} \left[\cos \left(\frac{180h_{GSA}}{2H_a} \right) + \frac{2}{\sqrt{\pi}} (1 - \psi) \right] \quad (3.63)$$

Denklem 3.63’de verilen r_t ifadesi anlık güneş ışınlamının, aylık ortalama tüm güneş ışınlamına oranı olarak ifade edilmektedir. ψ olarak ifade edilen terim ise gün boyunca anlık ve tüm güneş ışınlamının sinüzoidal ve eksponansiyel olduğu varsayımı ile elde edilen katsayıdır ve denklem 3.64 ile hesaplanmaktadır.

$$\psi = \exp \left\{ -4 \left(1 - \frac{h_{GSA}}{H_a} \right) \right\} \quad (3.64)$$

Belli bir yerde, herhangi bir günde yatay düzleme gelen günlük toplam direkt güneş ışınlamı, anlık direkt güneş ışınlamının gün boyunca değişimine ve gün uzunluğuna bağlıdır ve Q_d ile gösterilir ve denklem 3.65 ile hesaplanmaktadır (Kılıç ve Öztürk, 1983).

$$Q_d = \frac{t}{t_0} Q_0 \left[0.6714 - 0.00423W + 0.223 \ln \cos (se - de) \right] \quad (3.65)$$

Denklem 3.60’da görülen W olarak verilen ifade yoğunlaştırulabilir su buharı miktarı olarak verilmektedir. Hesaplamalarda, yoğunlaştırulabilir su buharı miktarı $W \cong 20mm$ olarak alınmaktadır.

Yayıllı ışınlam oranı ise denklem 3.66 ile hesaplanır.

$$K_y = \frac{Q_y}{Q} \quad (3.66)$$

Berraklık indeksi K_t ise denklem 3.67 yardımı ile hesaplanabilir.

$$K_t = Q/Q_0 \quad (3.67)$$

Yayıllı ışınlam ile berraklık indeksi arasındaki bağıntı ise denklem 3.68 ile hesaplanmaktadır.

$$K_y = 1 - 1.13K_t \quad (3.68)$$

Bir anda birim yatay düzleme gelen aylık ortalama yayılı ışınlamın (I_y), günlük toplam yayılı ışınlama (Q_y) oranı r_y ise denklem 3.69 ile hesaplanmaktadır.

$$r_y = I_y/Q_y = I/Q \quad (3.69)$$

Birim yatay düzleme direkt ışınlam (I_d) ve yayılı ışınlam (I_y) denklem 3.70 ile hesaplanmaktadır (O’Gallagher, 2008; Özey,2008; Soteris, 2009).

$$I = I_d + I_y \quad (3.70)$$

3.2.2.3. Eğik düzleme gelen güneş ışınlamı

Güneş ışınlamına dik birim düzleme bir anda gelen direkt güneş ışınlamı I_n , güneş ışınlamının eğik düzleme geliş açısı θ_g ve z zenit açısı olmak üzere, eğik ve yatay düzlemlere gelen direkt güneş ışınlamı miktarı denklem 3.71 ve 3.72 ile hesaplanmaktadır.

$$I_{ed} = I_n \cos \theta_g \quad (3.71)$$

$$I_d = I_n \cos z \quad (3.72)$$

Denklem 3.71'deki I_{ed} terimi eğik düzleme gelen anlık ışınlam olarak bilinmektedir. Denklem 3.71 ile 3.72'yi birbirine oranlarsak R_d terimini veren Denklem 3.73 bulunacaktır.

$$R_d = \frac{I_{ed}}{I_d} = \frac{\cos \theta_g}{\cos z} = \frac{\cos de \cos(se - s) \cos H_a + \sin(se - s) \sin de}{\cos(se) \cos de \cos H_a + \sin se \sin de} \quad (3.73)$$

Denklem 3.73'de s olarak verilen ifade maksimum güneş ışınlamı alan düzlem eğimi olarak ifade edilmektedir. Hesaplamalarda ortalama bir değer olan 35° olarak alınmaktadır.

Eğik düzleme gelen yayılı ışınlam I_{ey} , Denklem 3.74 ile hesaplanmaktadır.

$$I_{ey} = I_y (1 + \cos s) / 2 \quad (3.74)$$

Eğik düzleme yayılarak gelen ışınlam ise denklem 3.75 ile hesaplanmaktadır.

$$I_{ya} = I_p (1 - \cos s) / 2 \quad (3.75)$$

Eğik düzleme gelen toplam ışınlam I_e , direkt, yayılı ve yansiyarak gelen ışınlamlarının toplamı olmaktadır. Denklem 3.76'da eğik düzleme gelen toplam ışınlam denklemi görülmektedir.

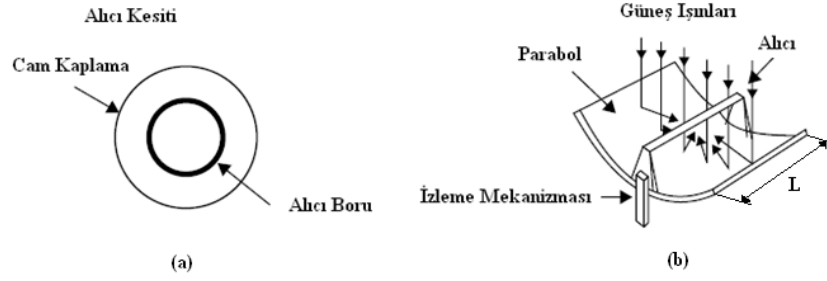
$$I_e = I_{ed} + I_{ey} + I_{ya} \quad (3.76)$$

Yeryüzüne gelen anlık ışınlam ile yeryüzüne eğik düzleme gelen anlık ışınlam arasındaki oran (R) denklem 3.77 ile hesaplanmaktadır (Kılıç ve Öztürk, 1983).

$$R = \frac{I_e}{I} \quad (3.77)$$

3.3. Parabolik Oluklu Güneş Kolektörü Tasarımı

Sistem tasarımında kullanılacak parabolik oluklu güneş enerjisi kolektörüne ait şematik gösterim Şekil 3.7.'de görülmektedir.



Şekil 3.7. Parabolik oluklu güneş kolektörü şematik gösterim

Şekil 3.7.(a)'da alıcı borunun kesit resmi görülmektedir. Cam kaplama ile alıcı boru arasındaki hava vakumlanmıştır. Şekil 3.8. (b).’de L olarak verilen ifade kolektör boyunu vermektedir.

Parabolik oluklu güneş enerjisi kolektörlerinin ısı analizinde bulunması gereken en önemli parametreler, kolektör etkinlik faktörü F' , kolektör kayıpları U_L , kolektör ısı taşınım katsayısı F_R olarak bilinmektedir. Kolektör kayıplarını hesaplamak için, cam kaplı borular için standart termal ısı transfer bağıntıları kullanılmaktadır. Kayıplar hesaplanırken radyasyonla, konveksiyonla, kondüksiyonla olabilecek tüm kayıplar göz önünde bulundurulmak zorundadır.

Emici kısımda bulunan boruda termal kayıplar, borudaki akışkanın sıcaklığını sabit kabul edildiğinde, boru üzerinde ışıınım, taşınım ve kondüksiyonla ısı kaybı olacaktır. Toplam termal kayıp katsayısı denklem 3.78 ile hesaplanabilir.

$$U_L = h_w + h_r + h_c \quad (3.78)$$

Denklem 3.78’de, h_w rüzgar kaynaklı termal kayıp, h_r radyasyonla meydana gelen kayıp, h_c ise kondüksiyonla meydana gelen termal kayıp olarak belirtilmektedir. Işıınımla emici yüzeyinden oluşan kayıp katsayısı denklem 3.79 ile hesaplanır;

$$h_r = 4\sigma\epsilon T_r^3 \quad (3.79)$$

Denklem 3.79’da σ ile belirtilen ifade Boltzman sabiti, T_r olarak belirlenen ifade *Kelvin* cinsinden emici yüzey sıcaklığıdır.

Kolektör yüzeyinden rüzgar kaynaklı ısı kaybının da bulunması gerekmektedir. Rüzgardan kaynaklı termal kayıplar Nusselt sayısı ve Reynolds sayısı yardımı ile bulunabilmektedir. Nusselt sayısı, ısı transferi ve akışkanlar mekaniğinde kullanım alanı geniş olan, taşınım ısı transfer katsayısının, iletim ısı transfer katsayısına oranı olarak ifade edilen boyutsuz bir sayıdır. Akışkanlar mekaniğinde Reynolds sayısı, bir akışkanın, atalet kuvvetlerinin, viskozite kuvvetlerine olan oranıdır ve sonuç olarak bu değer bu iki tip kuvvetin belli bir akış şartı altında birbirine olan göreceli önemini verir. Bundan dolayı, Reynolds sayısı, düzgün akış ve türbülanslı akış gibi değişik akış rejimlerini nitelemek için kullanılır. Reynolds sayısı denklem 3.80 ile bulunabilmektedir.

$$Re = \frac{\rho v D_i}{\mu} \quad (3.80)$$

Bu ifade de ρ akışkanın yoğunluğu, v m/sn akışkanın hızı, D_i boru iç çapı, μ akışkanın dinamik viskozitesini ifade etmektedir.

Akış için şartlar yazılırsa;

0.1<Re<1000 arasındaki Reynolds sayıları için, Nusselt Sayısı denklem 3.81 ile hesaplanır.

$$Nu = 0.4 + 0.54(Re)^{0.52} \quad (3.81)$$

1000<Re<50000 arasındaki Reynolds sayıları için, Nusselt sayısı denklem 3.82 ile hesaplanır.

$$Nu = 0.3(Re)^{0.6} \quad (3.82)$$

Rüzgar kaynaklı kayıp katsayısı Denklem 3.83 yardımı ile bulunabilir.

$$h_w = \frac{(Nu)k}{D_g} \quad (3.83)$$

Denklem 3.83’de D_g olarak verilen ifade, cam örtü dış çapı olarak verilmektedir.

Alıcı boru ile, ortam arasındaki radyasyonla olan ısı transfer katsayısı $h_{r,c \rightarrow a}$ ise,

Denklem 3.84 ile hesaplanır.

$$h_{r,c \rightarrow a} = \varepsilon_g \sigma (T_g + T_a)(T_g^2 + T_a^2) \quad (3.84)$$

Denklem 3.84’de T_g olarak verilen ifade *Kelvin* cinsinden cam örtü sıcaklığını, T_a olarak verilen ifade *Kelvin* cinsinden ortam sıcaklığını, ε_g olarak verilen ifade cam örtü yüzey ışıyım neşretme katsayısını, σ olarak verilen ifade ise Boltzmann sabitini ifade etmektedir.

