



**TELEKOMÜNİKASYON BAZ İSTASYONLARINDA SOĞURMALI
SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ**

Mehmet Ümit İRVASA

**DOKTORA TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2021

ETİK BEYAN

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

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

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

Mehmet Ümit İRVASA

17/12/2021

TELEKOMÜNİKASYON BAZ İSTASYONLARINDA SOĞURMALI SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ

(Doktora Tezi)

Mehmet Ümit İRVASA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2021

ÖZET

Makro baz istasyonları, telekomünikasyon baz istasyonların çeşitleri arasında iletişim cihazlarının soğutması için en çok elektrik enerjisi tüketmektedir. Bu çalışmada, makro baz istasyonlarında soğutma işleminin daha ekonomik ve çevreci bir şekilde yapılabilmesi için güneş kaynaklı tek kademeli sürekli çalışan soğurmalı soğutma sisteminin Matlab programı ile modellenmiştir. Oluşturulan model, güneş kolektörünün ürettiği saatlik ısı enerjisini kaynatıcıya transfer edilen ısı enerjisi saatlik değişkenlik göstermekte ve gerektiğinde yardımcı enerji kaynağı kullanmaktadır. Model üzerinde TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardında 3. derece-gün bölgesinde bulunan Ankara ili, 2. Derece-gün bölgesinde bulunan İstanbul ili, 1. Derece gün bölgesinde bulunan fakat farklı enlem derecelerine sahip İzmir Adana illeri için Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilen saatlik veriler (dış hava sıcaklığı ve rüzgâr hızı) ile güneş ışıınım modeli kullanılarak soğutma sisteminin yıllık gerekli elektrik enerjisi ihtiyacı hesaplanmıştır. Telekomünikasyon baz istasyonu kabininin ısı kazancı için yapay sinir ağları modeli oluşturulmuş, oluşturulan modelin sonuçları ile gerçek sonuçlar arasındaki hata miktarı R^2 değeri 0,9999 olarak hesaplanmıştır. Soğutma sistemin yıllık elektrik enerjisi gereksiniminin yıllık; Ankara ili için 18212 kWh, İstanbul ili için 18476 kWh, İzmir ili için 17564 kWh ve Adana ili için 17345 kWh olduğu görülmüştür. Enerji tüketimini azaltmak için modele serbest soğutma sistemi eklenmiş ve yeni modelde yıllık elektrik enerjisi ihtiyacı ilk modele göre Ankara ili için %88 azalarak 2109 kWh/yıl, İstanbul ili için %85 azalarak 2794 kWh, İzmir ili için %85 azalarak 2494 kWh, Adana ili için %85 azalarak 2325 kWh olarak hesaplanmıştır. Son olarak soğutma sisteminin uygulanabilirliğinin belirlenmesi için toplam maliyeti ile $COP_{sm}=4$ olan mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sisteminin toplam maliyeti yıllık %15 sabit enflasyon oranı kullanılarak karşılaştırılmıştır. İki sistemin toplam maliyetinin ortalama 6,5 yıl arasında eşitlendiği görülmüştür. Ayrıca tüketilen elektrik enerjisinin azalması sebebiyle çevreye ortalama 1505kg eşdeğer CO_2 gazı salınımı azaltılacaktır.

Bilim Kodu	: 92802
Anahtar Kelimeler	: Güneş enerjisi, soğurmalı soğutma sistemler, enerji verimliliği telekomünikasyon baz istasyonları
Sayfa Adedi	: 134
Danışman	: Doç. Dr. Mustafa Bahadır ÖZDEMİR

MODELLING OF ABSORPTION COOLING SYSTEMS IN TELECOMUNICATION BASE STATION

(PhD. Thesis)

Mehmet Ümit İRVASA

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2021

ABSTRACT

Macro base stations consume the most electrical energy for cooling communication devices among the types of telecommunications base stations. In this study, in order to perform the cooling process in macro base stations in a more economical and environmentally friendly way, the solar sourced single-stage continuous absorption cooling system is modeled with the Matlab program. In the model created, the hourly heat energy produced by the solar collector and the heat energy transferred to the boiler vary hourly and use an auxiliary energy source when necessary. On the model, the hourly data obtained from the General Directorate of Meteorology for the provinces of Ankara in the 3rd degree-day region, Istanbul in the 2nd degree-day region, İzmir Adana provinces in the 1st degree day region but with different latitudes in the TS 825 Standard of Thermal Insulation Rules in Buildings. By using the data (outside air temperature and wind speed) and the solar radiation model, the annual electrical energy requirement of the cooling system was calculated. An artificial neural network model was created for the heat gain of the telecommunication base station cabinet, and the R^2 value of the created model was calculated as 0.9999. Annual electrical energy requirement of the cooling system was found to be 18212 kWh for Ankara, 18476 kWh for Istanbul, 17564 kWh for Izmir and 17345 kWh for Adana. Free cooling system has been added to the model to reduce energy consumption, and in the new model, the annual electrical energy requirement had been calculated as 2109 kWh/year with a decrease of 88% for the province of Ankara, 2794 kWh with a decrease of 85% for the province of Istanbul, 2494 kWh with a decrease of 85% for the province of İzmir, and 2325 kWh with a decrease of 85% for the province of Adana compared to the first model. Finally, in order to determine the applicability of the cooling system, the total cost of the system and the total cost of the mechanical vapor compression cooling system with $COP_{sm}=4$ was compared using a fixed inflation rate of 15% per year. It was observed that the total cost of the two systems was equal between 6.5 years on average. In addition, due to the decrease in the consumed electrical energy, an average of 1505kg equivalent CO_2 gas emission to the environment will be reduced.

Science Code	: 92802
Key Words	: Solar energy, absorption cooling, telecommunication base stations, energy efficiency,
Page Number	: 134
Supervisor	: Associate Professor Dr. Mustafa Bahadır ÖZDEMİR

TEŞEKKÜR

Bu çalışma boyunca yardım ve katkılarıyla çalışmamda beni destekleyen danışman hocam Doç. Dr. Mustafa Bahadır ÖZDEMİR' e ve kıymetli hocam Prof. Dr. Tayfun MENLİK' e teşekkürlerimi arz ederim. Tez çalışmam sırasında çeşitli fedakârlıklarda bulunan aileme ve tüm öğretmenlerime teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xvi
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
3. TELEKOMÜNİKASYON BAZ İSTASYONLARI	9
3.1. Telekomünikasyon Baz İstasyonu Tipleri.....	10
3.1.1. Mega.....	10
3.1.2. Makro	10
3.1.3. Mikro.....	11
3.1.4. Piko	11
4. GÜNEŞ ENERJİSİ	13
4.1. Güneş Kolektörleri	13
4.1.1. Düz plaka güneş kolektörleri	14
4.1.2. Vakum tüplü ısı borulu güneş kolektörleri	17
4.1.3. Düzlemsel ve vakum tüplü güneş kolektörlerinde verimin hesaplanması	19
4.2. Güneş Işınımı Hesaplaması.....	20
4.2.1. Güneş sabiti.....	20

	Sayfa
4.2.2. Güneş saati	22
4.2.3. Enlem açısı	23
4.2.4. Deklinasyon açısı	24
4.2.5. Eğim açısı.....	25
4.2.6. Saat açısı.....	25
4.2.7. Güneş ışıınımı açısı	25
4.2.8. Zenit açısı	25
4.2.9. Güneş yükseklik açısı.....	26
4.2.10. Güneş azimut açısı	26
4.2.11. Yüzey azimut açısı	27
4.2.12. Güneş batış açısı ve gün uzunluğu	28
4.2.13. Atmosfer dışında yatay yüzeye gelen radyasyon	28
4.2.14. Atmosfer sonrası yeryüzüne gelen güneş ışıınımı.....	29
4.2.15. Yatay düzleme düşen güneş ışıınımı.....	30
4.2.16. Geometrik yön faktörü	33
4.2.17. Eğik yüzeye gelen ışıınım miktarı.....	34
4.3. Kabinin Üzerinde Birleşik Isı Transferi	35
5. SOĞURMALI SOĞUTMA SİSTEMLERİ.....	39
5.1. Soğurmalı Soğutma Sisteminin Tarihçesi	39
5.2. Soğurmalı Soğutma Sisteminin Çalışma Prensibi.....	42
5.3. Soğurmalı Soğutma Sisteminin Sınıflandırılması	44
5.4. Soğurmalı Soğutma Sistemlerinin Bileşenleri ve Termodinamik Analizi	46
5.4.1. Soğurucu (Absorber).....	46
5.4.2. Kaynatıcı (Generator)	47
5.4.3. Yoğuşturucu (Kondenser)	48
5.4.4. Buharlaştırıcı (Evaporator).....	49

	Sayfa
5.4.5. Pompa.....	49
5.4.6. Kısılma vanası.....	50
5.4.7. Isı değiştirici.....	52
5.5. Soğutma Sisteminin Performans Katsayısı	52
5.6. Soğurmalı Soğutma Sistemin Kullanılan Akışkanların Özellikleri	53
5.7. Soğurmalı Soğutma Sistemlerde Kullanılan Akışkan Çiftleri	54
5.7.1. Amonyak-Su akışkan çifti.....	56
5.7.2. Lityum Bromür-Su akışkan çifti	56
5.8. Sürekli Çalışan Soğurmalı Soğutma Sistemleri	58
5.8.1. Isı depolamalı sistem.....	59
5.8.2. Soğutucu akışkan depolamalı sistem	60
5.8.3. Soğutma depolamalı sistem.....	61
5.8.4. Sürekli çalışan güneş kaynaklı soğurmalı soğutma sistemlerinin karşılaştırılması.....	62
6. YAPAY SİNİR AğLARI.....	65
6.1. Sinir Hücresi ve Yapay Sinir Ağı Hücre Modeli	65
6.2. Yapay Sinir Ağ Yapıları.....	68
6.3. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme.....	69
6.4. Yapay Sinir Ağlarında Kullanılan Öğrenme Yöntemleri.....	69
6.5. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları.....	69
6.6. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağlarında Danışmanlı Öğrenme Algoritmaları	69
7. GÜNEş KAYNAKLI SOğURMALI SOğUTMA SİSTEMİNİN TASARIMI	71
7.1. Telekomünikasyon Baz İstasyonu Kabinin Isıl Modellenmesi.....	71
7.1.1. Meteorolojik veriler	73
7.1.2. Güneş ışıınım hesaplaması	73
7.1.3. Kabin iç sıcaklığı.....	74

	Sayfa
7.1.4. Cihaz ısı kazancı	74
7.1.5. Yapay sinir ağlarının kullanımı.....	75
7.1.6. Güneş kolektörü seçimi.....	79
7.1.7. Soğurmalı soğutma sisteminin seçimi.....	79
7.1.8. Hava dönüşümlü serbest soğutma uygulaması	82
7.1.9. Matlab programı.....	83
7.1.10. Ankara ili uygulaması	86
7.1.11. İstanbul ili uygulaması	95
7.1.12. İzmir ili uygulaması	104
7.1.13. Adana ili uygulaması	113
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	123
KAYNAKLAR	127
ÖZGEÇMİŞ	134

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Bazı saydam örtü malzemelerinin fiziksel özellikleri	16
Çizelge 4.2. Yutucu plaka olarak kullanılan yüzeylerin özellikleri.....	16
Çizelge 4.3. Düz plaka tipi güneş kolektörde kullanılan yalıtım malzemeleri	17
Çizelge 4.4. Viessmann firmasının kolektör verim hesabı katsayıları.....	20
Çizelge 4.5. Kabin dış cephe boyasının ısınım soğurma ve yansıtma oranı.....	37
Çizelge 5.1. Soğurmalı sistemlerde kullanılan akışkan çiftleri.....	54
Çizelge 5.2. Soğurmalı sistemlerde kullanılan $\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$ ve $\text{LiBr} - \text{H}_2\text{O}$ akışkan çiftlerinin kıyaslanması	57
Çizelge 5.3. Sürekli çalışan soğurmalı soğutma sistemlerinin karşılaştırılması.....	62
Çizelge 6.1. Yapay sinir ağlarında kullanılan eşik fonksiyonları	68
Çizelge 7.1. Telekomünikasyon baz istasyonu kabin özellikleri.....	72
Çizelge 7.2. Bazı malzemelerin ısı iletim katsayıları	73
Çizelge 7.3. Yapay sinir ağı giriş katmanı ağırlıkları	78
Çizelge 7.4. Yapay sinir ağı modeli gizli katman sabitleri	78
Çizelge 7.5. Yapay sinir ağları gizli katman çıkış ağırlıkları	78
Çizelge 7.6. Sürekli çalışan soğurmalı soğutma sistemi cihaz kapasiteleri.....	81
Çizelge 7.7. Ankara ili hava durumu ölçüm İstatistikleri	87
Çizelge 7.8. Ankara ili için sistem kurulum maliyeti	94
Çizelge 7.9. İstanbul ili meteorolojik verileri	96
Çizelge 7.10. Sistem kurulum yaklaşık maliyetleri	103
Çizelge 7.11. İzmir ili meteorolojik ölçüm istatistiği.	105
Çizelge 7.12. Sistem kurulum yaklaşık maliyetleri	112
Çizelge 7.13. Adana ili hava durumu ölçüm istatistikleri.....	114
Çizelge 7.14. Sistem kurulum yaklaşık maliyetleri	121

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Baz istasyonlarının hücresel yapısı.....	9
Şekil 4.1. Isıl kolektörlerin yapısal sınıflandırılması	14
Şekil 4.2. Düz plaka güneş kolektörü yapısı.....	14
Şekil 4.3. Saydam örtü ile yutucu plaka arasındaki ışıınım	15
Şekil 4.4. Düz plakalı kolektörün verimini etkileyen etmenler	17
Şekil 4.5. Vakum tüplü güneş kolektörü şeması.....	18
Şekil 4.6. Düşük ve orta sıcaklık güneş kolektörü verimi	19
Şekil 4.7. Dünyanın Güneş etrafındaki hareketi	21
Şekil 4.8. Güneş-Dünya ilişkisi	21
Şekil 4.9. Tüm dalga boylarında atmosfer öncesi Güneş ışıının yılın günlerine göre değişimi.....	22
Şekil 4.10. Zaman düzeltmesinin yılın günlerine göre değişimi	23
Şekil 4.11 Enlem açısı.....	23
Şekil 4.12. Yılın gününe göre deklinasyon açısı.....	24
Şekil 4.13. a) Güneş zenith açısı b) Güneş azimut açısı	26
Şekil 4.14. Eğik düzlem üzerinde bazı güneş açıları	27
Şekil 4.15. Yüzey azimut açısının coğrafi yönlere göre değeri	27
Şekil 4.16. Güneşten gelen ışınların dağılımı	30
Şekil 4.17. Birleşik ısı transferi.....	36
Şekil 5.1. Soğutma işleminin genel prensibi.....	39
Şekil 5.2. Soğurmalı soğutma sistemi köşe taşları.....	41
Şekil 5.3. LiBr-H ₂ O soğurmalı sistemin şeması	42
Şekil 5.4. Dühring diyagramı üzerinde soğurmalı soğutma çevriminin gösterimi	43
Şekil 5.5. NH ₃ – H ₂ O akışkan çiftini kullanan soğurmalı sistem şeması	46
Şekil 5.6. Soğurucunun şematik gösterimi	47

Şekil	Sayfa
Şekil 5.7. Kaynatıcı şematik gösterimi	47
Şekil 5.8. Yoğuşturucunun şematik gösterimi	48
Şekil 5.9. Buharlaştırıcının şematik gösterimi	49
Şekil 5.10. Pompanın şematik gösterimi	50
Şekil 5.11. Kısılma vanasının şematik gösterimi	51
Şekil 5.12. Sistemde kullanılan ısı değiştiricinin şematik gösterimi	52
Şekil 5.13. Tek kademeli soğurmalı soğutma sistemi prototiplerindeki karışımlar	55
Şekil 5.14. Ticari olarak piyasaya sürülen tek kademeli soğurmalı soğutma, sistemlerinde kullanılan akışkanlar	55
Şekil 5.15. Çeşitli akışkan çiftleri için sıcaklık-derişim hal grafiği	58
Şekil 5.16. Isı depolamalı sistemin şeması	60
Şekil 5.17. Soğutucu akışkan depolamalı sistem	61
Şekil 5.18. Soğutucu depolamalı soğurmalı soğutma sistemi	62
Şekil 6.1. Sinir hücresi	66
Şekil 6.2. Tek katmanlı yapay sinir ağı (Perception)	66
Şekil 7.1. Yapay sinir ağı modeli regrasyon analizi	76
Şekil 7.2. Yapay sinir ağı topografyası	77
Şekil 7.3. Kaynatıcı sıcaklığının performans katsayısına etkisi	80
Şekil 7.4. Sistem tasarımında kullanılan soğurmalı soğutma sisteminin şeması	81
Şekil 7.5. Matlab programı algoritması	85
Şekil 7.6. Ankara ili 2014 yılı dış hava sıcaklığı grafiği	88
Şekil 7.7. Ankara ili 2014 yılı rüzgâr hızı grafiği	88
Şekil 7.8. Kabin ısı kazancı grafiği	89
Şekil 7.9. Ankara ili için soğutucu akışkanlı depolama sisteminde elektrik tüketimi ile güneş kolektör alanı ilişkisi	89
Şekil 7.10. Güneş kolektörü verimi	90
Şekil 7.11. Güneş kolektöründen elde edilebilecek faydalı ısı enerjisi	90

Şekil	Sayfa
Şekil 7.12. Ankara ili için serbest soğutma destekli sistem ile serbest soğutma olmayan sistemin elektrik tüketimi kıyaslaması	91
Şekil 7.13. Üretilen soğutucu akışkanın zamana bağlı olarak değişimi	92
Şekil 7.14. Soğutucu sıvı deposundaki sıvının zamana bağlı değişimi	92
Şekil 7.15. Tasarlanan soğutma sisteminin harcadığı elektrik miktarı	93
Şekil 7.16. Soğutma sistemlerinin toplam maliyet kıyaslaması	94
Şekil 7.17. İstanbul ili 2014 yılı dış hava sıcaklığı grafiği	97
Şekil 7.18. İstanbul ili rüzgâr hızı grafiği	97
Şekil 7.19. İstanbul ilinde bulunan kabinin ısı kazancı grafiği.....	98
Şekil 7.20. İstanbul ili için soğutucu akışkanlı depolama sisteminde elektrik tüketimi ile güneş kolektör alanı ilişkisi.....	98
Şekil 7.21. İstanbul ili güneş kolektörünün verimi	99
Şekil 7.22. İstanbul ili Güneş kolektörünün toplamış olduğu enerji miktarı	99
Şekil 7.23. İstanbul ili için serbest soğutma destekli sistem ile serbest soğutma olmayan sistemin elektrik tüketimi kıyaslaması	100
Şekil 7.24. Üretilen soğutucu akışkanın zamana bağlı olarak değişimi	101
Şekil 7.25. Soğutucu sıvı deposundaki sıvının zamana bağlı değişimi	101
Şekil 7.26. Tasarlanan soğutma sisteminin harcadığı elektrik miktarı	102
Şekil 7.27. Soğutma sistemlerinin toplam giderlerinin kıyaslaması.....	103
Şekil 7.28. İzmir ili 2014 yılı dış hava sıcaklığı	106
Şekil 7.29. İzmir ili 2014 yılı dış hava ölçülen rüzgâr hızı.....	106
Şekil 7.30. Hesaplanan baz istasyonu kabin ısı kazancı	107
Şekil 7.31. İzmir ili için soğutucu akışkanlı depolama sisteminde elektrik tüketimi ile güneş kolektör alanı ilişkisi.....	107
Şekil 7.32. Güneş kolektörünün verimi	108
Şekil 7.33. Güneş kolektörünün toplamış olduğu enerji miktarı	108
Şekil 7.34. İzmir ili için serbest soğutma destekli sistem ile serbest soğutma olmayan sistemin elektrik tüketimi kıyaslaması.....	109

Şekil	Sayfa
Şekil 7.35. Üretilen soğutucu akışkanın zamana bağlı olarak değişimi	110
Şekil 7.36. Güneş kolektörünün toplamış olduğu enerji miktarı	110
Şekil 7.37. Tasarlanan soğutma sisteminin harcadığı elektrik miktarı	111
Şekil 7.38. Soğutma sistemlerinin toplam giderlerinin kıyaslaması.....	112
Şekil 7.39. Adana ili 2014 yılı dış hava sıcaklığı grafiği.....	115
Şekil 7.40. Adana ili 2014 yılı dış rüzgâr hızı grafiği.....	115
Şekil 7.41. Hesaplanan baz istasyonu kabin ısı kazancı	116
Şekil 7.42. Adana ili için soğutucu akışkanlı depolama sisteminde elektrik tüketimi ile güneş kolektör alanı ilişkisi.....	116
Şekil 7.43. Güneş kolektörü verimi	117
Şekil 7.44. Güneş kolektörünün toplamış olduğu enerji miktarı	117
Şekil 7.45. Adana ili için serbest soğutma destekli sistem ile serbest soğutma olmayan sistemin elektrik tüketimi kıyaslaması	118
Şekil 7.46. Üretilen soğutucu akışkanın zamana bağlı olarak değişimi	119
Şekil 7.47. Soğutucu sıvı deposundaki sıvının zamana bağlı değişimi	119
Şekil 7.48. Tasarlanan soğutma sisteminin harcadığı elektrik miktarı	120
Şekil 7.49. Soğutma sistemlerinin toplam giderlerinin kıyaslaması.....	121

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Makro baz istasyonu	10
Resim 3.2. a) Mikro baz istasyonu b) Piko baz istasyonu	11
Resim 7.1. Telekomünikasyon baz istasyonu kabini ve iç görünümü	72



HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 7.1. Ankara ili yıllık güneş radyasyonu ortalaması dağılımı	86
Harita 7.2. İstanbul ili yıllık güneş ışıınım dağılımı	95
Harita 7.3. İzmir ili yıllık güneş ışıınımı dağılımı	104
Harita 7.4. Adana ili yıllık güneş ışıınım dağılımı.....	113



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
A	Alan (m^2)
AU	Astronomik birim (km)
b	Bias
G_o	Günlük güneş ışıınım miktarı (W/m^2)
G_{on}	Atmosfer öncesi yatay yüzeye gelen ışıınım (W/m^2)
G_{sc}	Güneş Sabiti (W/m^2)
H	Atmosfer öncesi yatay zemine gelen aylık ışıınım miktarı (W/m^2)
h	Entalpi (kJ/kg)
h	Isı taşıınım katsayısı (W/m^2K)
H_d	Günlük yayılı ışıınım miktarı W/m^2
H_o	Günlük atmosfer öncesi ışıınımı W/m^2
I_d	Anlık yayılı ışıınım miktarı W/m^2
I_o	Anlık atmosfer öncesi ışıınım W/m^2
k	Isı iletim katsayısı W/ mK
K_T	Berraklık indeksi
m	Kütle (kg)
m_r	Soğutkan depolamalı sistemin depolama kütlesi (kg)
N	Gün uzunluğu
n	Yılın günü
Nu	Nusselt Sayısı
Pr	Prandtl Sayısı
Q	ısı enerjisi (kJ)
$\dot{Q}_{buharlaştıcı}$	Buharlaştırıcının ısııl gücü (W)
$\dot{Q}_{gen}$	Soğutma sisteminin soğutma gücü (W)
Q_{ID}	Isı depolamalı sistemin gücü (W)
$\dot{Q}_{kaynatici}$	Kaynaticının ısııl gücü (W)
$\dot{Q}_{soğurucu}$	Soğurucunun ısııl gücü (W)

Simgeler	Açıklamalar
$\dot{Q}_{\text{yoğuşturucu}}$	Yoğuşturucunun ısı gücü (W)
R_b	Geometrik yön faktörü
Re	Reynolds sayısı
r_t	Saatlik toplam ışıının günlük ışıına oranı
T_h	Dış hava sıcaklığı (°K)
T_i	İç sıcaklık (°K)
T_y	Yüzey sıcaklığı (°K)
u	Akışkan hızı (m/s)
W	İş (W)
w_i	Ağırlık Değeri
W_p	Pompanın yaptığı iş (W)
x	Derişim miktarı (%)
X_i	Girdi değeri
y	Çıktı değeri
α	İşinım soğurma oranı
α_s	Güneş yükseklik açısı (derece)
β	Eğim açısı (derece)
γ	Yüzey azimut açısı (derece)
γ_s	Güneş azimut açısı (derece)
δ	Deklinasyon açısı (derece)
ΔT	Sıcaklık farkı (°K)
ε	Yansıtıcılık katsayısı
η	Verim
θ	Güneş işinım açısı (derece)
θ_z	Zenit Açısı (derece)
ν	Kinematik viskozite (m ² /s)
ρ	İşinım yansıtma oranı
σ	Stefan-Boltzman Sabiti (W/m ² K ⁴)
τ	İşinım Geçirgenlik oranı
$\tau\alpha$	Yutma- geçirme oranı
φ	Enlem Açısı (derece)
ω	Saat Açısı (derece)

Kısaltmalar	Açıklamalar
AB	Avrupa Birliği
ASHRAE	Amerikan Isıtma Soğutma Havalandırma Mühendisleri Birliği
BTK	Bilgi Teknolojileri Kurumu
COP	Performans Katsayısı
COP_{carnot}	Carnot Soğutma Makinesi Performans katsayısı
COP_{sm}	Soğutma makinesi performans katsayısı
COP_{II}	İkinci yasa performans katsayısı
ETSI	Avrupa Telekomünikasyon Standartlar Komitesi
GA	Gündüz açık
GS	Güneş saati
GK	Gündüz kapalı
H₂O	Su
LiBr	Lityum Bromür
L_{LOC}	Yerel boylam
LM	Levenberg-Marquardt
L_{st}	Standart boylam
MAPE	Ortalama mutlak yüzde hata
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MPC	Model Öngörücü Kontrol
NH₃	Amonyak
P	Pompa
RMSE	Ortalama Hata Karekök
TBS	Telekomünikasyon Baz İstasyonu
TS	Türk Standardı
YS	Yerel Saat
YSA	Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Enerjinin tanımı ile ilgili pek çok ifade bulunmaktadır. Genel olarak enerji “değişikliklere neden olma yeteneği” veya “iş yapabilme yeteneği” olarak tanımlanabilir [1]. Enerji, günlük hayatımızda ısı enerjisi, ışık enerjisi, mekanik enerji, elektrik enerjisi gibi değişik formalarda bulunmaktadır. Bu enerji formları çeşitli düzenekler veya makineler yardımıyla birbiri arasında dönüştürülebilmektedir.

Enerji kaynakları literatürde pek çok şekilde sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmalar; enerji kaynağının maddenin hangi fazında bulunması, enerji kaynağının kullanımından sonra doğa üzerindeki etkileri, enerji kaynağının istenilen etkiyi oluşturup oluşturmadığı ve enerji kaynağının doğada nerde bulunduğuur.

Günlük hayatta kullandığımız enerji kaynakları içerisinde en büyük payı geleneksel (konvansiyonel) enerji kaynakları olan fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğalgaz) oluşturmaktadır. Bu enerji kaynakları, kullanımı sonucunda çevreyi kirletici etki meydana getirmekte olup kullanıldıkça doğada bulunan rezervleri azalmaktadır. Bu nedenle bu enerji kaynaklarına yenilenemeyen enerji kaynakları olarak isimlendirilmiştir.

Geleneksel enerji kaynaklarının yanı sıra doğada bulunan ve kullanıldığında çevreyi kirletmeyen ve doğada rezervi tükenmeyen enerji kaynakları mevcuttur. Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, dalga enerjisi, gelgit enerjisi gibi enerji türleri doğada bulunmakta ve kullanıldığında kaynağı azalmamaktadır. Bu enerji kaynaklarına ise alternatif enerji kaynakları denilmektedir.

Dünya nüfusunun ve günlük hayatta kullandığımız makine/cihazların artmasıyla kişi başına ihtiyaç duyulan enerji talebi artmıştır. Talep edilen enerji miktarı öncelikle geleneksel enerji kaynaklarının kullanımını ile karşılanmaya çalışılmış, bu durum ise atmosfere salınan karbon miktarının artmasına ve küresel iklim değişikliğine (küresel ısınmaya) neden olmuştur.

Küresel iklim değişikliğinin canlılar üzerinde oluşturduğu yıkıcı etki ise ülkelerin enerji politikalarında köklü değişiklikler meydana getirmiş ve enerji üretiminde alternatif enerji kaynaklarının kullanımını artırmıştır.

Alternatif enerji kaynakları denildiğinde ilk akla gelen gezegenimizin hayat kaynağı olan güneş enerjisidir. Güneş sistemimizin yıldızı olan Güneş, gezegenimize her an ışıınım yoluyla enerji göndermektedir. Bu ışıınım enerjisi miktarı uydular yardımıyla yapılan ölçümler sonucunda atmosfer öncesinde yaklaşık 1370 W/m^2 olduğu görülmüştür. Sürekli gelen bu enerjiyi gezegenimizin hareketi nedeniyle yeryüzüne her an aynı şiddette düşmemektedir. Çeşitli düzenekler yardımıyla güneş ışıınımı diğer enerji türlerine çevrilip depolanabilmektedir.

Gelişen teknolojinin etkisiyle telekomünikasyon cihazları daha nitelikli hale gelmekte, daha fazla kullanıcı tarafından kullanılmakta ve cihazların talep ettiği veri hacmi artmaktadır. Bu artışın sonucu olarak talep edilen veri hacmini sağlamak amacıyla telekomünikasyon altyapısı hızla büyümekte ve altyapının çalışabilmesi için daha fazla elektrik enerjisine ihtiyaç duymaktadır. Dünyada mobil iletişimin sağlanması için harcanan elektrik enerjisi miktarı 2017 yılında 219 TWh iken 2019 yılında 519 TWh ye çıkmıştır [2].

Kendine ait mobil alt yapısı olan bir şirketinin elektrik toplam elektrik tüketiminin %60'ı telekomünikasyon baz istasyonlarının (TBS) çalışması için harcanmaktadır.[3] Makro Baz istasyonlarının tükettiği elektrik enerjisinin %30-%50'si soğutma sisteminin çalışması için harcanmaktadır [4, 5].