Alıcı boru ile cam örtü arasında meydana gelen radyasyonla ısı transfer katsayısı $h_{r,r \rightarrow c}$ ise denklem 3.85 ile hesaplanır.

$$h_{r,r \rightarrow c} = \frac{\sigma(T_r^2 + T_g^2)(T_r + T_g)}{\frac{1}{\varepsilon_r} + \frac{A_r}{A_g} \left(\frac{1}{\varepsilon_g} - 1 \right)} \quad (3.85)$$

Kondüksiyon ile sistemde olan ısı kayıplarını bulabilmek için kolektör yapısını bilmek gerekmektedir. Genel olarak termal kayıpları azaltmak için emici boru yüzeyi üzeri cam yüzey ile kaplanmaktadır. Cam yüzey ile emici boru arasındaki alan vakumlanmıştır. Bundan dolayı konveksiyon ile oluşan termal kayıplar ihmal edilebilir. Toplam kayıp terimi Denklem 3.86 ile hesaplanır.

$$U_L = \left[\frac{A_r}{(h_w + h_{r,c \rightarrow a})A_g} + \frac{1}{h_{r,r \rightarrow c}} \right]^{-1} \quad (3.86)$$

Sistemden sağlanan faydalı enerji denklem 3.87 ile hesaplanabilir.

$$q_u' = \frac{Q_f}{A_a} = I_d \delta_s \lambda (\tau\alpha)_0 - U_L \frac{A_r}{A_a} (T_r - T_a) \quad (3.87)$$

Denklem 3.87’de $(\tau\alpha)_0$ yutma geçirme çarpımı olarak verilmektedir ve denklem 3.88 ile bulunabilir.

$$\tau\alpha = (\tau\alpha)_0 - b \left[1 - \frac{I_d R_d}{IR} \left(2 - \frac{1}{\cos \theta_g} \right) \right] \quad (3.88)$$

Kolektör içerisindeki akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları denklem 3.89 yardımı ile bulunabilir.

$$Q_f = \dot{m}_{ısıtıcı} c_{ısıtıcı} \Delta T_{ısıtıcı} \quad (3.89)$$

Buraya kadar verilen denklemler ile parabolik oluklu odaklı kolektörün termal şartlarla analizi ve tasarımının yapılması mümkün olacaktır (Yılmaz, 1986; Özcan, 1997; Çolak, 2003; Candeniz, 2006; Özyay, 2008; O’Gallagher, 2008; Soteris 2009).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde sıvı pistonlu güneş enerjili su pompası tasarımı bir bilgisayar programı yardımı ile yapılmaktadır. Bu program Visual Basic programlama dilinde yazılmıştır. Şekil 4.1.'de programın ekran görüntüsü verilmektedir.

The screenshot shows the 'sıvı pistonlu güneş enerjili stirling motorlu pompa tasarımı programı' (Liquid Piston Stirling Engine Pump Design Program) interface. The window is divided into several sections for inputting design parameters. On the left, there are fields for pump flow rate (Q), head (H), power (Wnet), volume (V0), stroke volume (Vs), cylinder diameter (D), frequency (f), stroke count (Ss), pump volume (Vp), expansion volume (Ve), compression volume (Vc), heating volume (Vh), regeneration volume (Vr), cylinder length (L), kinetic loss (Ek), viscous loss (Ev), total loss, thermal loss (Eh), total loss (Et), and system output power (Wo). In the center, there are dropdown menus for system frequency (f) and expansion gas temperature (Te), and radio buttons for expansion volume (Ve) and compression volume (Vc). On the right, there are fields for declination angle (de), solar hour angle (Hgsa), solar azimuth (Ha), zenith angle (z), day length (lg), atmospheric incoming radiation (I0), atmospheric outgoing radiation (Q0), total solar radiation (Q), ambient radiation (I), direct solar radiation (Id), diffuse solar radiation (Iy), ground surface solar radiation (Ied), ground surface diffuse radiation (Iey), ground surface reflected radiation (Iya), ground surface total radiation (Ie), solar radiation angle (de), surface transmittance (YG), wind speed (hw), surface loss (hrca), collector surface loss (hrcc), total loss coefficient (UL), and collector area (Aa). There are also dropdown menus for month (Ay), hour (Saat), day (İl), collector pipe diameter (D0), wind speed (v), heat transfer fluid flow rate (m³/sn), collector surface temperature (Ti), ambient temperature (Tg), collector surface temperature (Tg), and heat transfer fluid inlet temperature (Tgış). A 'hesapla' (calculate) button is located at the bottom right.

Şekil 4.1. Hazırlanan programın ekran görüntüsü

Bu program sayesinde sıvı pistonlu güneş enerjili su pompası için gerekli değerler hesaplanmaktadır. Program iki kısımdan oluşmaktadır. Şekil 4.1.'de solda görülen kısımda sıvı pistonlu Stirling motorlu pompa için gerekli değerlere ulaşılabilmektedir. Solda bulunan sistemin yer değiştirici kolonunun uzunluğu, tasarım kolaylığı açısından 1 ile 2 m arasında kabul edilerek sistem frekans değerleri hesaplanmaktadır. Seçilen frekans değerine göre yapılan hesaplamalar sayesinde pompa kısmı için gerekli değerlere ulaşılabilmektedir. Yine aynı şekilde, sağda bulunan kısımda, pompa sistemi için gerekli güneş kolektörü için değerler hesaplanabilmektedir. Kolektör kısmında sistemin hangi merkezde ve hangi ayda, saat kaçta çalıştırıldığı, bölgesel rüzgar hızı değeri, alıcı boru dış çapı değeri, kolektör alıcı yüzey sıcaklığı değeri, alıcı boru üzeri cam kaplama yüzey sıcaklığı

değeri, ısı transfer akışkanı giriş sıcaklığı değerleri seçilerek hesaplamalar yapılır. Parabolik oluklu kolektörde ısı transfer akışkanı olarak, ısı kapasitesi ($c_{ısıtıcı}$) 1860 kJ/kgK olan ısı transfer yağı kullanılmaktadır. Kullanılan programda, parabolik oluklu kolektör uzunluğu 25 m olarak kabul edilmektedir.

Güneş açıları ve ışıyım değerlerinin hesaplanmasında, seçilen her il enlem değerleri program tarafından belirlenmektedir. Seçilen il için aylık ortalama sıcaklık değerleri ayrı ayrı girilerek hesaplamalara dahil edilmektedir. Seçilen her il için farklı aylarda, ortalama sıcaklık değerlerinden yola çıkılarak havanın özellikleri tablodan iterasyon yapılarak hesaplanmaktadır.

4.1. Sıvı Pistonlu Stirling Motoru Değişkenlerinin Hesaplanması

4.1.1. Çalışma gazı ve basıncı

Sistemde, değişik çalışma gazları kullanılabilir. Bu gazlardan bazıları helyum, asetilen, hidrojen ve havadır. Sistemin işletme şartlarının kolaylaştırılması açısından kullanılan çalışma gazı olarak hava kullanılmaktadır. Kullanılan çalışma gazının hava olmasından dolayı çalışma basıncı, atmosferik basınca eşit olarak kabul edilmektedir.

4.1.2. Yer değiştirici piston frekansının hesaplanması (f)

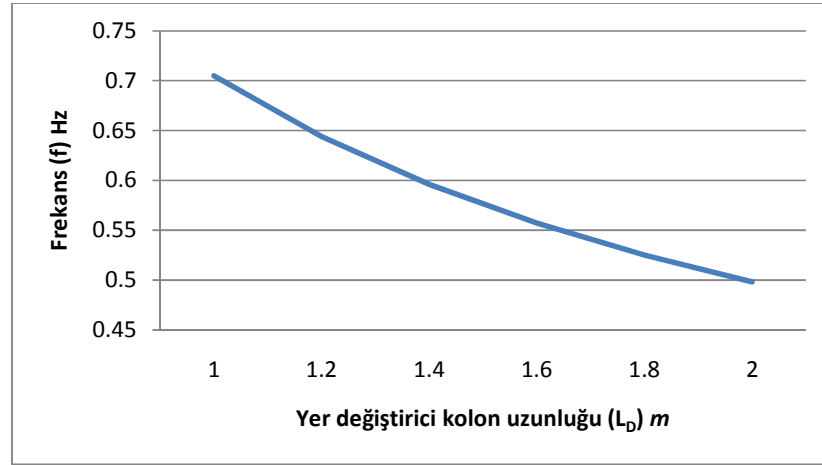
Sıvı pistonlu Stirling motorlu pompa dizaynında sistemin frekansı denklem 3.4 vasıtası ile bulunur. Yazılan programda frekans değerleri yer değiştirici kolon uzunluğunun 1 ila 2 m arasında değiştiği kabulü üzerine hesaplanmaktadır. Şekil 4.2.'de bilgisayar programı ile sistem frekansının hesaplanan değerleri görülmektedir. Çizelge 4.1.'de ise hesaplanan bu frekans değerlerine karşılık gelen yer değiştirici pistonun sıvı kolonu uzunluğu değerleri (L_D) görülmektedir.

Pompalanacak debi (Q)		m ³ /h	Sistemin frekans değerleri (f)
Pompalanacak yükseklik (H)		m	Hz
Gerekli olan hidrolik güç (W)	0.000	Watt	0.705
Toplam hacim değişimi (V0)	NaN	cm ³	0.644
Süpürme hacmi (Vs)	NaN	cm ³	0.596
			0.557
			0.525
			0.498

Şekil 4.2. Sistemin frekans değerleri

Çizelge 4.1. Hesaplanan frekans (f) değerlerine karşılık gelen yer değiştirici piston sıvı kolonu uzunluğu değerleri (L_D)

L_D (m)	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2
f (Hz)	0.705	0.644	0.596	0.557	0.525	0.498



Şekil 4.3. Frekans değerlerinin yer değiştirici piston sıvı kolonu uzunluğu değerleri ile değişimi

Şekil 4.3.'de görüldüğü gibi, frekans değeri azaldıkça yer değiştirici pistonun sıvı kolonu uzunluğu değeri artmaktadır.

4.1.3. İstenilen debi ve yükseklik değeri için gerekli hidrolik gücün hesaplanması (W_{net})

İstenilen debi ve yükseklik değerleri programda yerlerine yazılarak suyu pompalamak için gerekli hidrolik güç Denklem 3.29 ile hesaplanır. Farklı debi ve yükseklik değerleri için bulunan değerler Çizelge 4.2. ve Çizelge 4.3.'de görülmektedir. Hesaplamalarda Q debi değeri m^3/h cinsinden, H basma yüksekliği değeri metre cinsinden, elde edilen W_{net} değeri ise Watt cinsinden ifade edilmektedir.

Çizelge 4.2. $Q=0.5 m^3/h$ ve farklı basma yüksekliği (H) değerleri için hidrolik güç değerleri (W_{net})

H (m)	1	1.1	1.2	1.3	1.4
W_{net} (Watt)	1.363	1.499	1.635	1.771	1.908

Çizelge 4.3. $H=1m$ ve farklı debi (Q) değerleri için hidrolik güç (W_{net}) değerleri

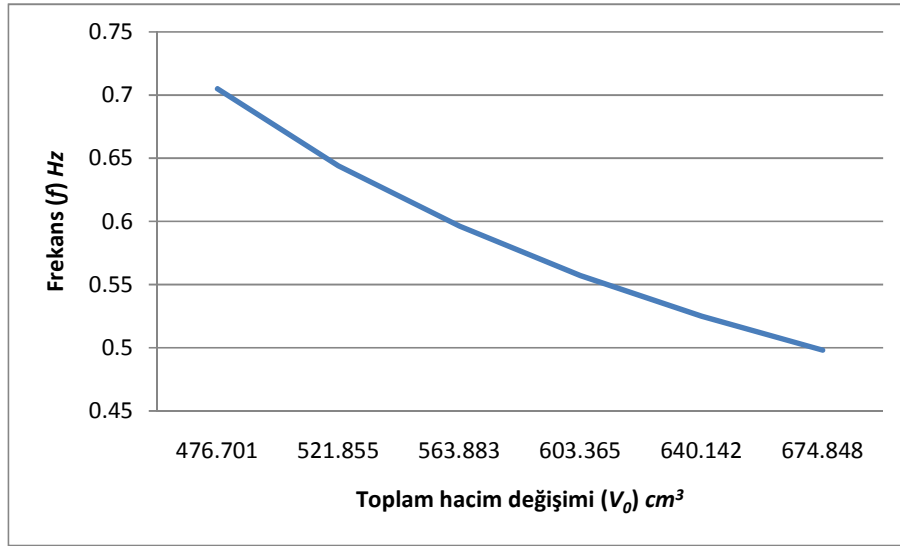
$Q (m^3/h)$	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
W_{net} (Watt)	1.363	1.635	1.908	2.180	2.453

4.1.4. Sistemdeki toplam hacim değişiminin hesaplanması (V_0)

Sistemdeki toplam hacim değişimi, istenilen debi ve basma yüksekliği için denklem 3.30 ile hesaplanmaktadır. Hesaplanan V_0 değerleri, Çizelge 4.4.'de $Q=0.5 m^3/h$, $H=1m$ ve farklı frekans değerleri için, Çizelge 4.5.'de $Q=0.5 m^3/h$, $f=0.596 Hz$ ve farklı basma yüksekliği (H) için ve Çizelge 4.6.'da $H=1m$, $f=0.596 Hz$ ve farklı debi değerleri için görülmektedir. Çizelge 4.4.'de de görüldüğü gibi frekans değerlerinin artması ile sistemdeki toplam hacim değişimi değerleri doğru orantılı olarak artmaktadır.