Bu tez çalışmasında güneş enerjisi kullanılan soğurmalı soğutma sistemi kullanılarak sürekli çalışan bir telekomünikasyon baz istasyonu soğutulması Matlab programı kullanılarak modellenmiştir. Bu modellemede öncelikle Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilen meteorolojik veriler kullanılarak telekomünikasyon cihazları sabit ısı yükü altında kabinin ısı kazancı modellenmesi yapılmış, ülkemiz şartlarında anlık birim alana düşen güneş enerjisi miktarı hesaplanmış, ısı borulu güneş enerjisi kolektör ile Güneş radyasyonu ısı enerjisine çevrilmiş ve hesaplanan ısı enerjisi kullanılmak suretiyle LiBr-H₂O akışkanı kullanan soğutucu akışkan depolamalı soğurmalı soğutma sisteminin bir yıllık sürekli soğutma durumu modellenmesi yapılmıştır. Elde edilen veriler ile sistemin kurulum ve işletme maliyeti yüksek olduğu görülerek mevcut soğutma sistemine ek olarak serbest soğutma sistemi kullanılarak sistem verimli hale getirilmiştir.

Yazılım yardımıyla Ankara, İzmir, İstanbul, Adana illerine ait gerçek meteorolojik veriler kullanılarak bu illerde sistemin kurulması durumunda ilk yatırım ve maliyet analizleri yapılmıştır.

Soğurmalı soğutma sisteminin performans katsayısının mekanik buhar sıkıştırmalı çevrime göre düşük olması sebebi ile makro baz istasyonlarında uygulanmasının mümkün olmadığı düşünülse de bu tekniğin diğer bir soğutma tekniği olan serbest soğutma kullanılarak soğutma işleminin verimli olacağı hesaplanmıştır. Soğurmalı soğutma sisteminin soğurucu akışkan depolamasın sistemin yaz aylarında güneşin olmadığı zamanlarda da soğutma işleminin yaklaşık 150 Wh gibi düşük bir elektrik enerjisi tüketimi ile rahatlıkla çalışabileceğinden yüksek performans katsayılı mekanik buhar sıkıştırmalı çevrimden daha düşük enerji tüketimi ile soğutma işi elde edilecektir. Bu bağlamda önerilen soğutma sistemlerinin kombinasyonu ve algoritması özellikle fosil yakıtlardan elde edilen elektrik enerjisi talebini azaltacağı değerlendirilmektedir.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tu ve ark. telekomünikasyon baz istasyonlarında enerji performans analizi çalışmasında Guangzhou ve Harbin kentlerinde telekomünikasyon baz istasyonlarının yapısal olarak farklı (tuğla duvar ve sandviç panel) duvar yapılarını 2kW 3 kW ve 5 kW ısı yükleri altında ısı borusu ve mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi ile soğutulmasını DeST programı kullanarak saatlik periyotlarda bir yıllık olarak modellemişlerdir. Modelleme sonucunda Harbin gibi soğuk iklime sahip olan şehir için sandviç panelin uygun olduğu, Guangzhou gibi sıcak iklim özelliğine sahip bir şehir için ise tuğla duvarın uygun olduğu tespit edilmiştir [4].

Zhu ve ark. tasarladıkları ayrıık ısı borulu ısı değıştiriciyi DeST adlı simülasyon programı kullanarak Çin ülkesindeki Beijing, Shanghai ve Guangzhou şehirleri için Mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi ile birlikte çalışacak şekilde modellemiştir. Oluşturulan çalışma senaryosunda istenilen kabin sıcaklığı ile dış ortam sıcaklığı farkının 5°C üzerinde olması durumunda ayrıık ısı borulu ısı değıştiricinin çalıştığı, diğer durumda ise Mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminin çalıştığı öngörülmüştür. Bu senaryoya göre ayrıık ısı borulu ısı değıştiricisinin performans katsayısı 9.4 ile 16.9 arasında olduğunu hesaplanmıştır [6].

Zhou ve ark. telekomünikasyon baz istasyonlarında termosifon ısı değıştirici ile enerji tasarruf analizi adlı çalışmada ısı değıştirici ve tipik mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi bulunan bir telekomünikasyon baz istasyonunun iç ve dış hava sıcaklığı farkının kullanılarak kurgulanan senaryo ile soğutulması modellenmiştir. Bu çalışmada Çin ülkesindeki soğuk iklime sahip olan şehirlerden %64,9 ile %55 arasında, soğuk kış yaşanan bölgelerde %30-%40 arasında sıcak iklim bölgesine ait şehirlerde ise %20 civarında enerji tasarrufu sağlanacağı hesaplanmıştır [7].

Petraglia ve ark. telekomünikasyon baz istasyonlarının ısı akışı ve etkin davranışı isimli çalışmasında İtalya ülkesi Frosionone Şehrinde bulunan bir baz istasyonu tipik soğutma sistemin serbest soğutma ile desteklenerek modellenmiş ve ölçülen sonuçlarla incelenmiştir. Çalışmada 3000Watt ısı yüküne sahip bir baz istasyonunun ikiz mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminin ve serbest soğutma sistemi ile çalışması durumunda %30 a kadar enerji tasarrufu sağlanmıştır. Ayrıca Değişik renkteki boyalar (farklı yansıtma katsayıları ile) analiz edilmiş ve sistemde %2.5 luk bir değışim hesaplanmıştır [8].

Aynı çalışmanın devamı olarak 2019 yılı verileri ile yapılan simülasyonda, 2013 yılı sistem tasarımı (mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma + serbest soğutma sistemi) ile inverter klima sistemini karşılaştırmış inverter klima sisteminin %20 daha tasarruflu olduğunu hesaplamıştır. Bu durumun sebebinin ise iki klima sisteminin devreye girip çıkmasından kaynaklandığını ifade edilmiştir [5].

Yantong ve ark. Çin ülkesindeki telekomünikasyon baz istasyonlarında gizil ısı depolama ünitesinin optimizasyonu ve performansı isimli çalışmasında Çin ülkesinde dört farklı iklim bölgesinde bulunan Kunming, Zhengzhou, Shenyang ve Changsha şehirleri için gizil ısı depolama ile çalışan soğutma sistemlerinde gizil ısı depolama birimlerini incelenmiş Genetik Algoritma kullanılarak yapılan optimizasyondan Shenyang, Zhengzhou, Changsha ve Kunming şehirleri için yıllık enerji tasarrufu oranlarının sırasıyla % 6,48, % 4,39, % 3,48 ve %3,51 artırıldığı görülmüştür [9].

Chen ve ark. telekomünikasyon baz istasyonlarında havalandırma ile soğutma teknolojisi çalışmasında Guangzhou kentinde bulunan bir telekomünikasyon baz istasyonunda tipik soğutma sisteminin yanında dış hava kaynaklı soğutma tekniği kullanılmış ve yıllık soğutma için gereken enerjiden %49 tasarruf edileceği hesaplanmıştır [10].

Zhang ve ark. telekomünikasyon baz istasyonunun koruyucu yapı duvarlarına faz değişen materyaller kullanarak Çin ülkesinde Kunming, Zhengzhou, Shenyang, Changsha ve Guangzhou şehirleri için simule etmiş olup her bir farklı iklim bölgesindeki bu şehirler için değişik katman kalınlıkları hesaplanmaya çalışılmıştır. [11]

Beckers ve ark. deneysel çalışmada hibrit toprak kaynaklı ısı pompası sistemi kullanarak telekomünikasyon baz istasyonunu soğutma uygulaması yapmış soğutma için harcanan enerjiden yaklaşık %30 luk bir enerji tasarrufu sağlamıştır [12].

Martinez ve ark. Alicante (İspanya) şehrinde bulunan bir ofis ve 3 laboratuvardan oluşan 200 m² alana sahip bir mekan için düşük kapasiteli güneş destekli Soğurmalı sistemin tasarımını ve test sonuçlarını TRNSYS programı üzerinde incelemiş (17.6 kW soğutma kapasitesi, 1000 lt boiler) ve ortalama COP değerini 0.691 olarak bulmuştur [13].

Wang ve ark. Karma (mekanik buhar sıkıştırmalı soğutma + serbest soğutma sistemi) soğutma sistemi ile baz istasyonlarında yapılan soğutmayı model öngörücü kontrol (MPC) değişkenlerini ayırık parçacık sürüsü optimizasyon algoritması kullanarak optimize etmiş ve günlük yaklaşık %37 lik bir enerji tasarrufu elde edileceğini hesaplamıştır [14].

Sundaram ve ark. çöl ve tropik bölgelerde faz değiştiren materyalli iki fazlı termosifon ile telekomünikasyon baz istasyonlarının pasif soğutma soğutulmasının deneysel incelenmesi çalışmasında sistemde faz değiştiren materyalli iki fazlı termosifon kullanılarak pasif soğutma yapılmıştır. Gündüz oluşan ısı yükü depolanıp gece vakti ortam sıcaklığı düştüğünde termosifon vasıtasıyla dışarı verilmiştir. Bu sayede sistemde tipik soğutma sistemine göre yılda 22,776kWh enerji tasarrufu sağlanmıştır [15].

Wu ve ark. telekomünikasyon baz istasyonunda serbest soğutmayı bir baca vasıtasıyla yapılmasını tasarlamış yapılan deneysel çalışma sonucunda mekanik buhar sıkıştırmalı soğutma sistemine göre yaklaşık %50 enerji tasarrufu sağlanmıştır [16].

Yang ve ark. Çin ülkesinde 4 farklı iklim bölgesinde bulunan Guangzhou, Harbin, Hangzhou ve Beijing kentlerindeki değişik fiziki bileşenlere ve değişik cihaz gücüne sahip 196 telekomünikasyon baz istasyonlarını soğutma performans katsayısı ve yalıtım değerlerine göre en uygun soğutma senaryosunu modellemiştir. Yapılan çalışma sonucunda havalandırma ile yapılan soğutmanın düşük COP değerleri için önemi ve soğutma üzerindeki olumlu etkisini göstermiştir [17].

Zhang ve ark. Guangzhou şehrinde bir telekomünikasyon baz istasyonunun ısı verimliliği incelenmiş, ısı verimliliğe etki eden etmenler incelenmiş ve en iyi sistem tasarımı önerisi yapılmıştır [18].

Sun ve ark. Çin ülkesinde Telekomünikasyon baz istasyonlarını faz değiştiren malzeme ile doğal soğuk kaynağın kullanımına ilişkin bir çalışma yapmıştır. Yapılan teorik ve deneysel çalışmada ortalama yıllık düzeltilmiş enerji verimliliği oranının 14.04 W/W olduğunu hesaplanmıştır [19]

Zhang ve ark. telekomünikasyon baz istasyonlarında yerçekimi etkili ısı borusu uygulamasını denemiş, iç hava debisi 0.4kg/s ve dış hava debisi 0.6kg/s olduğunda ve ısı borusu açısı 20° olduğunda en yüksek verim değeri elde edildiğini görmüştür [20].

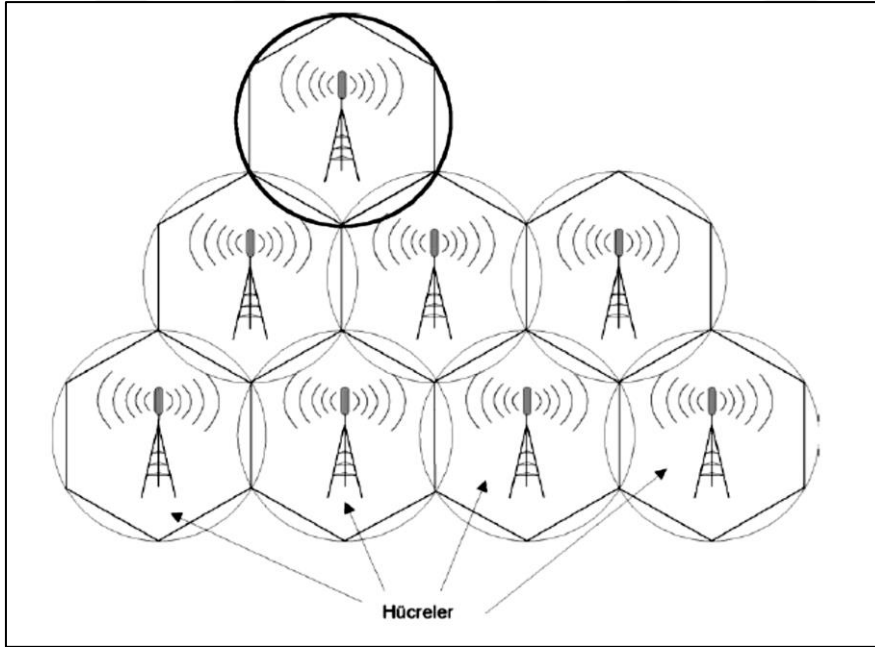
Han ve ark. mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma sistemine termosifon ekleyerek yeni bir tasarım yapmıştır. Yeni tasarım Çin ülkesinde bulunan birçok şehirde denemiş olup bu tasarımın klasik mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma sistemine göre %30 daha verimli olduğu görülmüştür [21].

Zhu ve ark. DeST programı ile ayırık ısı borulu ısı değiştiricilerini kullanmış, 4 kW ve 6 kW ısı yüküne sahip olan telekomünikasyon baz istasyonlarını Guangzhou, Shanghai ve Beijing kentlerinin iklimsel özellikleri ile simülasyonunu yapmıştır [6].

Bu çalışmada güneş kaynaklı soğurmalı soğutma sistemi kullanılarak baz istasyonu kabininin soğutma simülasyonu hazırlanmıştır. Ülkemizdeki değişik şehirlerinde çalışması durumunda gereken güneş kolektörü alanı ve elektrik enerjisi tüketimi hesaplanmış, bulunan değerin parasal karşılığı ile ilk kurulum ve bakım (değişim) maliyetleri eklenerek %15 sabit enflasyon oranı ile toplam maliyet elde edilmiş, COPs=4 olan mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminin toplam maliyeti ile kıyaslanmıştır. Ayrıca mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi yerine güneş kaynaklı soğurmalı soğutma sistemi kullanıldığında elektrik tüketimindeki değişimden dolayı çevreye etkisi incelenmiştir.

3. TELEKOMÜNİKASYON BAZ İSTASYONLARI

Kablosuz haberleşme ile iletişim temeli Marconi tarafından 1897 yılında fırtına alarmındaki zili telgraf düğmesine basarak çalıştırmasıyla atılmıştır [22]. 1920'li yıllarda Reichsbahn isimli demiryolu şirketi yolcularına seyahat halinde konuşabilecekleri “tren telefonu” nu tanıtmıştır. Kablosuz haberleşme 1940'lı yıllardan itibaren Amerika Birleşik Devletleri’nde askerleri amaçlı olarak kullanılmaya başlanmış. 1946 yılında Motorola firması tarafından sivil kullanıma açık taşınabilir mobil telefonun tanıtılmıştır. 1972 yılında Bell Laboratuvarlarında mobil iletişim için “hücre sel haberleşme kavramı” geliştirilmiştir [23], [24].



Şekil 3.1. Baz istasyonlarının hücre sel yapısı

Hücre sel iletişim sistemlerinde, iletişim hizmeti sunacak alan hücre adı verilen küçük coğrafya alanları bölünmüştür. İletişim bu hücre merkezlerinde bulunan baz istasyonu olarak adlandırılan elektronik sistemler ile sağlanır. Bütün hücrelerdeki baz istasyonları birbirine bağlıdır. Hücrelerde bulunan baz istasyonları bir örüntü şeklinde olan anahtarlama birimlerine bağlanmaktadır. Mobil iletişim cihazı bulunduğu hücre alanı içerisindeki baz istasyonu ile elektromanyetik dalgalar aracılığı ile haberleşmektedir. Kullanıcı bir hücrenin kapsama alanında çıktığı anda diğer bir hücrenin kapsama alanına girmesi durumunda birbiri ile haberleşen anahtarlama sistemleri sayesinde herhangi bir kesinti olmadan

haberleşebilmektedir. Anahtarlama merkezleri arası iletişim kablolu veya kablosuz olarak gerçekleşmektedir [25].