Çizelge 4.4. $Q=0.5 \text{ m}^3 / h$, $H=1\text{m}$ ve farklı frekans değerleri için toplam hacim değişimi (V_0) değerleri

f (Hz)	0.705	0.644	0.596	0.557	0.525	0.498
V_0 (cm^3)	476.701	521.855	563.883	603.365	640.142	674.848



Şekil 4.4. Sabit debi ($Q=0.5 \text{ m}^3 / h$,) ve basma yüksekliği ($H=1\text{m}$), farklı frekans (f) değerlerinde toplam hacim değişimi (V_0) grafiği

Şekil 4.4.'de görüldüğü gibi frekans değeri azaldıkça, pompa sistemindeki toplam hacim değişimi artmaktadır.

Çizelge 4.5. $Q=0.5 \text{ m}^3 / h$, $f=0.596 \text{ Hz}$ ve farklı basma yüksekliği (H) için toplam hacim değişimi (V_0) değerleri

H (m)	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
V_0 (cm^3)	563.883	620.272	676.66	733.049	789.437	845.825

Çizelge 4.6. $H=1\text{m}$, $f=0.596\text{ Hz}$ ve farklı debi değerleri için toplam hacim değişimi (V_0) değerleri

$Q(m^3/h)$	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$V_0 (cm^3)$	563.883	676.66	789.437	902.214	1014.99	1127.77

4.1.5. Süpürme hacminin hesaplanması (V_s)

Sistemde yer değiştirici pistondaki süpürme hacmi denklem 3.31 yardımı ile hesaplanmaktadır. Kullanılan bilgisayar programı ile hesaplanan süpürme hacmi değerleri (V_s) Çizelge 4.7.'de $Q=0.5\text{ m}^3/h$, $H=1\text{m}$ ve farklı frekans değerleri için, Çizelge 4.8.'de $Q=0.5\text{ m}^3/h$, $f=0.596\text{ Hz}$ ve farklı basma yüksekliği (H) değerleri için, Çizelge 4.9.'da $H=1\text{m}$, $f=0.596\text{ Hz}$ ve farklı debi (Q) değerleri için görülmektedir. Çizelge 4.7.'de artan frekans değerleri için, sistemdeki süpürme hacmi değerleri, doğru orantılı olarak artmaktadır. Çizelge 4.9.'dan da anlaşılabileceği üzere, sistemdeki basılacak debi değeri arttıkça, sistemdeki süpürme hacmi değeri doğru orantılı olarak artmaktadır.

Çizelge 4.7. $Q=0.5\text{ m}^3/h$, $H=1\text{m}$ ve farklı frekans değerleri için süpürme hacmi (V_s) değerleri

$f\text{ (Hz)}$	0.705	0.644	0.596	0.557	0.525	0.498
$V_s (cm^3)$	337.079	369.007	398.726	426.644	452.649	477.19

Çizelge 4.8. $Q=0.5\text{ m}^3/h$, $f=0.596\text{ Hz}$ ve farklı basma yüksekliği (H) için süpürme hacmi (V_s) değerleri

$H\text{ (m)}$	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
$V_s (cm^3)$	398.726	438.598	478.471	518.344	558.216	598.089

Çizelge 4.9. $H=1\text{m}$, $f=0.596\text{ Hz}$ ve farklı debi değerleri için toplam hacim değişimi (V_0) değerleri

$Q (m^3/h)$	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$V_s (cm^3)$	398.726	478.471	558.216	637.961	717.706	797.452

4.1.6. Yer değiştirici piston çapının hesaplanması (D)

Yer değiştirici piston çapı değerleri Denklem 3.34 yardımı ile hesaplanmaktadır. Yer değiştirici piston çapı değerleri Çizelge 4.10.'da $Q=0.5\text{ m}^3/h$, $H=1\text{m}$ ve farklı frekans değerleri için, Çizelge 4.11.'de $Q=0.5\text{ m}^3/h$, $f=0.596\text{ Hz}$ ve farklı basma yüksekliği (H) için, Çizelge 4.12.'de $H=1\text{m}$, $f=0.596\text{ Hz}$ ve farklı debi (Q) değerleri için görülmektedir.

Çizelge 4.10. $Q=0.5\text{ m}^3/h$, $H=1\text{m}$ ve farklı frekans değerleri için yer değiştirici piston çapı (D) değerleri

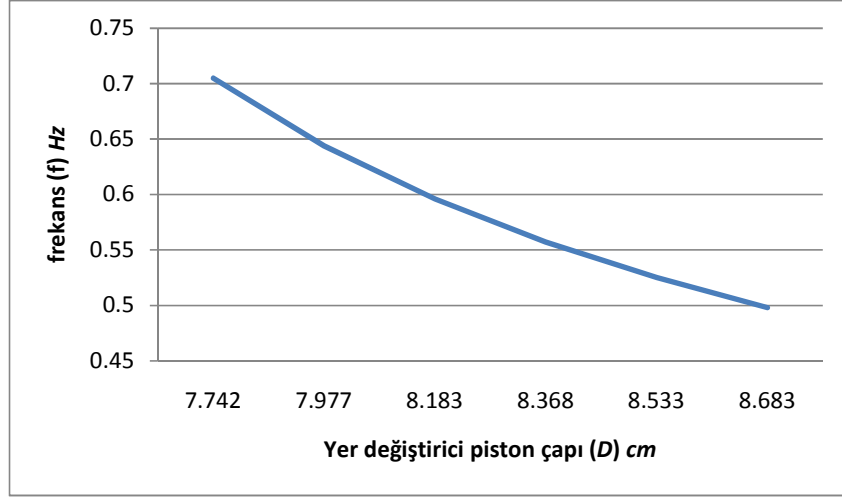
$f (\text{Hz})$	0.705	0.644	0.596	0.557	0.525	0.498
$D (cm)$	7.742	7.977	8.183	8.368	8.533	8.683

Çizelge 4.11. $Q=0.5\text{ m}^3/h$, $f=0.596\text{ Hz}$ ve farklı basma yüksekliği (H) için yer değiştirici piston çapı (D) değerleri

$H (m)$	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
$D (cm)$	8.183	8.445	8.691	8.923	9.144	9.355

Çizelge 4.12. $H=1\text{m}$, $f=0.596\text{ Hz}$ ve farklı debi (Q) değerleri için yer değiştirici piston çapı (D) değerleri

$Q (m^3/h)$	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$D (cm)$	8.183	8.691	9.144	9.556	9.935	10.286



Şekil 4.5. $Q=0.5 \text{ m}^3/h$, $H=1\text{m}$ ve farklı frekans değerleri için yer değiştirici piston çapı (D) değerleri grafiği

Şekil 4.5.'de görüldüğü gibi, sistemin frekans değerleri azaldığında yer değiştirici piston çapı değeri azalmaktadır.

4.1.7. Sistemdeki ölü hacimlerin hesaplanması (V_D)

Sıvı pistonlu stirling motorlu pompa için ölü hacimlerin hesaplaması, Denklem 3.36 yardımı ile yapılmaktadır. Yazılan bilgisayar programı ile hesaplanan ölü hacim değerleri (V_D), Çizelge 4.13.'de $Q=0.5 \text{ m}^3/h$, $H=1\text{m}$ ve farklı frekans değerleri (f) için, Çizelge 4.14.'de $Q=0.5 \text{ m}^3/h$, $f=0.596 \text{ Hz}$ ve farklı basma yüksekliği (H) için ve Çizelge 4.15.'de $H=1\text{m}$, $f=0.596 \text{ Hz}$ ve farklı debi (Q) değerleri için görülmektedir.

Çizelge 4.13. $Q=0.5 \text{ m}^3/h$, $H=1\text{m}$ ve farklı frekans değerleri için sistem ölü hacmi değerleri (V_D)

$f \text{ (Hz)}$	0.705	0.644	0.596	0.557	0.525	0.498
$V_D \text{ (cm}^3\text{)}$	377.528	413.288	446.573	477.841	506.967	534.453

Çizelge 4.14. $Q=0.5 \text{ m}^3/h$, $f=0.596 \text{ Hz}$ ve farklı basma yüksekliği (H) için sistem ölü hacmi değerleri (V_D)

$H(m)$	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
$V_D (cm^3)$	446.573	491.23	535.888	580.545	580.545	669.859

Çizelge 4.15. $H=1m$, $f=0.596 \text{ Hz}$ ve farklı debi değerleri için sistem ölü hacmi değerleri (V_D)

$Q(m^3/h)$	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$V_D (cm^3)$	446.573	535.888	625.202	714.517	803.831	893.146

4.1.8. Sistemin saatlik strok sayısının hesaplanması (S_s)

Sistemin saatlik strok sayısı Denklem 3.38 yardımı ile hesaplanmaktadır. Farklı frekans değerleri (f) için, sistemin saatlik strok sayısı değerleri Çizelge 4.16.'da görülmektedir.

Çizelge 4.16. Farklı frekans değerleri için (f) strok sayısı (S_s) değerleri

$f (Hz)$	0.705	0.644	0.596	0.557	0.525	0.498
S_s (birimsiz)	2538	2318.4	2145.6	2005.2	1890	1792

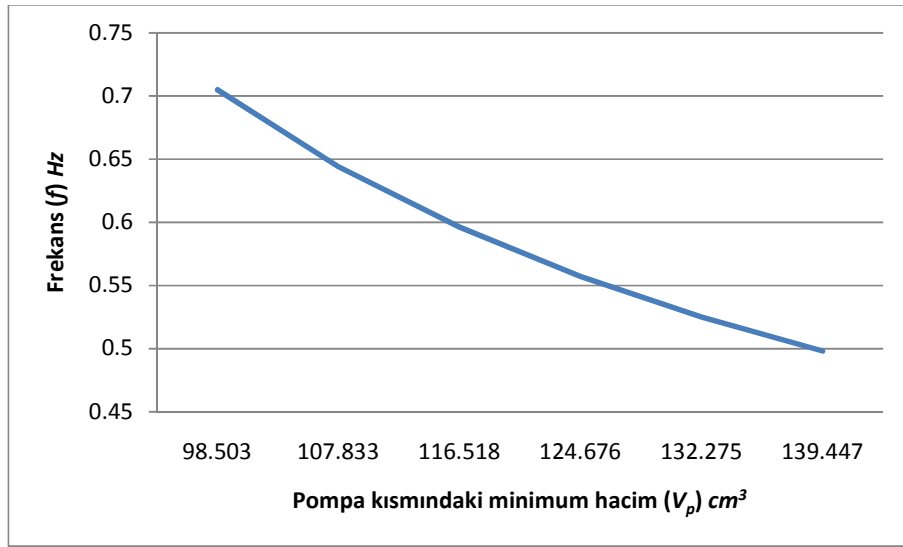
4.1.9. Pompa kısmındaki minimum ölü hacmin hesaplanması (V_p)

Pompa kısmındaki minimum ölü hacmin hesaplanması için denklem 3.39 ve 3.40 kullanılır. Oluşturulan program ile pompa kısmındaki minimum hacim (V_p), Çizelge 4.17.'de $Q=0.5 \text{ m}^3/h$, $H=1m$ ve farklı frekans (f) değerleri için, Çizelge 4.18.'de $H=1m$, $f=0.596 \text{ Hz}$ ve farklı debi değerleri için görülmektedir.

Çizelge 4.17. $Q=0.5 \text{ m}^3/h$, $H=1\text{m}$ ve farklı frekans değerleri için, pompa kısmındaki minimum ölü hacmin (V_p) değerleri

$f \text{ (Hz)}$	0.705	0.644	0.596	0.557	0.525	0.498
$V_p \text{ (cm}^3\text{)}$	98.503	107.833	116.518	124.676	132.275	139.447

Şekil 4.6.'da görüldüğü gibi frekans değerlerinin azalması ile pompa kısmındaki minimum ölü hacim değeri azalmaktadır.



Şekil 4.6. Pompa kısmındaki minimum hacmin frekans değeri ile değişimi

Çizelge 4.18. $H=1\text{m}$, $f=0.596 \text{ Hz}$ ve farklı debi değerleri için, pompa kısmındaki minimum ölü hacmin (V_p) değerleri

$Q \text{ (m}^3/h\text{)}$	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$V_p \text{ (cm}^3\text{)}$	116.518	139.821	163.125	186.428	209.732	116.518

4.1.10. Genişleme (V_e), sıkıştırma (V_c), ısıtıcı (V_i) ve rejeneratör (V_r)

kısımlarının ölü hacimlerinin hesaplanması

Denklemler 3.40, 3.41, 3.42 ile hesaplanır. Sistem tasarımında kullanılan program ile hesaplanan hacim değerleri Çizelge 4.19.'da $Q=0.5 \text{ m}^3/h$, $H=1\text{m}$ ve farklı frekans değerleri (f) için, Çizelge 4.20.'de $Q=0.5 \text{ m}^3/h$, $f=0.596 \text{ Hz}$ ve farklı basma yüksekliği (H) için ve Çizelge 4.21.'de $H=1\text{m}$, $f=0.596 \text{ Hz}$ ve farklı debi (Q) değerleri için görölmektedir. Genişleme ve sıkıştırma kısımlarındaki hacimler birbirlerine eşit oldukları için çizelgelerde sadece sıkıştırma kısmı hacmi (V_e) görölmektedir.

Çizelge 4.19. $Q=0.5 \text{ m}^3/h$, $H=1\text{m}$ ve farklı frekans değerleri (f) için, genişleme (V_e), ısıtıcı (V_i), rejeneratör (V_r) kısımları ölü hacimleri

$f \text{ (Hz)}$	0.705	0.644	0.596	0.554	0.525	0.498
$V_e \text{ (cm}^3\text{)}$	197.006	215.666	233.035	249.352	264.55	278.893
$V_i \text{ (cm}^3\text{)}$	27.34	29.93	32.34	34.605	36.714	38.704
$V_r \text{ (cm}^3\text{)}$	54.68	59.859	64.68	69.209	73.427	77.408

Çizelge 4.20. $Q=0.5 \text{ m}^3/h$, $f=0.596 \text{ Hz}$ ve farklı basma yüksekliği (H) için, genişleme (V_e), ısıtıcı (V_i), rejeneratör (V_r) kısımları ölü hacimleri

$H \text{ (m)}$	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
$V_e \text{ (cm}^3\text{)}$	233.035	233.035	233.035	233.035	233.035	233.035
$V_i \text{ (cm}^3\text{)}$	32.34	47.226	62.112	76.997	91.883	106.769
$V_r \text{ (cm}^3\text{)}$	64.68	94.452	124.223	153.995	183.766	213.538

Çizelge 4.21. $H=1m$, $f=0.596\text{ Hz}$ ve farklı debi (Q) değerleri için, genişleme (V_e), ısıtıcı (V_i), rejeneratör (V_r) kısımları ölü hacimleri

$Q (m^3 / h)$	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$V_e (cm^3)$	233.035	279.642	326.249	372.856	419.463	466.070
$V_i (cm^3)$	32.34	38.808	45.276	51.744	58.212	64.680
$V_r (cm^3)$	64.68	77.616	90.552	103.488	116.424	129.360

4.1.11. Ayarlama kolonu uzunluğunun hesaplanması (L_t)

Sistemin ayarlama kolonu uzunluğu Denklem 3.21 ile hesaplanmaktadır. Uygulama açısından bulunan ayarlama kolonu uzunluğu değerlerinin çok yüksek olmaması gerekmektedir. Bu kısma kadar bulunan değerler denklem 3.21’de oluşturulan program sayesinde yerlerine yerleştirildiğinde, ayarlama kolonu yarıçapına (R_t) bağlı bir denklem elde edilmektedir. Çizelge 4.22.’de $Q=0.5\text{ m}^3 / h$, $H=1m$, $f=0.596$ ve farklı ayarlama kolonu yarıçapı (R_t) değerleri için hesaplanan ayarlama kolonu uzunluğu (L_t) değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.22. $Q=0.5\text{ m}^3 / h$, $H=1m$, $f=0.596$ ve farklı ayarlama kolonu yarıçapı (R_t) değerleri için, ayarlama kolonu uzunluğu (L_t) değerleri

$R_t (m)$	0.01	0.02	0.03	0.04
$L_t (m)$	1.546	2.748	6.182	10.991

Çizelge 4.23.’de $Q=0.5\text{ m}^3 / h$, $H=1m$, $R_t=0.02m$ ve farklı frekans değerleri (f) için, Çizelge 4.24.’de $Q=0.5\text{ m}^3 / h$, $f=0.596\text{ Hz}$, $R_t=0.02m$ ve farklı basma yüksekliği (H) için, Çizelge 4.25.’de $f=0.596\text{ Hz}$, $R_t=0.02m$, $H=1m$ ve farklı debi değerleri (Q) için hesaplanan ayarlama kolonu uzunluğu değerleri (L_t) görülmektedir.

Çizelge 4.23. $Q=0.5 \text{ m}^3 / h$, $H=1\text{m}$, $R_t=0.02\text{m}$ ve farklı frekans değerleri (f) için, ayarlama kolonu uzunlukları (L_t)

f (Hz)	0.705	0.644	0.596	0.557	0.525	0.498
L_t (m)	1.981	2.363	2.748	3.134	3.515	3.893

Çizelge 4.24. $Q=0.5 \text{ m}^3 / h$, $f=0.596 \text{ Hz}$, $R_t=0.02\text{m}$ ve farklı basma yüksekliği (H) için, ayarlama kolonu uzunlukları (L_t)

H (m)	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
L_t (m)	2.748	2.736	2.724	2.713	2.701	2.690

Çizelge 4.25. $f=0.596 \text{ Hz}$, $R_t=0.02\text{m}$, $H=1\text{m}$ ve farklı debi değerleri (Q) için, ayarlama kolonu uzunlukları (L_t)

Q (m^3 / h)	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
L_t (m)	2.748	2.718	2.688	2.659	2.631	2.604

4.1.12. Kinetik akış kayıplarının hesaplanması (E_k)

Sistemde meydana gelen kinetik enerji kayıpları, ayarlama kolonu yarıçapına (R_t) bağlı olarak farklılıklar gösterir. Çizelge 4.26.'da $Q=0.5 \text{ m}^3 / h$, $H=1\text{m}$, $f=0.596$ ve farklı ayarlama kolonu yarıçapı (R_t) değerleri için, kinetik akış kayıpları (E_k) değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.26. $Q=0.5 \text{ m}^3 / h$, $H=1\text{m}$, $f=0.596$ ve farklı ayarlama kolonu yarıçapı (R_t) değerleri için, kinetik akış kayıpları (E_k)

R_t (m)	0.01	0.02	0.03	0.04
E_k (Watt)	0.222	0.167	0.111	0.083

4.1.13. Viskoz akış kayıpları (E_v)

Sistemde meydana gelen viskoz akış kayıpları denklem 3.46 ile hesaplanır. Kinetik akış kayıpları hesabında olduğu gibi değerler denklem 3.46'de yerlerine konduğunda, ayarlama kolonu yarıçapına (R_t) bağlı bir denklem elde edilmektedir. Çizelge 4.27.'de $Q=0.5 m^3/h$, $H=1m$, $f=0.596$ ve farklı ayarlama kolonu yarıçapı (R_t) değerleri için, viskoz akış kayıpları (E_v) değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.27. $Q=0.5 m^3/h$, $H=1m$, $f=0.596$ ve farklı ayarlama kolonu yarıçapı (R_t) değerleri için, viskoz akış kayıpları (E_v)

R_t (m)	0.01	0.02	0.03	0.04
E_v (Watt)	0.297	0.094	0.019	0.006

4.1.14. Geçici ısı transfer kayıpları (E_h)

Geçici ısı transfer kayıpları (E_h) denklem 3.48 ile hesaplanır. Denklemden genişleme kısmı sıcaklığı (T_e) farklı değerler alınarak hesaplama işlemi uygulanmaktadır. Bu hesaplama için değerler Çizelge 4.28.'de görülmektedir.

Çizelge 4.28. $Q=0.5 m^3/h$, $H=1m$, $f=0.596$ ve farklı genişleme kısmı sıcaklıkları (T_e) için, geçici ısı transfer kayıpları (E_h)

T_e ($^{\circ}K$)	277	300	327	352
E_h (Watt)	1.065	1.134	1.218	1.302

4.1.15. Sistem için gerekli minimum gücün hesaplanması (W_{min})

Sistem için çalışabilmesi için gerekli minimum güç (W_{min}), pompalama için gerekli hidrolik güç (W_{net}), viskoz akış kayıpları (E_v), kinetik akış kayıpları (E_k) ve geçici

ısı transfer kaybı (E_h) değerlerinin toplanması ile elde edilir. Çizelge 4.29'da $Q=0.5 \text{ m}^3/h$, $H=1\text{m}$, $R_t=0.02 \text{ m}$, $T_e = 327^\circ$ ve farklı frekans değerleri (f) için, Çizelge 4.30'da $Q=0.5 \text{ m}^3/h$, $f=0.596 \text{ Hz}$, $R_t=0.02\text{m}$, $T_e = 327^\circ$ ve farklı basma yüksekliği (H) için, Çizelge 4.31'de $f=0.596 \text{ Hz}$, $R_t=0.02\text{m}$, $T_e = 327^\circ$, $H=1\text{m}$ ve farklı debi değerleri (Q) için, Çizelge 4.32'de $Q=0.5 \text{ m}^3/h$, $f=0.596 \text{ Hz}$, $R_t=0.02\text{m}$, ve farklı genişleme kısmı sıcaklıkları için hesaplanan minimum güç değerleri ($W_{\min}$) görülmektedir. Farklı değişkenler için hesaplanan minimum çıkış gücü her değişken için doğru orantılı olarak arttığı Çizelge 4.29. Çizelge 4.30. Çizelge 4.31. ve Çizelge 4.32.'de görülmektedir. En büyük minimum güç artışı, basma yüksekliğinin artışında meydana gelmektedir.