3.1. Telekomünikasyon Baz İstasyonu Tipleri

Baz istasyonları, kapsama alanına ve aynı anda hizmet verebileceği abone sayısına göre farklı elektronik sistemler içermektedir. Baz istasyonları kapsama alanına Piko, Mikro, Makro ve Mega olmak üzere dört farklı tipten oluşmaktadır [25].

3.1.1. Mega

Geniş kapsama alanı olan ve aynı anda hizmet verilecek abone sayısının düşük olduğu hücreler için kullanılabilecek baz istasyonu tipidir. Mega baz istasyonları kapsama alanı bir şehir merkezi veya çok geniş bir kırsal alan olabilmektedir [25].



Resim 3.1. Makro baz istasyonu [26]

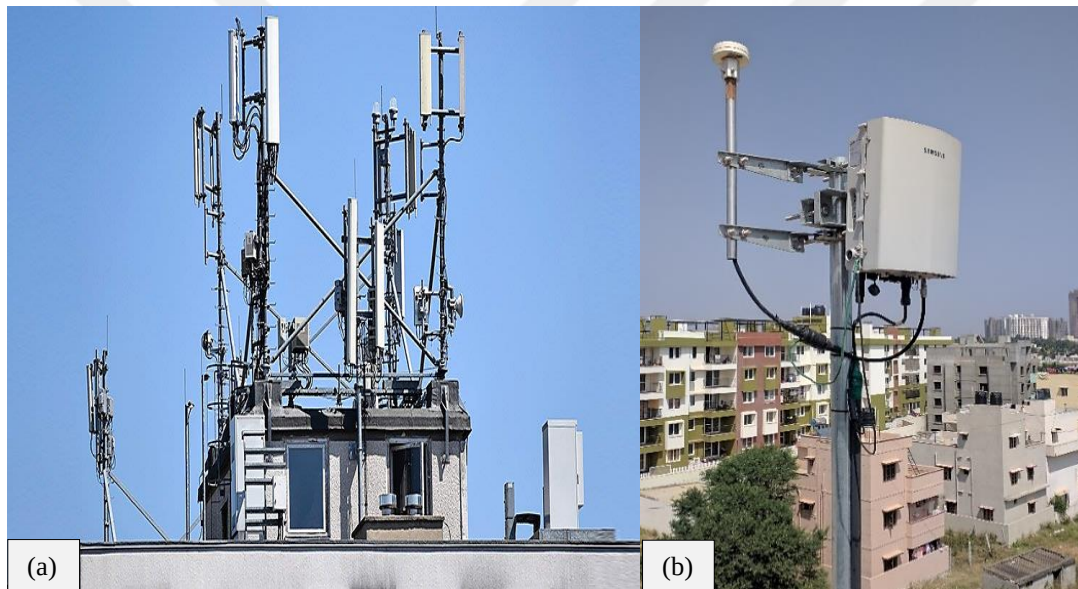
3.1.2. Makro

Hücre yarıçapı 18-36 km arasında değişen baz istasyonu tipidir. Makro baz istasyonlar kırsal bölgelerde hizmet verdiği için baz istasyonu iletişim cihazları bir fiziki yapı ile korunmaktadır. GSM900 MHz bandında 40W-60W arasında anten bulundurmaktadırlar.

Makro baz istasyonları yüksek bir anten kulesi içermektedir. Resim 3.1’de makro telekomünikasyon baz istasyonu görülmektedir.

3.1.3. Mikro

Özellikle şehirlerde bulunan ve kapsama alanı makro baz istasyonlarından küçük fakat aynı anda daha fazla abonenin bağlandığı sistemlerdir. Bu sistemler bir mahallenin veya büyük bir alışveriş merkezinin iletişim ihtiyacını karşılayabilmektedir. Genellikle bina üzerlerinde ve cami minarelerinde görülen baz istasyonu tipleridir. Mikro baz istasyonlarının anten çıkış gücü GSM900 bandında 5W-10W arasında değişmektedir.



Resim 3.2. a) Mikro baz istasyonu b) Piko baz istasyonu

3.1.4. Piko

Anten çıkış gücü düşük genellikle yapısal özelliklerden dolayı elektromanyetik dalgaların giremediği alanlarda kullanılan baz istasyonu çeşididir. Diğer baz istasyonlarına göre aynı anda en az kullanıcı sayısı ve kapsama alanına hizmet vermektedir.



4. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneşten gezegenimizin atmosferine gelen anlık ışıınımı hesaplayabilmesi için atmosfer öncesi yatay zemine düşen tüm dalga boylarındaki güneş ışıınımı ve bazı konum açılarının bilinmesi gerekmektedir. Bu denklemler ve açılar yardımıyla yapılacak olan hesaplamalar sonucunda Güneş kolektörü yüzeyine gelen ışıınım miktarı kullanılarak kollektörün bu ışıınımın ne kadarını ısı veya elektrik enerjisine çevirebileceği hesaplanabilmektedir.

4.1. Güneş Kolektörleri

Artan enerji ihtiyacı karşısında fosil yakıtların rezervlerinin yetersizliği ve çevreye verdiği zararlar alternatif enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Alternatif enerji kaynaklarının başında gelen güneş enerjisini ısı veya elektrik enerjisine çevirmek için çeşitli cihaz veya düzenekler hazırlanmıştır [27].

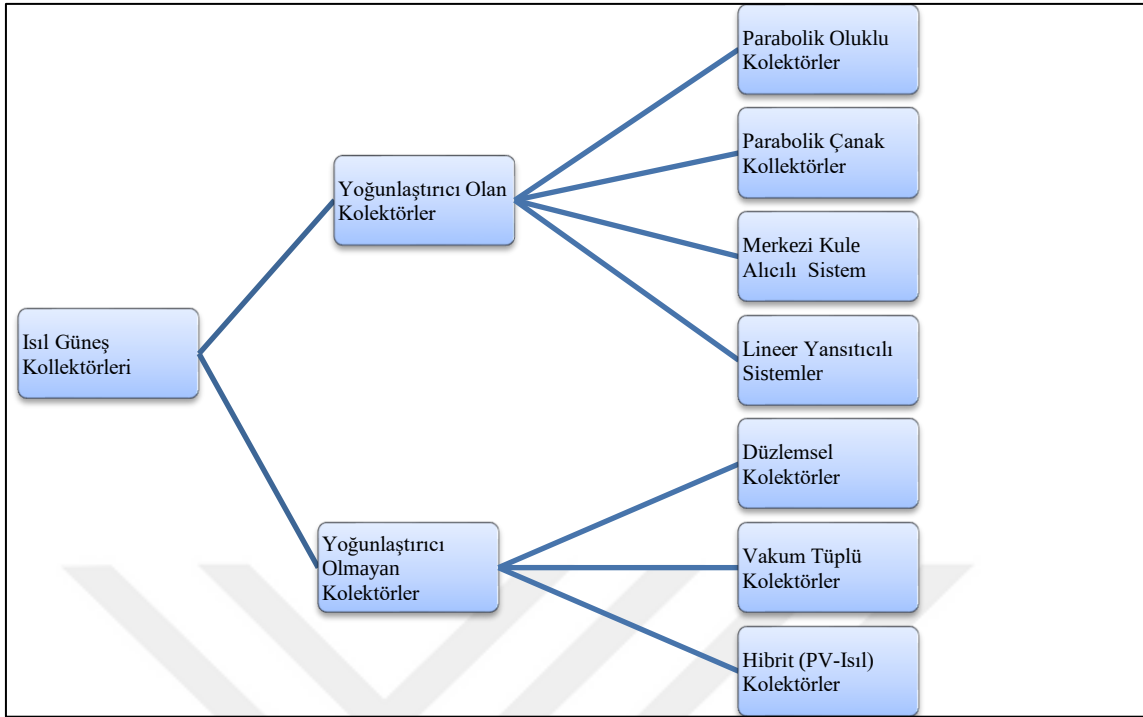
Güneş ışıınımı fotovoltaik paneller (PV) kullanılarak elektrik enerjisine çevrilebildiği gibi ısı kolektörler kullanılarak ışıınım ısı enerjisine çevrilebilmektedir.

Isıl kolektörler yapısal olarak yoğunlaştırıcı olan kolektörler ve yoğunlaştırıcı olmayan kolektörler olarak iki ana başlık altında incelenmektedir [28].

Güneş kolektörleri ısı transferi akışkanı çıkış sıcaklığına göre üçe ayrılmaktadır. Bunlar;

- Düşük sıcaklık uygulamaları (100°C ye kadar)
- Orta Sıcaklık uygulamaları (100°C ile 400°C arasında)
- Yüksek sıcaklık uygulamaları (400°C üzerinde)

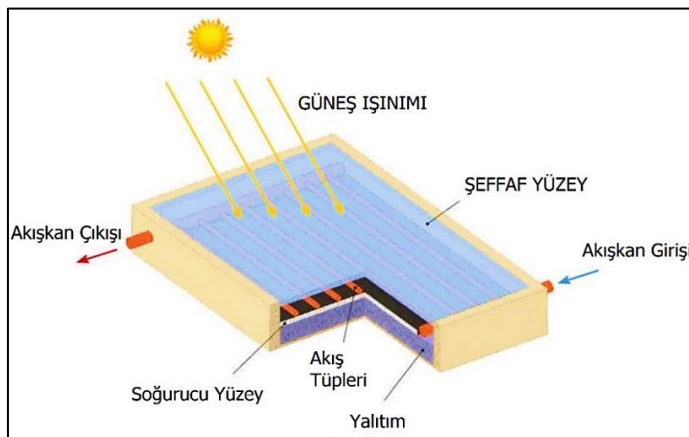
Bu çalışmada düşük sıcaklık uygulaması yapılacağı için düz plakalı güneş kolektörü ve vakum tüplü güneş kolektörü hakkında kısa bilgi sunulmaktadır.



Şekil 4.1. Isıl kolektörlerin yapısal sınıflandırılması

4.1.1. Düz plaka güneş kolektörleri

Düz plaka güneş kolektörleri güneş ışınlamını kolektör içine alan saydam örtü, ışınlamı ısı enerjisiye çeviren bir yutucu plaka, yutucu plaka ile temas halinde olan ısı transfer akışkanının içinde dolaştığı bir boşluk ya da boru, kolektörün ısı kaybını engelleyen yalıtım ve kolektör kasasından oluşmaktadır. Düz plakalı güneş kolektörlerinde ısı transfer akışkanının çıkış sıcaklığı 80°C ye kadar ulaşabilmektedir [29]. Bu açıdan düşük sıcaklık uygulamaları için uygundur.



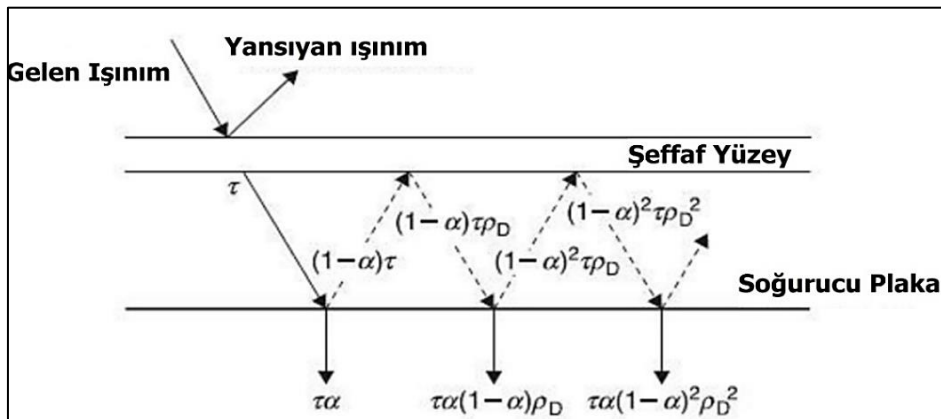
Şekil 4.2. Düz plaka güneş kolektörü yapısı [28]

Düz plaka tipi kolektörleri en dış yüzeyinde saydam örtü bulunmaktadır. Sıydam örtü güneş ışıınıını yutucu plakaya geçirirken yutucu plakadan yansıyan ışıınıını yansıtması gerekmektedir. Ayrıca sıydam örtünün ısı iletim katsayısının düşük olması kolektör verimini olumlu yönde etkileyecektir. Sıydam örtü için güneş ışıınıını yansıtma, yutma ve geçirme katsayılarının ilişkisi Eşitlik 4.1’de verilmiştir

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (4.1)$$

Şekil 4.3’de görüldüğü gibi sıydam örtüden geçen güneş ışıınıını (τ), yutucu plaka yüzeyine çarptıktan sonra bir bölümü yutucu plaka tarafından yutulmakta ($\tau\alpha$) diğer kısmı $(1-\alpha)\tau$ ise sıydam örtüye yansımaktadır. Yansıyan ışıının bir kısmı sıydam örtüden atmosfere geçerken bir kısmı geri yansır. Bu işlem defalarca tekrar eder [30].

Düz plaka güneş kolektörlerinde kullanılan bazı sıydam örtü malzemelerinin fiziksel özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Yutucu plaka üzerine düşen güneş ışıınıını yutarak temas halindeki bir borudan veya kanaldan geçen ısı transfer akışkanına iletmektedir. Yutucu plaka güneş ışıınıını iyi bir şekilde yutması ve ısınmanın etkisiyle uzun dalga boyunda yaydığı ışıınının az olması gerekmektedir. Bu nedenle yutucu plaka alüminyum, bakır paslanmaz çelik gibi malzemelerden yapılmaktadır.



Şekil 4.3. Sıydam örtü ile yutucu plaka arasındaki ışıınıın [30]

Yutucu plaka özel boylarla boyanmakta olup bu boyların kısa dalga boyundaki ışıınıını yutma oranı 0,91- 0,97 arasında değişmektedir. Ayrıca uzun dalga boyundaki ışıınıını yayma oranı 0,5 -0,12 arasında olmaktadır. Çizelge 4.2’ de yutucu plaka ile kullanılan bazı boylara ait özellikler verilmiştir.