Çizelge 4.29. $Q=0.5 \text{ m}^3/h$, $H=1\text{m}$, $R_t=0.02\text{m}$, $T_e = 327^\circ$ ve farklı frekans değerleri (f) için hesaplanan gerekli minimum güç ($W_{\min}$)

$f \text{ (Hz)}$	0.705	0.644	0.596	0.557	0.525	0.498
$W_{\min} \text{ (Watt)}$	2.773	2.809	2.842	2.872	2.9	2.926

Çizelge 4.30. $Q=0.5 \text{ m}^3/h$, $f=0.596 \text{ Hz}$, $R_t=0.02 \text{ m}$, $T_e = 327^\circ$ ve farklı basma yüksekliği (H) için hesaplanan, gerekli minimum güç ($W_{\min}$)

$H \text{ (m)}$	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
$W_{\min} \text{ (Watt)}$	2.842	3.122	3.41	3.705	4.008	4.32

Çizelge 4.31. $f=0.596 \text{ Hz}$, $R_t=0.02\text{m}$, $T_e = 327^\circ$, $H=1\text{m}$ ve farklı debi değerleri (Q) için hesaplanan, gerekli minimum güç ($W_{\min}$)

$Q \text{ (m}^3/h\text{)}$	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$W_{\min} \text{ (Watt)}$	2.842	3.409	4.006	4.639	5.313	6.034

Çizelge 4.32. $Q=0.5 \text{ m}^3 / h$, $f=0.596 \text{ Hz}$, $R_t=0.02m$, ve farklı genişleme kısmı sıcaklıkları (T_e) için hesaplanan, gerekli minimum güç ($W_{\min}$)

T_e (Kelvin)	277	300	327	352
$W_{\min}$ (Watt)	2.688	2.757	2.842	2.925

4.1.16. Sistem çıkış gücünün hesaplanması (W_0)

Sistemde, kayıpların ihmal edildiği ve ideal olan çıkış gücü denklem 3.29 vasıtası ile hesaplanır. Farklı genişleme kısmı sıcaklıkları (T_e) için sistemin çıkış gücü değerleri (W_0) Çizelge 4.33.'de görülmektedir. Çizelge 4.33.'de ki değerler $Q=0.5 \text{ m}^3 / h$, $f=0.596 \text{ Hz}$, $R_t=0.02m$, ve farklı genişleme kısmı sıcaklıkları (T_e) için hesaplanmaktadır.

Çizelge 4.33. $Q=0.5 \text{ m}^3 / h$, $f=0.596 \text{ Hz}$, $R_t=0.02m$, ve farklı genişleme kısmı sıcaklıkları (T_e) için sistem çıkış gücü değerleri (W_0)

$T_e (^{\circ})$	277	300	327	352
W_0 (Watt)	5.009	5.326	5.677	5.984

4.2. Güneş Açıları ve Güneş Işınımının Hesaplanması

Şekil 4.7.'de görüldüğü gibi program sayesinde, seçilen il için, ay ve saat seçimi ile gerekli hesaplamalar yapılmaktadır. Ay seçiminde, seçilen ay için, ortalama değerleri veren gün hesaba katılmaktadır.

Denklinasyon açısı (de)		derece	Ay seçimi	
Güneşsel saat açısı (Hgsa)		derece	Saat seçimi	
Güneş Açısı (Ha)		derece	İl seçimi	
Zenit açısı (z)		derece		
Gün uzunluğu (tg)		saat		
Düzeltilme faktörü (f)		birimsiz		

Şekil 4.7. Güneş açısı ve ışınlarının hesaplanması için ay, saat ve il seçiminin yapıldığı kısım

4.2.1.Güneş açılarının hesaplanması

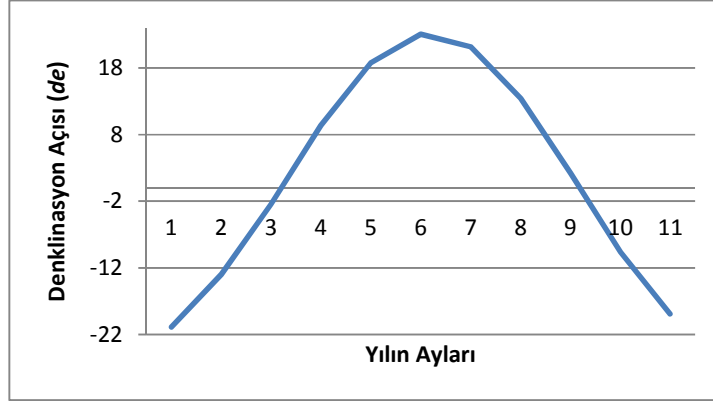
4.2.1.1. Güneş denklinasyon açısının hesaplanması (de)

Güneş denklinasyon açısı, Denklem 3.49 ile hesaplanmaktadır. Çizelge 4.34.'de yılın ayları için hesaplanan ortalama denklinasyon açısı değerleri görülmektedir. Denklinasyon açısı Ocak, Şubat, Mart, Ekim, Kasım, Aralık aylarında eksi değerde, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül aylarında ise pozitif değer almaktadır. Çizelge 4.34.'de hesaplanan değerler, her ay için ortalama denklinasyon açısı değerlerini veren ayın günlerinden yola çıkılarak, oluşturulan program ile hesaplanmaktadır. Ortalama denklinasyon açısının veren ayın günleri Çizelge 4.34. te verilmiştir.

Çizelge 4.34. Yıl boyunca denklinasyon açıları

Aylar	Gün	n	de
Ocak	17	17	-20.917
Şubat	16	47	-12.955
Mart	16	75	-2.418
Nisan	15	105	9.415
Mayıs	15	135	18.792
Haziran	11	162	23.086
Temmuz	17	198	21.184
Ağustos	16	228	13.455
Eylül	15	258	2.217
Ekim	15	288	-9.599
Kasım	14	318	-18.912
Aralık	10	344	-23.05

Şekil 4.8.'de ise denklinasyon açısının aylara göre değişimi grafiği görülmektedir. Şekil 4.8.'den de anlaşılacağı gibi denklinasyon açısı, maksimum değerini yılın haziran ayında almaktadır.



Şekil 4.8. Deklinasyon açılarının aylara göre değişimi

4.2.1.2. Güneşsel saat açısı (h_{GSA}), yerel saat açısı (H_a), gün uzunluğu (t_g), zenit (z) ve güneş geliş açısının (θ_g) hesaplanması

Güneşsel saat açısı (h_{GSA}), Denklemler 3.50 ve 3.51 ile hesaplanmaktadır. Güneşsel saat açısı değerleri öğleden önce negatif, öğleden sonraları ise pozitif değerler alır. Çizelge 4.35.'de gün içinde değişen güneşsel saat açısı değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.35. Gün içinde değişen güneşsel saat açısı değerleri

Saat	h_{GSA} (derece)
08:00	-60
09:00	-45
10:00	-30
11:00	-15
12:00	0
13:00	15
14:00	30
15:00	45
16:00	60
17:00	75

Yerel saat açısı ise denklem 3.52 yardımı ile hesaplanmaktadır. Çizelge 4.36'da güneşsel saat açıları Isparta, Antalya ve Ankara illeri için görülmektedir.

Çizelge 4.36. Isparta, Ankara, Antalya illeri için saat açıları (H_a)

H_a	Isparta	Ankara	Antalya
Ocak	73.068	71.628	73.63
Şubat	79.923	79.084	80.252
Mart	88.197	88.045	88.256
Nisan	97.324	97.924	97.089
Mayıs	105.114	106.382	104.618
Haziran	109.05	110.676	108.417
Temmuz	107.268	108.73	106.698
Ağustos	100.578	101.453	100.235
Eylül	91.741	91.88	91.686
Ekim	82.621	82.009	82.861
Kasım	74.872	73.594	75.371
Aralık	71.076	69.453	71.708

Gün uzunluğu değeri (t_g) Denklem 3.53 ile hesaplanmaktadır. Çizelge 4.37.'de, Isparta, Ankara, Antalya illeri için hesaplanan gün uzunluğu değerlerinin aylara göre dağılımı görülmektedir. Çizelge 4.37.'de de görüldüğü gibi gün uzunluğu değerleri, her üç ilimiz içinde maksimum değerini Temmuz ayında almaktadır. Ayrıca maksimum gün uzunluğuna sahip ilimiz Çizelge 4.37.'ye göre Ankara ilimiz olarak görülmektedir.

Çizelge 4.37. Gün uzunluğunun (t_g) bazı iller için aylara göre değişimi

t_g (saat)	Isparta	Ankara	Antalya
Ocak	9.742	9.55	9.817

Çizelge 4.37. (devam)

Şubat	10.656	10.544	10.7
Mart	11.76	11.739	11.768
Nisan	12.977	13.057	12.945
Mayıs	14.015	14.184	13.949
Haziran	14.54	14.757	14.456
Temmuz	14.302	14.497	14.226
Ağustos	13.41	13.527	13.365
Eylül	12.232	12.251	12.225
Ekim	11.016	10.934	11.048
Kasım	9.983	9.812	10.049
Aralık	9.477	9.26	9.561

Zenit açısı, Denklem 3.54 ve 3.55 ile ve güneş geliş açısı, Denklem 3.56 ile hesaplanmaktadır. Zenit açısı ve güneş ışınlarının geliş açısı değerleri Temmuz ayı için, günün değişen saatlerinde, Isparta, Ankara ve Antalya illeri için Çizelge 4.38.'de görülmektedir.

Çizelge 4.38. Farklı iller için, Temmuz ayında, günün değişen saatlerinde zenit (z) ve güneş ışını geliş açısı değerleri (θ_g)

	Isparta		Ankara		Antalya	
Saat	z	θ_g	z	θ_g	z	θ_g
08:00	53.863	1.069	53.883	1.054	53.872	1.075
09:00	41.996	0.831	42.415	0.814	41.851	0.838
10:00	30.577	0.606	31.516	0.846	30.228	0.615
11:00	20.777	0.415	22.437	0.385	20.127	0.428
12:00	16.216	0.328	18.416	0.289	15.316	0.343
13:00	20.777	0.415	22.437	0.385	20.127	0.428
14:00	30.577	0.606	31.516	0.846	30.228	0.615
15:00	41.996	0.831	42.415	0.814	41.851	0.838
16:00	53.863	1.069	53.883	1.054	53.872	1.075
17:00	65.732	1.311	65.413	1.297	65.874	1.317

4.2.2. Güneş ışıınının hesaplanması

4.2.2.1. Atmosfer dışına gelen güneş ışıınıı hesabı (I_0)

Atmosfer dışına gelen güneş ışıınıı, Denklem 3.57 ve 3.58 ile hesaplanmaktadır. Çizelge 4.39.'da Isparta, Ankara ve Antalya illerinde, yılın her ayı için, saat 12:00'da hesaplanan atmosfer dışına gelen güneş ışıınıı değeri görülmektedir.