Çizelge 4.1. Bazı saydam örtü malzemelerinin fiziksel özellikleri [31]

Malzeme	Kalınlık (mm)	Kırma indisi	Nominal geçirme oranı		Dayanıklılık (°C)
			Güneş ışınımı 0,2-4,0 μm	Yayılan ışınım 0,2- 4,0 μm	
Lexan	3,2	1,586	0,73	0,02	120-130
Akrilik	3,2	1,49	0,80	0,02	80-90
Teflon	0,13	1,34	0,90	0,26	200
Tedlar	0,10	1,45	0,88	0,21	110
Mylar	0,13	1,65	0,80	0,18	150
Sunlite	0,64	1,54	0,75	0,08	90
Düzgün cam	3,2	1,52	0,79	0,02	730
Temper cam	3,2	1,52	0,79	0,02	230-260
Su beyazı cam	3,2	1,50	0,92	0,02	200

Çizelge 4.2. Yutucu plaka olarak kullanılan yüzeylerin özellikleri [31]

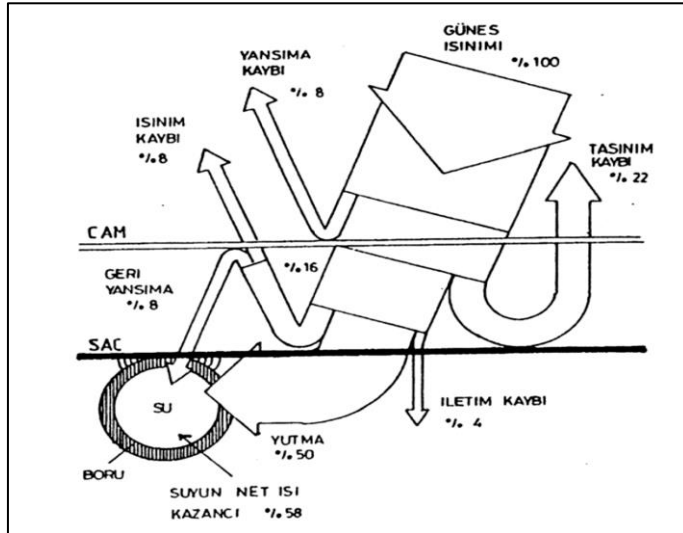
Kaplama	Alt tabaka	Yutma katsayısı (a)	Yayma katsayısı (e)
Nikel	Galvanizli çelik	0,93	0,08
Kobalt	Galvanizli çelik	0,91	0,12
Krom	Çelik	0,95	0,16
Demir oksit	Çelik	0,83	0,06
Kobalt	Alüminyum	0,92	0,13
Bakır oksit	Alüminyum	0,93	0,11
Kurşun sülfür	Alüminyum	0,89	0,20
Nikel	Çinko kaplı Al.	0,94	0,10
Krom	Çinko	0,91	0,08
Çinko oksit	Çinko	0,95	0,08
Krom	Bakır	0,92	0,08
Kobalt oksit	Nikel	0,87	0,07

Düz plaka kolektörlerde bulunan yalıtım malzemesi kolektör içerisinde oluşan ısı enerjisini dışarıya kaçmasını önleyerek kolektör verimini artırmaya yardımcı olmaktadır. Kolektör içerisinde ısı transfer akışkanı dolaşımı bulunmadığı zamanlarda kolektör sıcaklıkları 100°C üzerine çıkmaktadır. Bu nedenlerden dolayı yalıtım malzemesinin yanmaya karşı dayanımı yüksek olması ve yutucu plaka ile temasının olmaması gerekmektedir. Çizelge 4.3' te Düz plaka tipi güneş kolektörde kullanılan yalıtım malzemeleri ait özellikler verilmiştir.

Çizelge 4.3. Düz plaka tipi güneş kolektörde kullanılan yalıtım malzemeleri [31]

Malzeme	Isıl iletkenliği (W/mK) (24 °C' de)	Maksimum kullanım sıcaklığı (°C)
Cam yünü	0.032	343
Mineral lifli	0,036-0,055	649-1037
Kalsiyum silikat	0,055 (90 °C de)	649
Perlit	0,048 (90 °C de)	816
Polistiren köpük	0,029-0,039	74
Poliüretan köpük	0,023	104
İsosiyanür köpük	0,025	121
Fenolik köpük	0,033	135
Formaldehit köpük	0,032	132

Düz plaka tipi güneş kolektörlerinde kolektör kasası sızdırmaz özellikli olması gerekmektedir. Özellikle sıvı ısı transfer akışkanı bulunan toplayıcılarda kasanın tam sızdırmaz özellikte olmaması durumunda kolektör yüksek sıcaklıklara çıktığında içerisinde bulunan su buharının oluşturacağı basınç kuvveti kolektöre zarar vermektedir [32]. Şekil 4.4'de kolektör üzerinde gelen Güneş ışınımının yansımaya oranları verilmiştir.

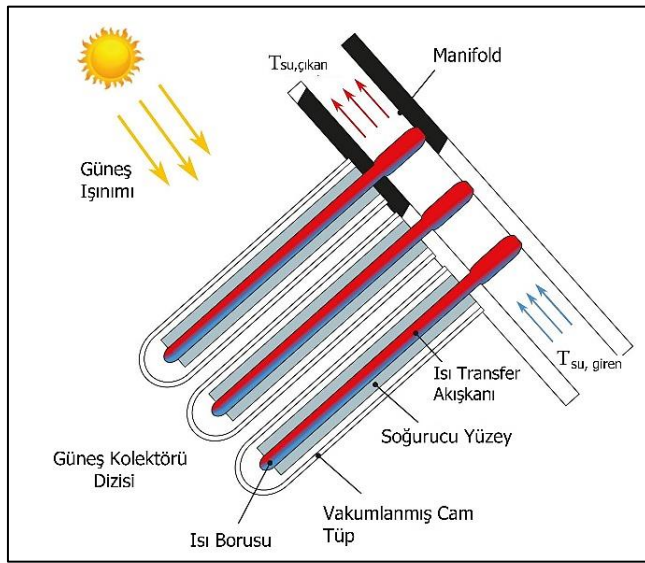


Şekil 4.4. Düz plakalı kolektörün verimini etkileyen etmenler [33]

4.1.2. Vakum tüplü ısı borulu güneş kolektörleri

Vakum tüplü güneş kolektörü temel olarak havası alınmış bir cam tüp içerisinde ısı borusunun yerleştirilerek tüplerin bir kolektör üzerinde dizilmesiyle oluşmaktadır. Güneş

ışını dış cam tüpten geçip soğurucu yüzeyde ısı enerjisine dönüşerek ısı borusunun ısıtmakta ve oluşan ısı taşınarak kollektördeki ısı transfer sıvısına iletilmektedir. Şekil 4.5'te ısı borusunun bölümleri gösterilmiştir. Vakum tüplü güneş kolektörleri güneş ışınım şiddetine bağlı olarak ısı transfer sıvısının sıcaklığını 200°C kadar artırabilmektedir. Bu nedenle orta sıcaklık seviyesindeki uygulamalarda vakum tüplü güneş kolektörü kullanılabilir. Vakum tüplü güneş kolektörleri düz plaka tipi güneş kolektörleri ile kıyaslandığında kurulum kolaylığı, kolektör veriminin yüksek olması ve mimari açıdan uygulanabilir olması gibi avantajları vardır.



Şekil 4.5. Vakum tüplü güneş kolektörü şeması [28]

Bu avantajların yanında vakum tüplü güneş kolektörlerinin vakum tüplerinin zamanla vakum kaybı oluşturması ve ilk yatırım maliyetinin yüksek olması gibi dezavantajları vardır [32].

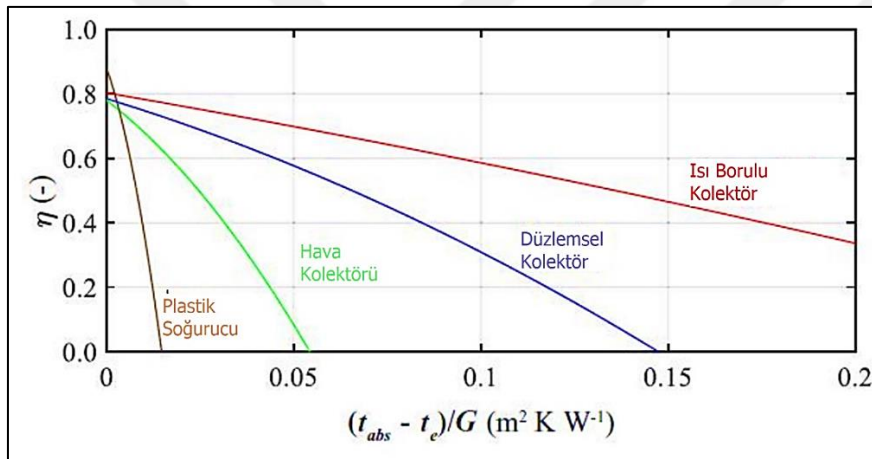
Vakum tüplü güneş kolektörlerinde cam tüp düz plaka tipi güneş kolektöründe olduğu gibi kısa dalga boyuna sahip güneş ışınlarına karşı yüksek geçirgenliğe sahip olması, yutucunun ısınmasından dolayı yutucu yüzeyinde meydana gelen uzun dalga ışınımını yutucu yüzeye geri yansıtması gerekmektedir.

Vakumlanmış cam tüpün en büyük avantajı ise içerisinde çok az miktarda hava bulunduğundan ısı iletiminin ihmal edilebilecek kadar küçük değerlerde olmasıdır. Bu özellik kolektörün herhangi bir dış hava sıcaklığında ve rüzgâr hızında cam tüp kaynaklı ısı

kayıpların çok küçük olmasından dolayı kolektör veriminin etkilenmemesi anlamına gelmektedir.

Yutucu yüzey seçimi yapılırken yüzeyin güneş ışınımını iyi bir şekilde yutması ve ısınmaya bağlı olarak uzun dalga ışıınının çok küçük olması verim kaybı olmaması açısından gereklidir.

Vakum tüplü güneş kolektörleri sıvı giriş sıcaklığının ortam sıcaklığından farkının 50°C den büyük olduğu durumlarda düz plaka kolektörlere göre verimi yüksek olmaktadır. Şekil 4.6'da düşük ve orta sıcaklık uygulamaları için güneş kolektörlerinin verim eğrileri verilmiştir [28].



Şekil 4.6. Düşük ve orta sıcaklık güneş kolektörü verimi [28]

4.1.3. Düzlemsel ve vakum tüplü güneş kolektörlerinde verimin hesaplanması

Deneysel çalışmalar sonucunda vakum tüplü güneş kolektörü için üretici tarafından verilen katsayılar kullanılarak güneş kolektörünün verimi kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Eşitlik 4.2 kullanılarak Güneş kolektörlerinde verimin hesaplanması yapılabilir [34].

$$\eta = \eta_0 - \frac{k_1 - \Delta T}{I} - \frac{k_2 - \Delta T^2}{I} \quad (4.2)$$

Denkleimde bulunan k_1 ve k_2 katsayıları üretici tarafından verilen katsayılardır. Soğurucu sıcaklığı ile dış hava sıcaklığının farkı termik kayıp olarak tanımlanmaktadır. Termik kaybın olmaması ($\Delta T = 0$) durumunda denklemde verim en yüksek değere ulaşacaktır.

Çizelge 4.4. Viessmann firmasının kolektör verim hesabı katsayıları [34]

	Kolektör alanı m^2	Optik verim	k_1	k_2
Viessmann Vitosol 300F	2,51	83,4	3,66	0,0169
Viessmann Vitosol 300T	3	80,4	1,33	0,0067

Yukarıdaki katsayılar denklemde yerine yazıldığında kolektör verimi bulunur. Kolektör veriminin bulunmasından sonra Eşitlik 4.3 kullanılarak kolektörden elde edilecek ısı enerjisi bulunabilir.

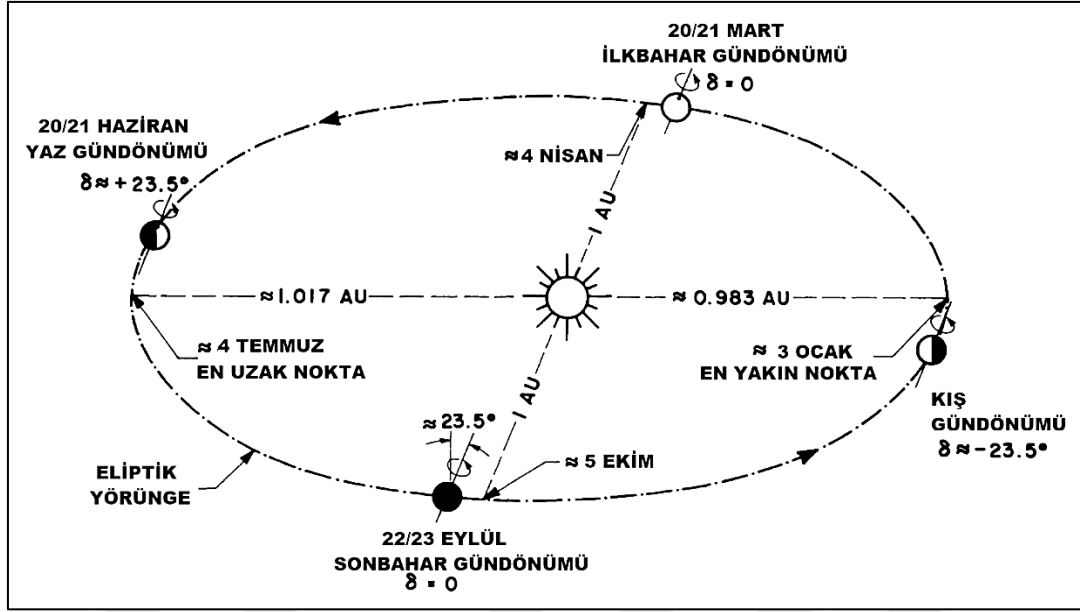
$$Q_{kol \text{ faydalı}} = A_{kolektor} * I * \eta_{kolektor} \quad (4.3)$$

4.2. Güneş Işınımı Hesaplaması

Güneş kolektörleri güneşten gelen ışınlam enerjisini ısı enerjisine çevirmektedir. Yılın herhangi bir zaman dilimi için güneş kolektörünün yutucu plakası üzerine düşen güneş ışınlam miktarı yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir. Bu hesaplama yapılırken Güneşten atmosfer öncesi yatay zemine düşen ışınlam miktarı, Gezegenimizin yörünge özelliklerinden kaynaklanan bazı açıların ve kolektörün bulunduğu yerin koordinatları bilinmesi gereklidir. Bu değişken ve sabitler ile hesaplama yöntemi alt başlıklar halinde sunulmuştur.

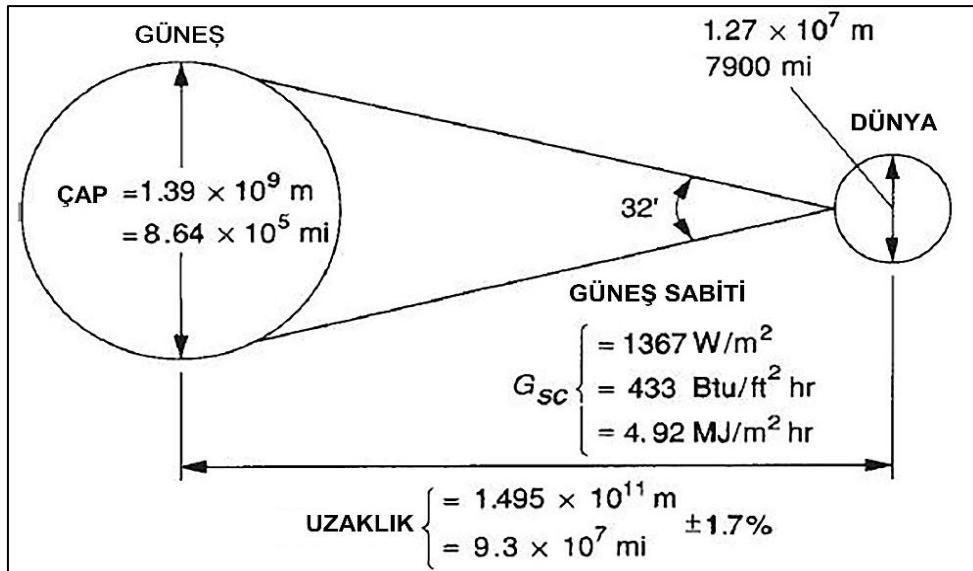
4.2.1. Güneş sabiti

Gezegenimiz kendi ekseninde ve güneş etrafında dönmektedir. Bu dönüş esnasında dünyamızın yörüngesi düzgün çember şeklinde olmayıp eliptik yörünge izlemektedir. Düzgün olmayan bu yörünge nedeniyle yılın bazı günleri gezegenimiz ile güneş arasındaki mesafesi değişmektedir.