Çizelge 4.39. Isparta, Ankara ve Antalya illerinde atmosfer dışına gelen güneş ışıınıı değeri (I_0)

I_0 (Watt/m ²)	Isparta	Ankara	Antalya
Ocak	688.333	645.086	705.737
Şubat	857.727	817.415	873.858
Mart	1072.247	1037.184	1086.139
Nisan	1221.568	1195.778	1231.602
Mayıs	1266.107	1248.827	1272.639
Haziran	1272.514	1259.126	1277.452
Temmuz	1263.302	1248.282	1268.911
Ağustos	1242.42	1220.348	1250.924
Eylül	1140.996	1109.313	1153.475
Ekim	943.501	904.019	959.255
Kasım	741.291	698.125	758.639
Aralık	650.423	605.98	668.332

4.2.2.2. Günlük tüm güneş ışıınının hesaplanması (Q_0)

Atmosfer dışından yatay birim düzleme bir gün boyunca gelen güneş ışıınıı miktarını, Denklemler 3.59, 3.60, 3.61 ve 3.62 kullanılarak hesaplanmaktadır.

Denklem 3.60'daki aylık ızafı güneşlenme oranı ($\frac{t}{t_0}$) Ek-2 de verilen tablolardan

alınarak bilgisayar programında kullanılmaktadır. Çizelge 4.40.'da Isparta, Ankara

ve Antalya illeri için aylara göre dağılan atmosfer dışından yatay birim düzleme bir gün boyunca gelen güneş ışınlam miktarları görülmektedir.

Çizelge 4.40. Isparta, Ankara ve Antalya İlleri için yatay birim düzleme gelen güneş ışınlamı miktarı değerleri (Q_0)

Q_0 (Watt/m ²)	Isparta	Ankara	Antalya
Ocak	4342.201	3994.064	4484.038
Şubat	5881.484	5550.643	6014.822
Mart	8044.065	7768.949	8153.236
Nisan	10002.34	9843.89	10063.17
Mayıs	11077.29	11037.23	11089.98
Haziran	11481.71	11500.71	11470.59
Temmuz	11243.1	11235.62	11242.66
Ağustos	10467.9	10358.92	10508.56
Eylül	8867.618	8633.033	8959.854
Ekim	6670.164	6347.576	6799.585
Kasım	4784.158	4433.628	4926.567
Aralık	3997.902	1140.485	4142.335

4.2.2.3. Yatay düzleme gelen anlık tüm güneş ışınlamının hesaplanması (I)

Anlık tüm güneş ışınlamı denklem 3.63 yardımıyla hesaplanmaktadır. Hazırlanan bilgisayar programı sayesinde Isparta, Ankara ve Antalya illeri için, Temmuz ayında, günün değişen saatlerinde hesaplanan anlık tüm güneş ışınlamı değerleri izelge 4.40'da görülmektedir. Anlık güneş ışınlamı değerleri her üç ilimiz içinde saat 12:00'da, maksimum değerini almaktadır. Ayrıca Çizelge 4.41'e göre hesaplanan anlık ışınlam değerlerinden maksimum değere sahip ilimiz Antalya olarak görülmektedir.

Çizelge 4.41. Isparta, Ankara ve Antalya illeri için Temmuz ayı anlık tüm güneş ışıını (I) değerleri

$I (Watt/m^2)$	Isparta	Ankara	Antalya
08:00	471.008	469.404	501.853
09:00	613.709	605.479	656.586
10:00	714.042	700.922	765.49
11:00	772.147	756.262	828.531
12:00	795.484	778.589	853.804
13:00	772.147	756.262	828.531
14:00	714.042	700.922	765.49
15:00	613.709	605.479	656.586
16:00	471.008	469.404	501.853
17:00	301.294	306.324	318.406

4.2.2.4. Yatay düzleme gelen direkt (I_d) ve yayılı (I_y) anlık güneş ışıını değerlerinin hesaplanması

Hazırlanan bilgisayar programı sayesinde Isparta, Ankara ve Antalya illeri için temmuz ayında, günün değişen saatlerinde hesaplanan, direkt ve yayılı anlık ışıını değerleri, Çizelge 4.42.'de görölmektedir.

Çizelge 4.42. Isparta, Ankara ve Antalya ili için, Temmuz ayında yatay düzleme gelen direk (I_d) ve yayılı (I_y) anlık güneş ışıını değerleri

	Isparta		Ankara		Antalya	
$(Watt/m^2)$	I_d	I_y	I_d	I_y	I_d	I_y
08:00	324.272	146.736	321.449	147.955	368.922	132.931
09:00	428.845	184.863	420.215	185.264	488.696	167.89
10:00	499.923	214.118	487.033	213.889	570.776	194.714

Çizelge 4.42. (devam)

11:00	539.639	232.509	524.378	231.884	616.955	211.576
12:00	556.703	238.781	540.567	238.022	636.476	217.328
13:00	539.639	232.509	524.378	231.884	616.955	211.576
14:00	499.923	214.118	487.033	213.889	570.776	194.714
15:00	428.845	184.863	420.215	185.264	488.696	167.89
16:00	324.272	146.736	321.449	147.955	368.922	132.931
17:00	198.963	102.331	201.819	104.505	226.189	92.217

4.2.2.5. Eğik düzleme gelen anlık güneş ışınlamalarının hesaplanması

Eğik düzleme gelen anlık güneş ışınlamı değerleri, Çizelge 4.43’de Isparta, Çizelge 4.44’de Ankara, Çizelge 4.45.’de Antalya, illeri için temmuz ayında, farklı saatleri için gösterilmektedir.

Çizelge 4.43. Isparta ili Temmuz ayı eğik düzleme gelen anlık güneş ışınlamı değerleri

$(Watt/m^2)$	I_{ed}	I_{ey}	I_{ya}	I_e
08:00	264.527	133.48	8.51	406.517
09:00	388.892	168.164	11.088	568.144
10:00	477.29	194.776	12.901	684.967
11:00	528.124	211.505	13.95	753.58
12:00	548.899	217.211	14.372	780.482
13:00	528.124	211.505	13.95	753.58
14:00	477.29	194.776	12.901	684.967
15:00	388.892	168.164	11.088	568.144
16:00	264.527	133.48	8.51	406.517
17:00	124.179	93.087	5.443	222.709

Çizelge 4.44. Ankara ili Temmuz ayı eğik düzleme gelen anlık güneş ışıını değeri

$(Watt/m^2)$	I_{ed}	I_{ey}	I_{ya}	I_e
08:00	269.299	134.59	8.481	412.369
09:00	390.588	168.528	10.939	570.055
10:00	476.406	194.568	12.664	683.637
11:00	525.758	210.937	13.663	750.358
12:00	546.041	216.52	14.067	776.628
13:00	525.758	210.937	13.663	750.358
14:00	476.406	194.568	12.664	683.637
15:00	390.588	168.528	10.939	570.055
16:00	269.299	134.59	8.481	412.369
17:00	130.855	95.065	5.534	231.454

Çizelge 4.45. Antalya ili Temmuz ayı eğik düzleme gelen anlık güneş ışıını değeri

$(Watt/m^2)$	I_{ed}	I_{ey}	I_{ya}	I_e
08:00	297.629	120.923	9.067	427.619
09:00	438.676	152.724	11.863	603.263
10:00	539.53	177.124	13.83	730.485
11:00	597.833	192.463	14.969	805.266
12:00	621.369	197.695	15.426	834.49
13:00	597.833	192.463	14.969	805.266
14:00	539.53	177.124	13.83	730.485
15:00	438.676	152.724	11.863	603.263
16:00	297.629	120.923	9.067	427.619
17:00	138.887	83.886	5.753	228.526

4.3. Parabolik Oluklu Güneş Kolektörü Isıl Analizi

Parabolik oluklu güneş kolektörü ısı analizinde, alıcı yüzeyinde meydana gelen ısı kayıplarının bulunması gerekmektedir. Oluşturulan program sayesinde bu kayıplar bulunabilmektedir. Programda cam kaplama yüzeyi ışıyım neşretme oranı $\varepsilon_g=0.91$ ve alıcı yüzey ışıyım neşretme oranı $\varepsilon_r=0.88$ olarak kabul edilmektedir. Çizelge 4.46.'da Isparta, Ankara ve Antalya illeri, Temmuz ayı, $T_r=460$ Kelvin ve $T_g=310$ Kelvin sıcaklıklarında, rüzgar hızı $v=0.5$ m/sn olduğu durumda hesaplanan termal kayıp katsayıları görülmektedir. Hesaplamalarda alıcı boru dış çapı $D_o=0.025$ m, alıcı boru iç çapı $D_i=0.015$ m ve cam kaplama çapı $D_g=0.045$ m olarak kabul edilmektedir.

Çizelge 4.46. Isparta, Ankara ve Antalya illeri için hesaplanan, parabolik oluklu kolektör, ısı kayıp katsayıları

	h_w (Watt/m ² K)	$h_{r,c \rightarrow a}$ (Watt/m ² K)	$h_{r,r \rightarrow c}$ (Watt/m ² K)	U_L (Watt/m ² K)
Isparta	61.291	5.758	11.277	10.313
Ankara	61.287	5.756	11.277	10.313
Antalya	61.475	5.894	11.277	10.317

4.4. Örnek Uygulama

Bu bölümde Isparta, Antalya ve Ankara illerinde kullanılması öngörülen sıvı pistonlu Stirling motorlu güneş enerjili bir pompa için değerler hesaplanmaktadır.

Pompa kısmı için, sistem debisi $Q=0.5$ m³/h, basma yüksekliği $H=1$ m, sistem frekansının $f=0.596$ Hz, genişleme kısmı sıcaklığının $T_e=600$ °K, yer değiştirici kolon yarıçapı değerinin $R_i=0.02$ m olduğu kabul edilmektedir.

Kolektör kısmı için, sistemin Temmuz ayında saat 12’de çalıştırıldığı, alıcı boru dış çapı $D_0=0.025m$, alıcı boru iç çapı $D_i=0.015m$, cam örtü yüzey sıcaklığı $T_g=310$ Kelvin, alıcı yüzey sıcaklığı $T_r=460$ Kelvin, cam kaplama çapı $D_g=0.045m$, rüzgar hızı $v=0.5$ m/sn, ısıtıcı akışkan debisinin $\dot{m}=0.02$ kg/sn, değerleri kabul edilmektedir. Şekil 4.8.’de Isparta ili için, Şekil 4.9’da Ankara ili için, Şekil 4.10.’da Antalya ili için, çalıştırılan programların çıktıları görülmektedir.

sıvı pistonlu güneş enerjili stirling motorlu pompa tasarımı programı

Pompanacak debi (Q)	0.5	m ³ /h	Sistemin frekans değerleri (f)	0.596	Hz	Denklinasyon açısı (de)	21.184	derece	Ay seçimi	temmuz
Pompanacak yükseklik (H)	1	m				Güneşsel saat açısı (Hgsa)	0	derece	Saat seçimi	12
Gerekli olan hidrolik güç (W _{net})	1.363	Watt	Genişleme kısmı çalışma gazı sıcaklığının seçimi (T _e)			Güneş Açısı (Ha)	107.268	derece	İl seçimi	ısparta
Toplam hacim değişimi (V ₀)	563.883	cm ³	☐ 550 Kelvin ☐ 573 Kelvin ☒ 600 Kelvin ☐ 625 Kelvin			Zenit açısı (z)	16.216	derece	Alicı boru dış çapı(D ₀)	0.025
Süpürme hacmi (V _s)	398.726	cm ³				Gün uzunluğu (tg)	14.302	saat	Rüzgar hızı (v)	5
Yer değiştirici kolon çapı (D)	8.183	cm				Atmosfer dışına gelen ısıtım (I ₀)	1263.30	W/m ²	Isı transfer akışkanı debisi (myağ)	0.02
Sistem frekansı (f)	0.596	Hz				Atmosfer dışı tüm gün ısıtım (D ₀)	11243.1	W/m ²	Alicı yüzey sıcaklığı (T _r)	460
Ölü hacim (V _d)	446.573	cm ³				Günlük tüm güneş ısıtımı (Q)	6875.26	W/m ²	Cam örtü yüzey sıcaklığı (T _g)	310
Sistemin strotk sayısı (S _s)	2145.600	birimsiz				Anlık ısıtım (I)	795.494	W/m ²	Isı transfer akışkanı giriş sıcaklığı (T _{giriş})	300
Pompa kısmındaki hacim (V _p)	116.518	cm ³	Ayarlama kolonunun yapı (R _i)			Direkt güneş ısıtım akısı (I _d)	556.703	W/m ²		
Genişleme kısmının ölü hacmi (V _e)	233.035	cm ³	☐ 0.01 m ☒ 0.02 m ☐ 0.03 m ☐ 0.04 m			Yayılı güneş ısıtımı (I _y)	238.781	W/m ²		
Sıkıştırma kısmının ölü hacmi (V _c)	233.035	cm ³				Eğik düzleme gelen güneş ısıtımı (I _{ed})	548.899	W/m ²		
Isıtıcı kısım hacmi (V _i)	32.340	cm ³				Eğik düzleme gelen yayılı ısıtım (I _{ey})	217.211	W/m ²		
Rejeneratör kısmın ölü hacmi (V _r)	64.680	cm ³				Eğik düzleme yansarak gelen ısıtım (I _{ya})	14.372	W/m ²		
Ayarlama kolonu uzunluğu (L _i)	2.748	m				Eğik düzleme gelen toplam ısıtım (I _e)	780.482	W/m ²		
Kinetik akış kaybı (E _k)	0.167	Watt				Güneş ısıtımının geliş açısı	0.328	derece		
Viskoz akış kaybı (E _v)	0.094	Watt				Yutma geçirme katsayısı (Y _G)	0.847	birimsiz		
Toplam akış kaybı	0.261	Watt				Rüzgar kaynaklı kayıp (h _w)	61.291	W/m ² K		
Termal kayıp (E _h)	1.218	Watt				Cam örtü ile ortam arası oluşan kayıp (h _{rc} a)	5.758	W/m ² K		
Toplam kayıp (E _t)	2.842	Watt				Alicı yüzeyle cam kaplama arası kayıp (h _{rc})	11.277	W/m ² K		
Sistem çıkış gücü (W _o)	5.677	Watt				Toplam kayıp katsayısı (U _L)	10.313	W/m ² K		
						Pompa için gerekli kolektör alanı (A _a)	30.675	m ²		

hesapla

Şekil 4.8. Isparta ili için çalıştırılan programın çıktısı

sıvı pistonlu güneş enerjili stirling motorlu pompa tasarımı programı

Pompanalacak debi (Q)	0.5	m ³ /h	Sistemin frekans değerleri (f)	0.596	Hz	Denkinyasyon açısı (de)	21.184	derece	Ay seçimi	temmuz
Pompanalacak yükseklik (H)	1	m	Genişleme kısmı çalışma gazı sıcaklığının seçimi (T _e)	550	Kelvin	Güneşsel saat açısı (H _{gsa})	0	derece	Saat seçimi	12
Gerekli olan hidrolik güç (W _{net})	1.363	Watt	Ayarlama kolonunun yarıçapı (R _{it})	0.01 m		Güneş Açısı (H _a)	108.730	derece	İl seçimi	ankara
Toplam hacim değişimi (V ₀)	563.883	cm ³	Genişleme kısmının ölü hacmi (V _e)	233.035	cm ³	Zenit açısı (z)	18.416	derece	Alıcı boru dış çapı(D ₀)	0.025
Süpürme hacmi (V _s)	398.726	cm ³	Sıkıştırma kısmının ölü hacmi (V _c)	233.035	cm ³	Gün uzunluğu (lg)	14.497	saat	Rüzgar hızı (v)	5
Yer değiştirici kolon çapı (D)	8.183	cm	Isıtıcı kısm hacmi (V _i)	32.340	cm ³	Atmosfer dışına gelen ısınım (I ₀)	1248.28	W/m ²	Isı transfer akışkanı debisi (myağ)	0.02
Sistem frekansı (f)	0.596	Hz	Rejeneratör kısmının ölü hacmi (V _r)	64.680	cm ³	Atmosfer dışı tüm güneş ısınım (Q ₀)	11235.6	W/m ²	Alıcı yüzey sıcaklığı (T _r)	460
Ölü hacim (V _d)	446.573	cm ³	Ayarlama kolonu uzunluğu (L _i)	2.748	m	Günlük tüm güneş ısınımı (Q)	6820.99	W/m ²	Cam örtü yüzey sıcaklığı (T _g)	310
Sistemin strotk sayısı (S _s)	2145.600	birimsiz	Kinetik akış kaybı (E _k)	0.167	Watt	Anlık ısınım (I)	778.589	W/m ²	Isı transfer akışkanı giriş sıcaklığı (T _{giriş})	300
Pompa kısmındaki hacim (V _p)	116.518	cm ³	Viskoz akış kaybı (E _v)	0.094	Watt	Direkt güneş ısınım akısı (I _d)	540.567	W/m ²	hesapla	
Genişleme kısmının ölü hacmi (V _e)	233.035	cm ³	Toplam akış kaybı	0.261	Watt	Yayık güneş ısınımı (I _y)	238.022	W/m ²		
Sıkıştırma kısmının ölü hacmi (V _c)	233.035	cm ³	Termal kayıp (E _h)	1.218	Watt	Eğik düzleme gelen güneş ısınımı (I _{ed})	546.041	W/m ²		
Isıtıcı kısm hacmi (V _i)	32.340	cm ³	Toplam kayıp (E _t)	2.842	Watt	Eğik düzleme gelen yayık ısınım (I _{ey})	216.520	W/m ²		
Rejeneratör kısmının ölü hacmi (V _r)	64.680	cm ³	Sistem çıkış gücü (W _o)	5.677	Watt	Eğik düzleme yansarak gelen ısınım (I _{ya})	14.067	W/m ²		
						Eğik düzleme gelen toplam ısınım (I _e)	776.628	W/m ²		
						Güneş ısınımının geliş açısı	0.289	derece		
						Yutma geçirme katsayısı (Y _G)	0.849	birimsiz		
						Rüzgar kaynaklı kayıp (h _w)	61.287	W/m ² K		
						Cam örtü ile ortam arası oluşan kayıp (h _{ra})	5.756	W/m ² K		
						Alıcı yüzeyle cam kaplama arası kayıp (h _{rc})	11.277	W/m ² K		
						Toplam kayıp katsayısı (U _L)	10.313	W/m ² K		
						Pompa için gerekli kolektör alanı (A _a)	31.536	m ²		

Şekil 4.9. Ankara ili için çalıştırılan programın çıktısı

sıvı pistonlu güneş enerjili stirling motorlu pompa tasarımı programı

Pompanalacak debi (Q)	0.5	m ³ /h	Sistemin frekans değerleri (f)	0.596	Hz	Denkinyasyon açısı (de)	21.184	derece	Ay seçimi	temmuz
Pompanalacak yükseklik (H)	1	m	Genişleme kısmı çalışma gazı sıcaklığının seçimi (T _e)	550	Kelvin	Güneşsel saat açısı (H _{gsa})	0	derece	Saat seçimi	12
Gerekli olan hidrolik güç (W _{net})	1.363	Watt	Ayarlama kolonunun yarıçapı (R _{it})	0.01 m		Güneş Açısı (H _a)	106.698	derece	İl seçimi	antalya
Toplam hacim değişimi (V ₀)	563.883	cm ³	Genişleme kısmının ölü hacmi (V _e)	233.035	cm ³	Zenit açısı (z)	15.316	derece	Alıcı boru dış çapı(D ₀)	0.025
Süpürme hacmi (V _s)	398.726	cm ³	Sıkıştırma kısmının ölü hacmi (V _c)	233.035	cm ³	Gün uzunluğu (lg)	14.226	saat	Rüzgar hızı (v)	5
Yer değiştirici kolon çapı (D)	8.183	cm	Isıtıcı kısm hacmi (V _i)	32.340	cm ³	Atmosfer dışına gelen ısınım (I ₀)	1268.91	W/m ²	Isı transfer akışkanı debisi (myağ)	0.02
Sistem frekansı (f)	0.596	Hz	Rejeneratör kısmının ölü hacmi (V _r)	64.680	cm ³	Atmosfer dışı tüm güneş ısınım (Q ₀)	11242.6	W/m ²	Alıcı yüzey sıcaklığı (T _r)	460
Ölü hacim (V _d)	446.573	cm ³	Ayarlama kolonu uzunluğu (L _i)	2.748	m	Günlük tüm güneş ısınımı (Q)	7340.10	W/m ²	Cam örtü yüzey sıcaklığı (T _g)	310
Sistemin strotk sayısı (S _s)	2145.600	birimsiz	Kinetik akış kaybı (E _k)	0.167	Watt	Anlık ısınım (I)	853.804	W/m ²	Isı transfer akışkanı giriş sıcaklığı (T _{giriş})	300
Pompa kısmındaki hacim (V _p)	116.518	cm ³	Viskoz akış kaybı (E _v)	0.094	Watt	Direkt güneş ısınım akısı (I _d)	636.476	W/m ²	hesapla	
Genişleme kısmının ölü hacmi (V _e)	233.035	cm ³	Toplam akış kaybı	0.261	Watt	Yayık güneş ısınımı (I _y)	217.328	W/m ²		
Sıkıştırma kısmının ölü hacmi (V _c)	233.035	cm ³	Termal kayıp (E _h)	1.218	Watt	Eğik düzleme gelen güneş ısınımı (I _{ed})	621.369	W/m ²		
Isıtıcı kısm hacmi (V _i)	32.340	cm ³	Toplam kayıp (E _t)	2.842	Watt	Eğik düzleme gelen yayık ısınım (I _{ey})	197.695	W/m ²		
Rejeneratör kısmının ölü hacmi (V _r)	64.680	cm ³	Sistem çıkış gücü (W _o)	5.677	Watt	Eğik düzleme yansarak gelen ısınım (I _{ya})	15.426	W/m ²		
						Eğik düzleme gelen toplam ısınım (I _e)	834.490	W/m ²		
						Güneş ısınımının geliş açısı	0.343	derece		
						Yutma geçirme katsayısı (Y _G)	0.850	birimsiz		
						Rüzgar kaynaklı kayıp (h _w)	61.475	W/m ² K		
						Cam örtü ile ortam arası oluşan kayıp (h _{ra})	5.894	W/m ² K		
						Alıcı yüzeyle cam kaplama arası kayıp (h _{rc})	11.277	W/m ² K		
						Toplam kayıp katsayısı (U _L)	10.317	W/m ² K		
						Pompa için gerekli kolektör alanı (A _a)	26.577	m ²		

Şekil 4.10. Antalya ili için çalıştırılan programın çıktısı

Şekil 4.8.'de, bu pompa sisteminin çalıştırılması için gerekli kolektör açıklık alanının Isparta ili için $A_a = 30.675 \text{ m}^2$ olduğu, Şekil 4.9.'da, pompa sisteminin çalıştırılması için gerekli kolektör açıklık alanının Ankara ili için $A_a = 31.536 \text{ m}^2$ olduğu, Şekil

4.10'da, sistemin çalıştırılması için gerekli kolektör açıklık alanının Antalya ili için $A_a=26.577 \text{ m}^2$ olduğu görülmektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Sıvı pistonlu Stirling motorlu güneş enerjili su pompasında, pompalanmak istenen debi ve basma yüksekliği değerlerinin, yer değiştirici piston çapı ve genişleme kısmı sıcaklığı ile doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. Sıvı pistonlu Stirling motorlu pompa uygulamasında, sistem frekans değerinin (f) azalması ile sistemde bulunan yer değiştirici piston çap değerinin (D) azaldığı görülmüştür. Ayarlama kolunu yarıçapı değerinin (R_t) artması ile sistemin viskoz (E_v) ve kinetik akış (E_v) kayıplarının azaldığı ve ayarlama kolunu uzunluğunun (L_t) arttığı görülmüştür.