Şekil 4.7. Dünyanın Güneş etrafındaki hareketi [35]

Şekil 4.7'den görüleceği üzere gezegenimizin Güneşe uzaklığı 20-21 Mart ve 22-23 Aralık tarihinde 1 Astronomik Birime (1.496×10^{11} kilometre) eşittir. 4 Temmuz ve 3 Ocak'ta ise sırasıyla 1.017 AU ve 0.983 AU olmaktadır. Gezegenimizin eliptik yörüngesi nedeniyle atmosfer öncesi güneş ışınlam miktarı tüm yıl boyunca eşit miktarda gelmeyip %3,5 luk bir değişime sebep olmaktadır [2].



Şekil 4.8. Güneş-Dünya ilişkisi [36]

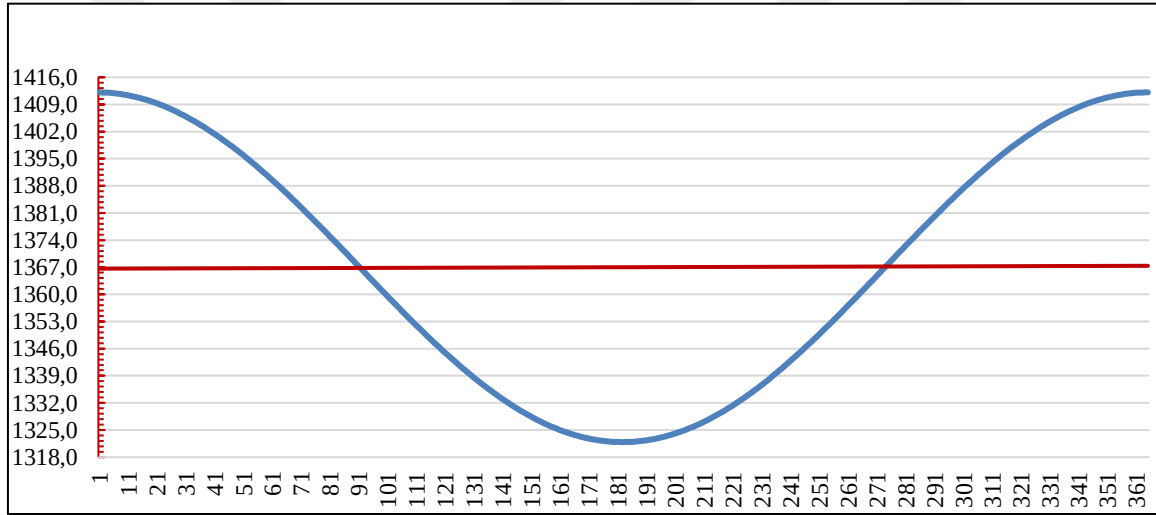
Bu değişimin 1319 W/m^2 ile 1414 W/m^2 arasında değişmektedir. Anlık güneşten gelen ışınlam miktarını hesaplayabilmek için aşağıdaki Eşitlik 4.4 kullanılmaktadır [35]. Tüm dalga

boylarında atmosfer öncesi Güneş ışıının yılın günlerine göre değişimi Şekil 4.9 da verilmiştir.

$$G_{on} = G_{sc} * \left(1 + 0.033 \cos \frac{360 * n}{365} \right) \quad (4.4)$$

$$B = (n - 1) \frac{360}{365} \quad (4.5)$$

$$G_{on} = G_{sc} (1,000110 + 0,03422 \cos B + 0,00128 \sin B + 0,000719 \cos 2B + 0,000077 \sin B) \quad (4.6)$$



Şekil 4.9. Tüm dalga boylarında atmosfer öncesi Güneş ışıının yılın günlerine göre değişimi

4.2.2. Güneş saati

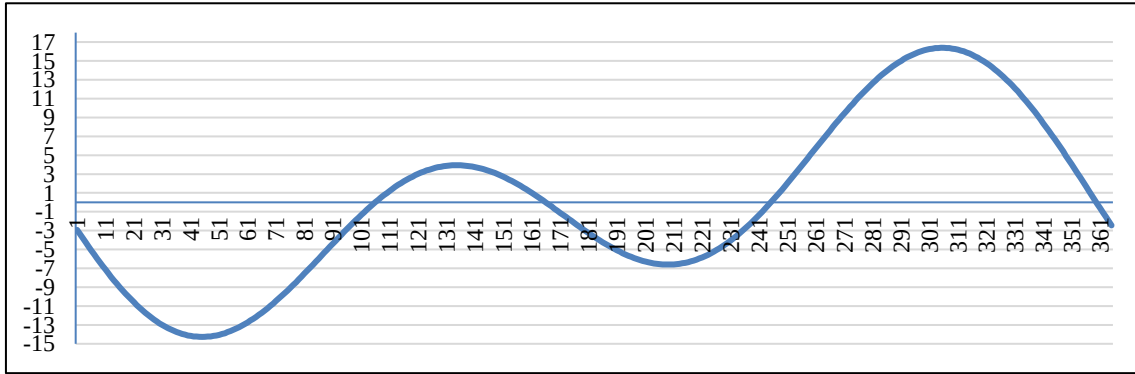
Güneşin gözlem yapılan yerdeki zamanına güneş zamanı denir. Güneş gözlem yapılan meridyenin üzerinde iken güneş öğlesi denir. Güneş zamanı yerel saatten farklıdır. Güneş saatini veren Eşitlik 4.7’de verilmiştir [36].

$$GS = YS + 4(L_{st} - L_{cos}) + E \quad (4.7)$$

Bu denklemde verilen E sayısı gezegenimizin kendi etrafında dönmesinden kaynaklanan küçük zaman düzeltmesini belirtmektedir. Zaman düzeltmesi miktarı Eşitlik 4.9’da verilmiştir [35]. Zaman düzeltmesinin yılın günlerine göre değişimi Şekil 4.10 da verilmiştir.

$$B = n - 1 \left(\frac{360}{365} \right) \quad (4.8)$$

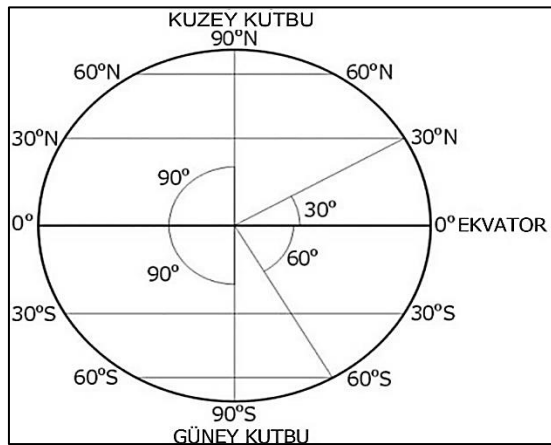
$$E = 229,2(0,000075 + 0,001868 \cos B - 0,032077 \sin B - 0,014615 \cos 2B - 0,04089 \sin 2B) \quad (4.9)$$



Şekil 4.10. Zaman düzeltmesinin yılın günlerine göre değişimi

4.2.3. Enlem açısı

Hesaplanmak istenen konumdan dünyanın merkezine çizilen doğrunun ekvator düzlemi ile yaptığı açıya enlem açısı denir. Enlem açısı (ϕ) sembolü ile gösterilmektedir. Bu açı hesaplanırken kuzey pozitif yön olarak alınır ve enlem açı değeri -90 derece ile +90 derece arasında değişmektedir.



Şekil 4.11 Enlem açısı

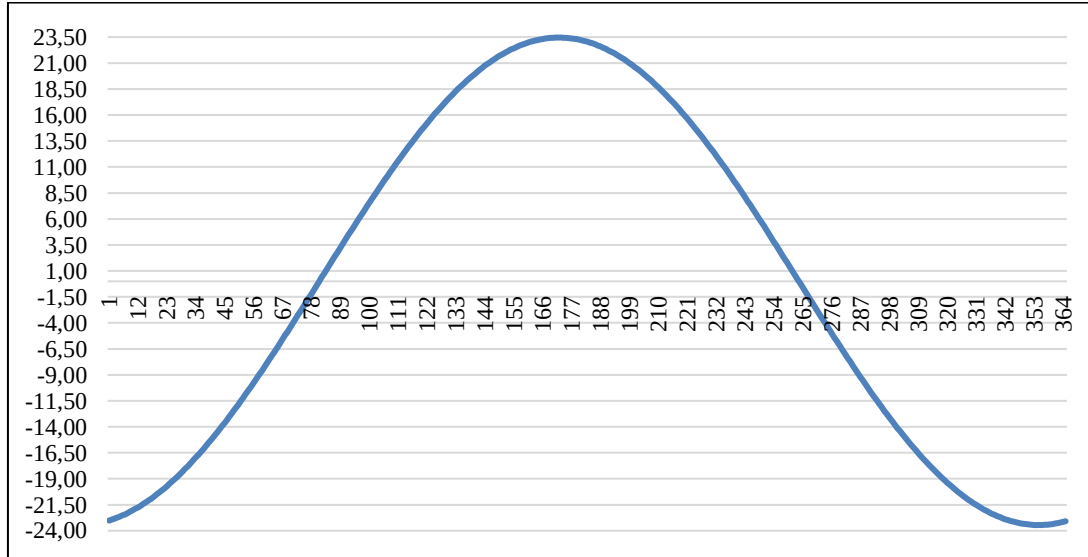
4.2.4. Deklinasyon açısı

Gezegelimiz yörünge düzlemine eğik bir konuma olması nedeniyle güneş ışınları farklı günlerde ekvator düzlemine farklı açılarda gelmektedir. Günlük olarak ekvator çizgisine gelen güneş ışınlarının açısında deklinasyon açısı denir. Deklinasyon açısı (δ) sembolü ile gösterilmektedir.

Deklinasyon açısı kuzey yarım küre için 21 Mart'ta 0 derece, 21 Haziran'da 23,45 derece, 21 Eylül'de 0 derece ve 21 Aralık'ta (-23,45) derece olur. Deklinasyon açısının hesaplanması için birkaç formül bulunmaktadır. Bu denklemler içerisinde en pratik olan Cooper tarafından verilen eşitliktir [37].

$$\delta = 23.49 \sin \left(\frac{360(284 + n)}{365} \right) \quad (4.10)$$

Eşitlikte “n” yılın gününü ifade etmekte olup 365 gün olan bir yıl için deklinasyon açısı Şekil 3.6. da verilmiştir.



Şekil 4.12. Yılın gününe göre deklinasyon açısı

Deklinasyon açısını daha hassas bir şekilde ifade edilmek istenirse aşağıdaki Eşitlik 4.11 kullanılmalıdır. Bu eşitlikte hata miktarı en çok 0.0006 radyandır [35].

$$\delta = (0.006918 - 0.399912 \cos B + 0.070257 \sin B - 0.006758 \cos 2B + 0.000907 \sin 2B - 0.002697 \cos 3B + 0.00148 \sin 3B) * (180/\pi) \quad (4.11)$$

4.2.5. Eğim açısı

Hesaplanacak yüzeyin yatay ile yaptığı açıya eğim açısı denir. Eğim açısı 0 derece ile 180 derece arasında değer alacaktır. Eğim açısı (β) simgesi ile gösterilmektedir.

4.2.6. Saat açısı

Hesaplanacak noktanın bulunduğu boylamın güneş ışınlarının dik geldiği boylam arasındaki açısal farka saat açısı denir. Saat açısı (ω) sembolü ile gösterilir. Eğer güneş ışınlarının bulunduğu boylam ile hesaplanacak noktanın boylamı aynı ise bu zamana güneş öğlesi denir. Güneş öğlesinden önceki açısal fark negatif, güneş öğlesinden sonraki açısal fark pozitif olarak alınır. Saat açısının hesaplanmasında her bir saat için 15 derece alınır. Saat açısının hesaplanmasında Eşitlik 4.12 kullanılır.

$$\omega = 15(GS - 12) \quad (4.12)$$

4.2.7. Güneş ışınlama açısı

Yüzeye gelen güneş ışınları (direkt) ile yüzey normali arasında kalan açıya denir. Güneş ışınlama açısı (θ) sembolü ile gösterilmektedir. Güneş ışınlama açısını bulmak için deklinasyon açısı, yüzey eğim açısı, saat açısı, enlem açısını Eşitlik 4.13 yerine yazılarak bulunabilir [36].

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \varphi \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \quad (4.13)$$

4.2.8. Zenit açısı

Yatay yüzey normali ile güneşin geliş açısı arasındaki açısal farktır. Zenith açısı (θ_z) sembolü ile gösterilir. Güneş ışınlama açısında $\beta=0^\circ$ olması durumunda zenith açısı denklemi elde

edilecektir. Bu tanıma göre Eşitlik 4.13'te $\beta=0$ değeri yerine yazıldığında Eşitlik 4.14 elde edilir.

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos \varphi \cos \omega + \sin \delta \sin \varphi \quad (4.14)$$

4.2.9. Güneş yükseklik açısı

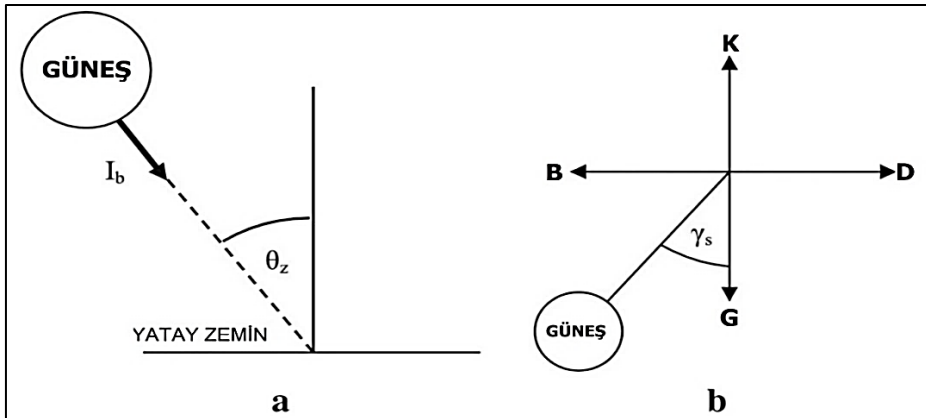
Güneş yükseklik açısı, güneşin direkt ışınımı ile yatay yüzey arasında kalan açıya denir. Güneş yükseklik açısı (α_s) ile gösterilir ve zenith açısının tümleyen açısıdır.

$$\theta_z + \alpha_s = 90^\circ \quad (4.15)$$

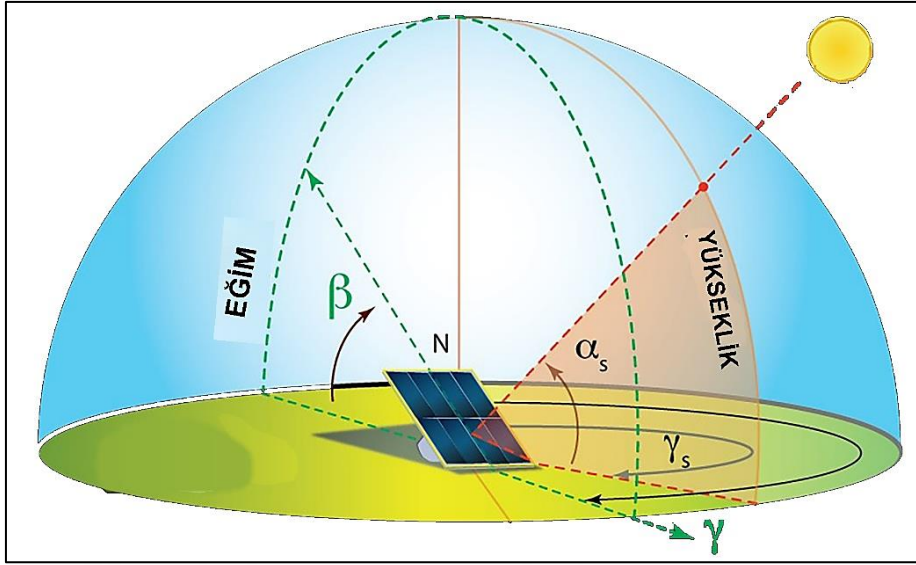
4.2.10. Güneş azimut açısı

Güneşin yatay eksen üzerindeki izdüşümünün coğrafi güney ile yaptığı açıya Güneş azimut açısı (γ_s) denir. Güneş azimut açısı yüzey azimut açısı gibi coğrafi güney istikametinde 0 derece, doğuya doğru negatif değer alan ve batı doğrultusunda pozitif değer alan açıdır.