Yapılan hesaplamalarda aynı gün ve saatte farklı illerimizde sistem için gerekli kolektör açıklık alanları, aynı özelliklere sahip sistem için gerekli kolektör alanı değerinin, Antalya ilimiz için en küçük değere sahip olduğu bulunmuştur. Bu da seçilen iller arasında, bu sistem için en uygun güneş enerjisine sahip ilin Antalya olduğunu göstermektedir.

Parabolik oluklu güneş enerjisi kolektöründe ısıtıcı akışkan olarak kullanılan akışkanın debisi ($\dot{m}_{ısıtıcı}$) düşürüldüğünde, sistem için gerekli kolektör açıklık alanı (A_a) miktarının düştüğü görülmüştür.

Parabolik oluklu güneş enerjisi kolektöründe ısı transfer akışkanı olarak ısıtıcı akışkanın kolektöre giriş sıcaklığının ($T_{giriş}$) arttırılması ile kolektör yüzey açıklık alanının azaldığı görülmüştür.

Sabit kolektör alıcı yüzey sıcaklığında (T_r), cam örtü yüzeyinin sıcaklığının (T_g) artması ile gerekli ışıının elde edilmesi için gerekli kolektör açıklık alanının (A_a) arttığı görülmüştür. Sabit cam örtü yüzey sıcaklığında (T_g), alıcı yüzeydeki sıcaklığın artması (T_r) ile sistemden elde edilmek istenen faydalı enerji için gerekli kolektör alanının arttığı görülmüştür.

Sıvı pistonlu Stirling motorlu güneş enerjili pompa için tercih edilen parabolik oluklu güneş kolektörünün tasarım ve imalatının, diğer güneş kolektörleri sistemlerine nazaran daha kolay olduğu görülmüştür.

Sistem tasarımında oluşturulan program sayesinde, diğer güneş enerjisi kullanan sistemler için, ülkemizin birçok ilinde istenilen ay ve saat değerleri için, parabolik oluklu güneş kolektörü tasarım ve imalatı yapılabilecektir. Programda her il için güneş kolektörü hesaplarında, sistemin kullanılmak istendiği yılın ayı, rüzgar hızı (v), alıcı yüzey sıcaklığı (T_r), alıcı yüzey örtü sıcaklığı (T_g), kullanılan ısıtıcı akışkanın debisi ($\dot{m}_{ısıtıcı}$), kullanılan ısıtıcı akışkanın kolektöre giriş sıcaklığı ($T_{giriş}$) gibi değerler girilerek kolektörden elde edilebilecek ısıtım değerleri hesaplanabilecektir.

6. KAYNAKLAR

- Alaçakır, F.B., 2008. Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve EİE’deki çalışmalar. <http://www.nukte.org/node/163>. Erişim Tarihi: 15.01.2010.
- Candeniz, S., 2006. Silindirik Parabolik Güneş Toplayıcılarının Isıl Analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 80s, İstanbul.
- Cristoph, M., Arnaud G., Rafael A., Li S., Xue Y., 2007. Stirling Engine. <http://www.exergy.se/goran/hig/re/07/stirling.pdf>. Erişim Tarihi: 15.01.2010.
- olak, L., 2003. Güneşi Takip Eden Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektörlerinin Matematiksel Modellenmesi, Tasarımı ve Teknik Optimizasyonu. Gazi . Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 267s, Ankara.
- Demiralp, M., 1994. Güneş Enerjisinin Tarımsal Sulama ve Elektrik retiminde Kullanılabilmesi İçin Tasarlanan Serbest Displaserli Bir Stirling Motorunun izim Ve Prototip Hesapları. Ankara, Yüksek Lisans, 96s. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Aralık 2008. 2007-2008 Türkiye Enerji Raporu <http://www.dektmk.org.tr/> Erişim Tarihi 15.01.2010.
- Eltez, M., 2003. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi. Mersin, Dost Ajans Matbaacılık Yayıncılık ve Tanıtım Hizmetleri, E/2003/321, 63. Mersin.
- Finkelstein, T., Organ A.J., 2001. Air Engines. Chippenham, Wiltshire, UK. Antony Rowe Limited. 0-7918-0171-3. 288. England.
- Genoğlu, M.F., 1999. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından nemi. http://perweb.firat.edu.tr/personel/yayinlar/fua_612/612_502.pdf. Erişim Tarihi: 15.01.2010.
- Kyei-Manu, F., Obodoako 2006. Design And Development of o Liquid Piston Stirling Engine. http://www.engin.swarthmore.edu/FK_AO_Final.pdf. Erişim Tarihi: 15.01.2010.
- Kongtragool, B., Wongwises, S., 2006. Performance Of Low-temperature Differential Stirling Engines. ScienceDirect Renewable Energy, 32 (2007), 547–566.
- O’Gallagher, J.J., 2008. Nonimaging Optics in Solar Energy. Flossmoor, Illinois, Morgan and Clypool Publishers, 9781598293302, 133. University of Colorado.
- zay, İ., 2008. NH₃ /H₂O Aborbsiyon Soğutma Sisteminin Güneş Enerjisi İle alıştırılması ve Verimlilik Analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 59 s, Isparta.

- Özcan, İ., 1997. Karışık Parabolik Yoğunlaştırıcı Güneş Kolektörlerinin Teorik İncelenmesi. Sakarya Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 81s, Sakarya.
- Öztürk, H.H., 2008. Güneş Enerjisi ve Uygulamaları. İstanbul, Birsen Yayınevi, 978-975-511-502-3, 278. İstanbul.
- Öztürk, A., Kılıç, A., 1983. Güneş Enerjisi. İstanbul. Kipaş Dağıtımçılık. 331s. İstanbul.
- Soteris, K., 2009. Solar Energy Engineering: Processes and Systems. United States of America, Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, 978-0-12-374501-9, 756. United States of America.
- Thombare, D.G., Verma, S.K., 2006. Technological Development in The Stirling Cycle Engines. Elsevier Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12 (2008), 1–38s.
- Ulusoy, N. ve McCaughan, F., "Nonlinear Analysis of Free Piston Stirling Engines.", 28. Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, Atlanta, Georgia, ABD, 1993.
- Ulusoy, N. ve McCaughan, F., "Dynamic Stability of Free Piston Stirling Engines.", 14. ASME Biennial Conference on Mechanical Vibration and Noise, Albuquerque, New Mexico, ABD, 1993.
- Ulusoy, N. ve McCaughan, F., "Nonlinear Analysis of Free Piston Stirling Engine/Alternator System.", 29. Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, Monterey, California, ABD, 1994.
- Ulusoy, N., 1994. Dynamic Analysis of Free Piston Stirling Engines. Case Western Reserve University, Cleveland, Ohio, ABD. Doktora tezi. 195 s, ABD
- Ulusoy, N., "Serbest Pistonlu Stirling Motoru Dinamiği", 11. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, 4-6 Eylül 2003.
- Varınca, K.B., Gönüllü, M.T., 2006. Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma. <http://www.yildiz.edu.tr/~kvarınca/Yayinlar/yayin008.pdf>. Erişim Tarihi: 15.01.2010.
- Yücesu, H.S., 1994. Küçük Güçlü Güneş Enerjili Bir Stirling Motoru Tasarımı. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 192 s, Ankara.
- Yay, K., 1995. Stirling Motoru. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 113 sayfa, Ankara.

Yılmaz, R., 1989. Parabolik Yansıtıcı Güneş Kolektörleri İmal ve Testi. Gazi Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi,77s, Ankara.

West, C.D., 1983. Liquid Piston Stirling Engines. Canada, Van Nostrand Reinhold Publishing, 0-442-29237-6, 192 s. United States Of America.

West, C.D., 1987. Liquid Piston Stirling Machines. <http://www.ornl.gov/~webworks/cppr/y2001/rpt/27113.pdf>. Erişim Tarihi: 15.01.2010.

West, C.D., 1987. Stirling Engines And Irrigation Pumping. <http://www.ornl.gov/~webworks/cppr/y2001/rpt/27113.pdf>. Erişim Tarihi: 15.01.2010.

EKLER

EK-1

Atmosferik basımtaki havanın fiziksel özellikleri

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg-°C)	μ (kg/m-s) $\times 10^{-5}$	ν (m ² /s) $\times 10^{-6}$	k (W/m-°C)	α (m ² /s) $\times 10^{-4}$	Pr
100	3.6010	1.0266	0.692	1.923	0.00925	0.0250	0.770
150	2.3675	1.0099	1.028	4.343	0.01374	0.0575	0.753
200	1.7684	1.0061	1.329	7.490	0.01809	0.1017	0.739
250	1.4128	1.0053	1.488	9.490	0.02227	0.1316	0.722
300	1.1774	1.0057	1.983	16.84	0.02624	0.2216	0.708
350	0.9980	1.0090	2.075	20.76	0.03003	0.2983	0.697
400	0.8826	1.0140	2.286	25.90	0.03365	0.3760	0.689
450	0.7833	1.0207	2.484	31.71	0.03707	0.4222	0.683
500	0.7048	1.0295	2.671	37.90	0.04038	0.5564	0.680
550	0.6423	1.0392	2.848	44.34	0.04360	0.6532	0.680
600	0.5879	1.0551	3.018	51.34	0.04659	0.7512	0.680
650	0.5430	1.0635	3.177	58.51	0.04953	0.8578	0.682
700	0.5030	1.0752	3.332	66.25	0.05230	0.9672	0.684
750	0.4709	1.0856	3.481	73.91	0.05509	1.0774	0.686
800	0.4405	1.0978	3.625	82.29	0.05779	1.1951	0.689
850	0.4149	1.1095	3.765	90.75	0.06028	1.3097	0.692
900	0.3925	1.1212	3.899	99.30	0.06279	1.4271	0.696
950	0.3716	1.1321	4.023	108.2	0.06225	1.5510	0.699
1000	0.3524	1.1417	4.152	117.8	0.06752	1.6779	0.702
Notes: T = temperature, ρ = density, c_p = specific heat capacity, μ = viscosity, $\nu = \mu/\rho$ = kinetic viscosity, k = thermal conductivity, $\alpha = c_p \rho / k$ = heat (thermal) diffusivity, Pr = Prandtl number							

ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı: Bilal KURŞUNCU

Doğum Yeri ve Yılı: ISPARTA/1980

Medeni Hali: Evli

Yabancı Dil: İngilizce

Eğitim Durumu (kurum ve yıl)

Lise : Isparta Şehit Ali İhsan Kalmaz Lisesi

Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi Müh.-Mim Fak. Makine Mühendisliği Bölümü (1999-2004)

Yüksek Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı (2005-.....)

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl:

Yayınları

- 1-
- 2-
- 3-