$$\gamma_s = \text{sign}(\omega) \left| \cos^{-1} \left(\frac{\cos \theta_z \sin \varphi - \sin \delta}{\sin \theta_z \cos \varphi} \right) \right| \quad (4.16)$$



Şekil 4.13. a) Güneş zenith açısı b) Güneş azimut açısı [38]

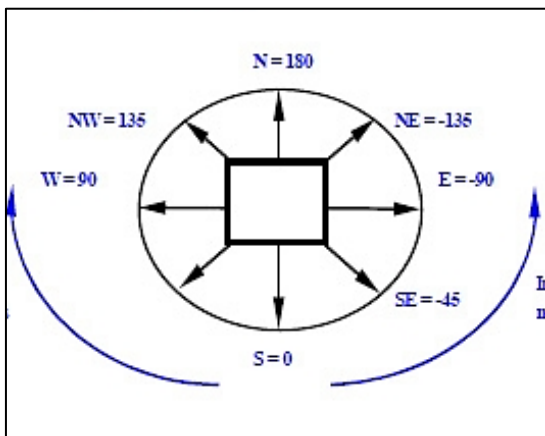


Şekil 4.14. Eğik düzlem üzerinde bazı güneş açıları [39]

4.2.11. Yüzey azimut açısı

Yüzey normalinin coğrafi güney ile yaptığı açıdır. Yüzey azimut açısı (γ) sembolü ile gösterilir. Bu açının değeri; Güney yönünde 0 derece, doğu yönüne doğru pozitif artarak 180 dereceye ve batı yönünde ise negatif azalarak -180 derece olarak tanımlanmaktadır.

$$-180^0 \leq \gamma \leq 180^0 \quad (4.17)$$



Şekil 4.15. Yüzey azimut açısının coğrafi yönlerle göre değeri [40]

4.2.12. Güneş batış açısı ve gün uzunluğu

Güneşin battığı andaki yatay düzlemle yaptığı açıya güneş batış açısı denir. Güneş zenith açısının $\theta_z = 90^\circ$ olduğu durumda batacaktır. Yatay yüzey için güneşin geliş açısı $\beta = 0$ ve $\cos \theta_z = 0$ yerine yazıldığında Eşitlik 4.18 bulunur. Gün uzunluğu ise Eşitlik 4.19'da gösterilmiştir [36].

$$\cos \omega_s = -\frac{\sin \varphi \sin \delta}{\cos \delta \cos \varphi} = -\tan \varphi \tan \delta \quad (4.18)$$

Gün uzunluğu ise Eşitlik 4.19 da gösterilmiştir.

$$N = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan \varphi \tan \delta) \quad (4.19)$$

4.2.13. Atmosfer dışında yatay yüzeye gelen radyasyon

Yörüngedeki değişimin yılın gün sayısına göre ifade edildiğinde ise atmosfer öncesi anlık güneş ışıınımı Eşitlik 4.20'den bulunabilmektedir. Bu eşitlikte G_{sc} güneş ışıınım sabitini, n yılın gününü ve θ_z ise zenith açısını ifade etmektedir.

$$G_0 = G_{sc} \left[1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365} \right] \cos \theta_z \quad (4.20)$$

Eşitlik 4.20'de Güneşin doğuşu ile Güneşin batışı arasında süre için atmosfer öncesi güneş ışıınımı integrasyon yapıldığında günlük atmosfer öncesi ışıınımı (H_0) veren Eşitlik 4.21'e ulaşılabilir. Bu eşitlik sadece +60 ile -60 enlem arasında doğru sonuç vermektedir.

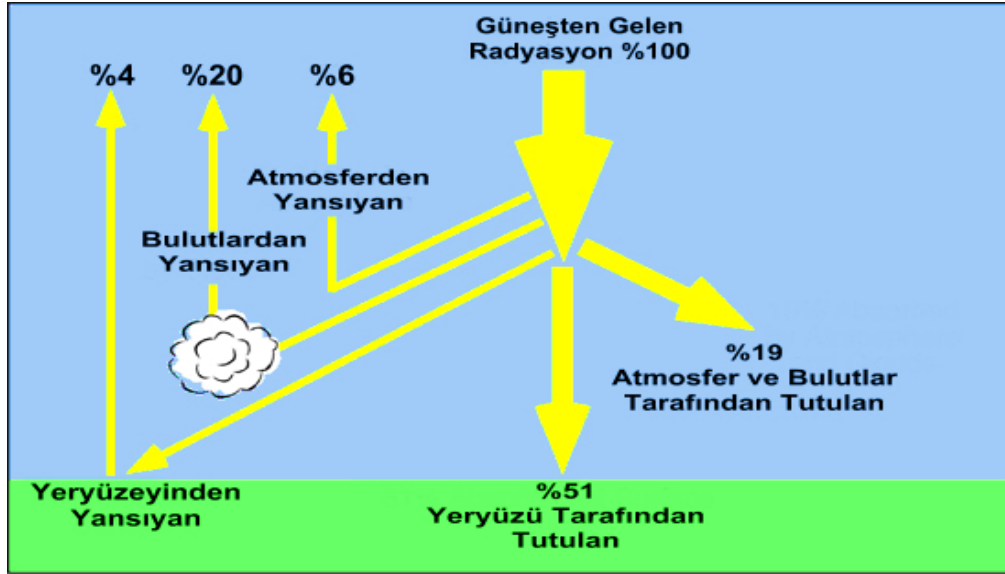
$$H_0 = \frac{24 * 3600 * G_{sc}}{\pi} \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \left[\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi\omega_s}{360} \sin \delta \sin \varphi \right] \quad (4.21)$$

Güneş ışınlamı hesapları günlük yapılacağı gibi istenilen zaman aralığında da yapılmaktadır. İstenilen zaman aralığında atmosfer öncesi güneş ışınlam miktarını hesaplamak için Eşitlik 4.22 kullanılabilir. Denklemden kullanılan başlangıç ve bitiş zamanları için hesaplanan saat açısından büyük olanı ω_2 , küçük olanı ise ω_1 olarak seçilmesi gerekmektedir [36].

$$I_0 = \frac{12 * 3600 * G_{sc}}{\pi} \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \left[\cos \varphi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{2\pi(\omega_2 - \omega_1)}{360} \sin \delta \sin \varphi \right] \quad (4.22)$$

4.2.14. Atmosfer sonrası yeryüzüne gelen güneş ışınlamı

Atmosfer öncesi güneş ışınlamı %10 ile % 80 arasındaki oranı yeryüzüne ulaşır [32]. Atmosfere giren güneş ışınlamın bir miktarı doğrudan yeryüzüne açılı olarak ulaşır. Yeryüzüne belirli bir açı ile gelen ve dağılmadan yeryüzüne ulaşan güneş ışınlamına direkt güneş ışınlamı denir. Direkt güneş ışınlamı eşitliklerde “b” alt indisi ile yazılmaktadır. Atmosfere giriş yapan güneş ışınlamın bir kısmı atmosferde bulunan taneciklerine çarparak yön değiştirerek rastgele saçılmaya başlamıştır. Yayılımlı güneş ışınlamı eşitliklerde “d” alt indisi ile yazılmaktadır. Yeryüzüne çarpan uzun dalga boyuna sahip güneş ışınlamı çarptığı cisimlerden yansıyarak rastgele olarak yayılmaya başlar. Bu ışınlama yansıyan güneş ışınlamı olarak ifade edilir. Literatürde yansıyan güneş ışınlamı eşitliklerde “r” indisi ile ifade edilmektedir. Yeryüzüne düşen direkt, yayılımlı ve yansıyan güneş ışınlamı toplamı global güneş ışınlamı olarak ifade edilmektedir.



Şekil 4.16. Güneşten gelen ışınların dağılımı [41]

4.2.15. Yatay düzleme düşen güneş ışıınımı

Yatay düzleme gelen güneş ışıınımı atmosferdeki karbondioksit miktarı, su buharı ve ozon tabakası gibi pek çok değişkene bağlı olduğu için hatasız olarak hesaplamak mümkün değildir. Bir bölgenin günlük güneş ışıınım denkleminin çıkarılabilmesi için yüzlerce farklı noktadan alınan ölçümlerin toplanarak analiz edilmesi gerekmektedir. bu ölçümler yardımıyla oluşturulacak ampirik katsayılar denklemlerde kullanılarak istenilen bir yerdeki güneş ışıınım miktarının tespitine imkan sağlayabilmektedir [36].

Angström tarafından geliştirilen lineer denklemde bulutsuz bir havada aylık yaklaşık ışıınım miktarının hesaplanmasında Angström regresyon eşitliği Eşitlik 4.23'te verilmiştir [42].

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_c} = a' + b' \frac{\bar{n}}{\bar{N}} \quad (4.23)$$

Bu denklemde bulunan a ve b değerleri coğrafi ampirik sabitlerdir. H_c değerinin hesaplanması güç olduğu için Page tarafından geliştirilen Eşitlik 4.23'de bu değer atmosfer dışı yatay yüzeye gelen güneş ışıınım değeri ile değiştirilenmiştir. Bu eşitleme sonucunda Eşitlik 4.24 oluşturulmuştur [43].

$$\frac{H}{H_0} = a + b * \frac{n}{N} \quad (4.24)$$

Yukarıdaki eşitlikte bulunan a ve b ampirik değerlerinin ülkemize uyarlanması için Tırıs tarafından Gebze ilinde TÜBİTAK-MRC istasyonunda 1984-1992 yılları arasında yapılan ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda a=0,18 b=0,62 değerleri elde edilmiştir [44].

Kılıç ve Öztürk yapılan çalışmada ampirik a ve b değerlerinin enlem açısı, deklinasyon açısı ve deniz seviyesinden yüksekliği kullanılarak tespit edilmesini sağlayan Eşitlik 4.22 ve Eşitlik 4.23 aşağıda gösterilmiştir [32].

$$a = 0,103 + 0,000017Z + 0,198 \cos(\Phi - \delta) \quad (4.25)$$

$$b = 0,533 - 0,165 \cos(\Phi - \delta) \quad (4.26)$$

Eşitlik 4.24'ün sol kısmında bulunan yatay düzleme düşen günlük ışıınım miktarının atmosfer dışında yatay düzleme düşen günlük ışıınım miktarına oranı aynı zamanda literatürde berraklık indeksi olarak ifade edilmektedir [45].

$$K_T = \frac{H}{H_0} \quad (4.27)$$

Yapılan araştırmalarda göre günlük yayılı güneş ışıınının toplam güneş ışıınımına oranı berraklık indeksi cinsinden hesap edilebileceği görülmüştür [46]. Bu konuda geliştirilen bazı eşitliklerden bazıları şunlardır

1- Collares-Pereira ve Rabl tarafından geliştirilen eşitlik [46]:

$$\frac{H_d}{H} = 1,390 - 4,027K_T - 5,531K_T^2 - 3,108K_T^3 \quad (4.28)$$

2- Page tarafından geliştirilen eşitlik [43]:

$$\frac{H_d}{H} = 1 - 1,13K_T \quad (4.29)$$

3- Iqbal tarafından geliştirilen eşitlik [35]:

$$\frac{H_d}{H} = 0,914 - 0,982K_T \quad (4.30)$$

4- Tuller tarafından geliştirilen eşitlik [47]:

$$\frac{H_d}{H} = 0,84 - 0,62K_T \quad (4.31)$$

5- Vignola ve McDanials tarafından geliştirilen eşitlik [32]:

$$\frac{H_d}{H} = 1,155 - 1,388K_T \quad (4.32)$$

6- Tırs tarafından geliştirilen eşitlik denklem [44]:

$$\frac{H_d}{H} = 0,703 - 0,414K_T - 0,428k_T^2 \quad (4.33)$$

Açık havadaki yatay yüzeye gelen ışıınım değeri ile bulutlu havadaki ışıınım değeri birbirinde farklı olmaktadır. Ayrıca günün her saatinde bulutluluk miktarı aynı olmayabilmektedir. Bu nedenle yapılacak hesaplamalarda yatay düzleme düşen Güneş ışıınımı miktarı kesin olarak hesaplanamaz. Fakat yıllar boyunca yapılan istatistiksel çalışmaları sonucunda yatay yüzeye düşen yaklaşık saatlik güneş ışıınım değeri, yatay yüzeye gelen günlük güneş ışıınım değeri ile güneş batış açısının fonksiyonu olarak Eşitlik 4.36' da tanımlanmıştır. Eşitliklerde kullanılan saat açısı, istenilen zaman aralığının tam ortası alınarak hesaplanabilir [36].

$$a = 0,409 + 0,5016 \sin(\omega_s - 60) \quad (4.34)$$

$$b = 0,6609 - 0,4767 \sin(\omega_s - 60) \quad (4.35)$$

$$r_t = \frac{I}{H} = \frac{\pi}{24} * (a + b \cos \omega) * \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - (2\pi\omega_s / 360) \cos \omega_s} \quad (4.36)$$

Ayrıca aşağıdaki Eşitlik 4.38 kullanılabilir.

$$\psi = \exp \left[-4 \left(1 - \frac{|\omega|}{\omega_s} \right)^2 \right] \quad (4.37)$$

$$r_t = \frac{I}{H} = \frac{\pi}{4N} * \left[\cos \left(\frac{180}{2} \frac{\omega}{\omega_s} \right) + \frac{2}{\sqrt{\pi}} (1 - \psi) \right] \quad (4.38)$$

Günlük ışıyım miktarı bilindiği durumda ise saatlik ışıyım Eşitlik 4.39 ile bulunabilir.

$$I = H * r_t \quad (4.39)$$

Yatay yüzeye düşen saatlik ışıyım değeri hesaplandığında berraklık indeksinden yararlanılarak saatlik yayımlı ışıyım değeri hesaplanabilmektedir. Eşitlik 4.41' de verilen Tırs tarafından geliştirilen berraklık indeksi ülkemiz için kullanılabilir [32].

$$k_T = \frac{I}{I_0} \quad (4.40)$$

$$\frac{I_d}{I} = 0.788 - 0.802 * k_T \quad (4.41)$$

4.2.16. Geometrik yön faktörü

Yatay yüzeye düşen direkt ışıyım miktarının eğik yüzeye düşen direkt ışıyım miktarına oranı geometrik faktör olarak tanımlanmıştır. Eğimli yüzeylere gelen direkt güneş ışıyımını hesaplanırken Eşitlik 4.42 kullanılmaktadır.

$$R_b = \frac{I_{bT}}{I_b} = \frac{I_{bn} * \cos \theta}{I_{bn} * \cos \theta_z} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (4.42)$$

Güney yönüne dönük kuzey yarım kürede bulunan yüzey için geometrik yön faktör eşitliği Eşitlik 4.43 da verilmiştir.

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta} \quad (4.43)$$

4.2.17. Eğik yüzeye gelen ışıınım miktarı

Geometrik faktör bilindiğinde eğimli yüzeye düşen ışıınım miktarı Eşitlik 4.44 kullanılarak hesaplanabilir.

$$I_{bT} = R_b * I_b \quad (4.44)$$

Saatlik eğik yüzeye düşen yayılımlı güneş ışıınımı miktarını bulmak için Eşitlik 4.45 kullanılmalıdır.

$$I_{dT} = I_d * \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \quad (4.45)$$

Saatlik eğik yüzeye gelen yansıyan ışıınım miktarını bulmak için Eşitlik 4.46 kullanılmalıdır.

$$I_{ref} = I_\rho * \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (4.46)$$

Eğik yüzeye gelen saatlik toplam ışıınım miktarını bulmak için Eşitlik 4.48 kullanılmalıdır.

$$I_T = I_{bT} + I_{dT} + I_{ref} \quad (4.47)$$

$$I_T = I_b * R_b + I_d * \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) + I_{ref} * \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \quad (4.48)$$

4.3. Kabinin Üzerinde Birleşik Isı Transferi

Isı enerjisi bir noktadan diğer noktaya iletim, taşınım ve ışıınım yolu ile geçmektedir. Isının iletimle geçtiği durumda Forrier ısı iletim eşitliği,

$$Q_{\text{iletim}} = -k * A * \frac{dT}{dx} \quad (4.49)$$

Isının taşınım ile geçmesi durumunda Newton soğuma kanunu,

$$Q_{\text{taşınım}} = h * A * \Delta T \quad (4.50)$$

Isı enerjisinin ışıınım ile geçmesi durumunda ise ışıınım ısı transfer eşitliği kullanılır.

$$Q_{\text{ışıınım}} = \varepsilon * \sigma * A * (T_2^4 - T_1^4) \quad (4.51)$$

Telekomünikasyon baz istasyonunun kabin yüzeyi gibi birden fazla ısı transferinin meydana geldiği ve güneş ışıınımı yükü altında bulunan yüzeyler için için Eşitlik 4.56 yazılabilir [48].

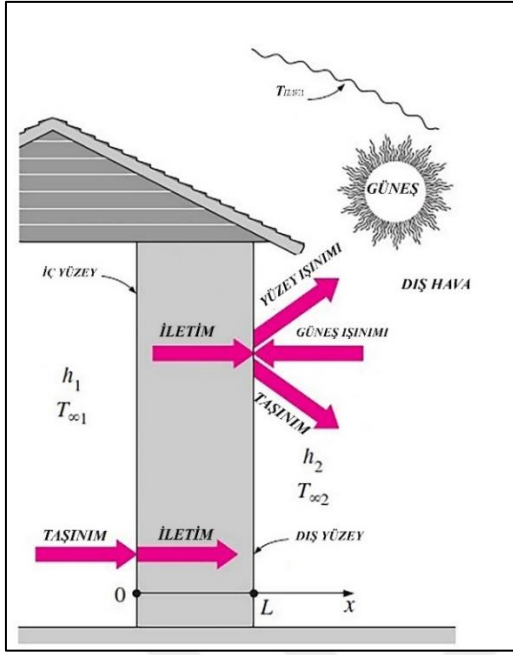
$$Q_{\text{iletim}} = Q_{\text{taşınım}} + Q_{\text{ışıınım}} - Q_{\text{güneş}} \quad (4.52)$$

$$k * A * \frac{dT}{dx} = (\dot{q}_g * A * \varepsilon) - (h * A * (T_y - T_h)) - (\varepsilon * \sigma * A * (T_y^4 - T_h^4)) \quad (4.53)$$

$$k * A * \frac{dT}{dx} = (\dot{q}_g * A * \varepsilon) - h * A * (T_y - T_h) - \varepsilon * \sigma * A * (T_y^4 - T_h^4) \quad (4.54)$$

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_y - T_i}{L} \quad (4.55)$$

$$\frac{dT}{dx} = \frac{\dot{q}_g * \varepsilon * A - h * A * (T_y - T_h) - \varepsilon * \sigma * (T_y^4 - T_h^4)}{k * A} \quad (4.56)$$



Şekil 4.17. Birleşik ısı transferi [48]

Yukarıdaki denklemlerde iç yüzey sıcaklığı 25° C olarak alındığında kabinin dış yüze sıcaklığını veren bağıntı aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$\frac{dT}{dx} = \frac{\dot{q}_g * \varepsilon * A - h * A * (T_y - T_h) - A * \varepsilon * \sigma * (T_y^4 - T_h^4)}{k * A} \quad (4.57)$$

Eşitlik 4.58 de bulunan k değerinin her bir yüzey için hesaplanasında Eşitlik 4.57 kullanılarak kabinin her bir yüzeyi için k değeri hesaplanabilir.

$$\frac{1}{k} = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{k_i} \quad (4.58)$$

Isı taşınım katsayısının (h) hesaplanabilmesi için öncelikle akış türünün belirlenmesi gerekmektedir. Akış türünün tespiti için Reynolds boyutsuz sayısının bilinmesi gerekmektedir. Reynolds sayısının hesaplanmasında için Eşitlik 4.59 kullanılmalıdır.

$$Re_L = \frac{u_{\infty} * L}{\nu} \quad (4.59)$$

Reynolds sayısı ve Prandtl sayısı bilinen akışkanın akış türüne göre Eşitlik 4.60 veya 4.61 kullanılarak Nusselt sayısı bulunabilmektedir [48].

$$N_u = 0.664 Re_L^{1/2} p_r^{1/3} \dots\dots\dots Re_x < 5 * 10^5 \quad (4.60)$$

$$N_u = 0.037 Re_L^{0.8} p_r^{1/3} \dots\dots\dots 5 * 10^5 \leq Re_x < 10^7 \quad (4.61)$$

Nusselt sayısı bulunduktan sonra Eşitlik 4.62 yerine yazıldığında ısı taşınım katsayısı (h) elde edilecektir.

$$N_u = \frac{h * k}{L} \quad (4.62)$$

Güneşten gelen ısı yük hesaplamasında yüzey yansıtıcılığı büyük önem arz etmektedir. Çizelge 4.5’ de çeşitli renkteki boylar için yüzey yansıtıcılık değerleri verilmiştir.

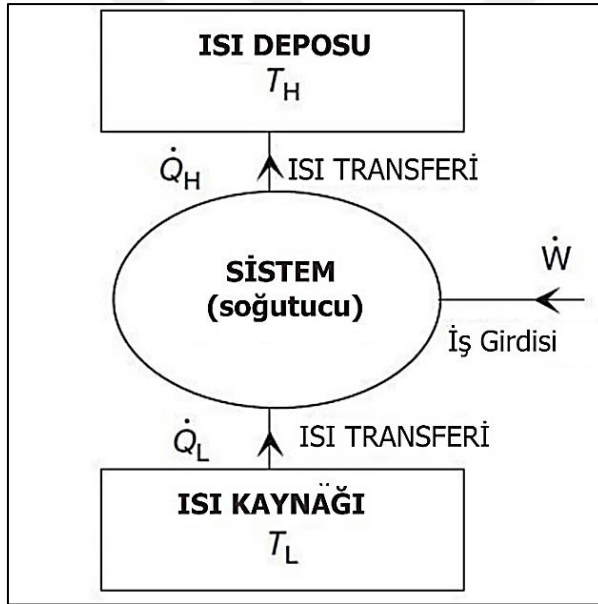
Çizelge 4.5. Kabin dış cephe boyasının ışınlım soğurma ve yansıtma oranı [49]

	Renk Kodu	UV Aralığı (300-395)	Görünen Aralık (400-720)	NIR Range (400-720)	Toplam Güneş Yansıtıcılığı	Thermal Emittance	SRI hc=12 (W/m ² K)
1	RAL9001	13%	75%	75%	73%	0,82	89
2	RAL9002	10%	65%	61%	61%	0,84	72
3	RAL9010	10%	84%	80%	80%	0,84	95
4	RAL9016	10%	84%	80%	79,6%	0,84	96
5	RAL1001	9%	23%	46%	39%	0,86	38
6	RAL1013	10%	69%	69%	67%	0,84	80
7	RAL1014	11%	55%	61%	57%	0,82	65
8	RAL7035	10%	53%	48%	49%	0,85	55
9	RAL9006	36%	46%	49%	47%	0,67	46
10	RAL9007	24%	29%	36%	33%	0,72	28
11	RAL6005	6%	8%	13%	11%	0,86	5
12	RAL6013	8%	19%	24%	22%	0,84	18
13	RAL6021	10%	32%	54%	44%	0,82	47
14	RAL5012	13%	30%	41%	36%	0,85	37
15	RAL5015	8%	19%	41%	31%	0,87	32



5. SOĞURMALI SOĞUTMA SİSTEMLERİ

Soğutma, bir hacim sıcaklığını o hacmi çevreleyen ortam sıcaklığının altında tutulması için hacmin içerdiği ısı enerjisinin dış ortama verilmesi işlemine denir [50]. Soğutma, termodinamik olarak tanımlandığında ise düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısının aktarılması olarak ifade edilebilir. Clausius ifadesine göre termodinamik bir çevrim gerçekleştirerek çalışan ve düşük sıcaklıktaki bir cisimden aldığı ısıyı yüksek sıcaklıktaki bir cisme aktarmak dışında hiçbir enerji etkileşiminde bulunmayan bir makinenin mümkün olmayacağı ifade edilmektedir. Bu açıklamaya göre sürekli olarak yapılan soğutma işlemi için dışarıdan bir enerji alınması gerekmektedir [1].



Şekil 5.1. Soğutma işleminin genel prensibi [51]

5.1. Soğurmalı Soğutma Sisteminin Tarihçesi

Soğutma işlemi öncelikle gıdaların bozulmadan muhafaza edilmesi için kullanılmıştır. Çinliler kışın elde ettikleri kar ve buz kütlelerini derin geniş çukurlar içerisine yerleştirmek suretiyle besinlerinin korumuşlardır. 2 yüzyılın başında antik Mısır medeniyetinde soğuk su dolu kaplar kullanılarak soğutma işlemi yapılmıştır[52].

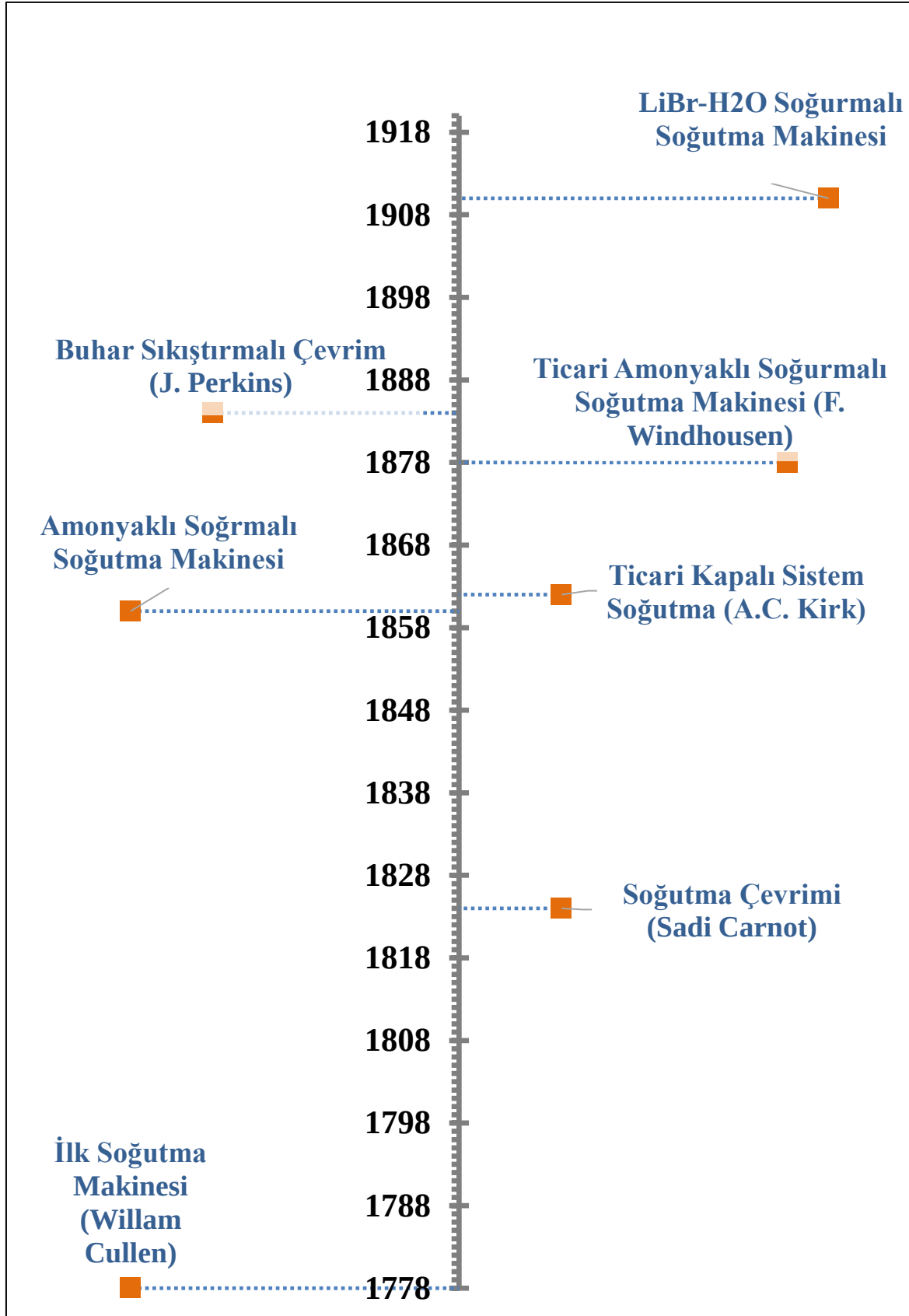
Soğutma işleminin bir sistem olarak tasarımı İskoç fizikçi 1748 de Dr. William CULLEN tarafından yapılmıştır. Dr. Cullen bir hacmin içerisinde bulunan havanın basıncını hava

pompası yardımıyla düşürmüş, düşük basınç altında meydana gelen buharlaşma olayında sudan çekilen enerji suyun bir kısmının donmasına neden olmuştur. Cullen tarafından tasarlanan bu düzenek gerçek anlamda buz yapmak için yeterli olmamış bir laboratuvar malzemesi olarak yerini almıştır [53].

1834 yılında Jacob Perkins isimli araştırmacı mekanik buhar sıkıştırırmalı çevrim makinesini tasarlamıştır. Bu makine kompresör, yoğuşturucu, buharlaştırıcı ve buharlaştırıcı ile Yoğuşturucu arasında bir musluktan oluşmaktadır. Perkins' in geliştirdiği soğutma makinesi küçük kapasiteli olup ticari anlamda herhangi bir kullanımı yapılamamıştır [28]

1860 yılında Fransız mühendis Ferdinand S. Edmond Carre, amonyağın suyu çekimi ile çalışan bir buz yapma makinesi icat etti. Bu makine az miktarda bir suyu 5 dakika sürede donduruyordur. Sistemin ticari olarak kullanılmasını sağlayan 1878 yılında F. Windhousen olmuştur [51].

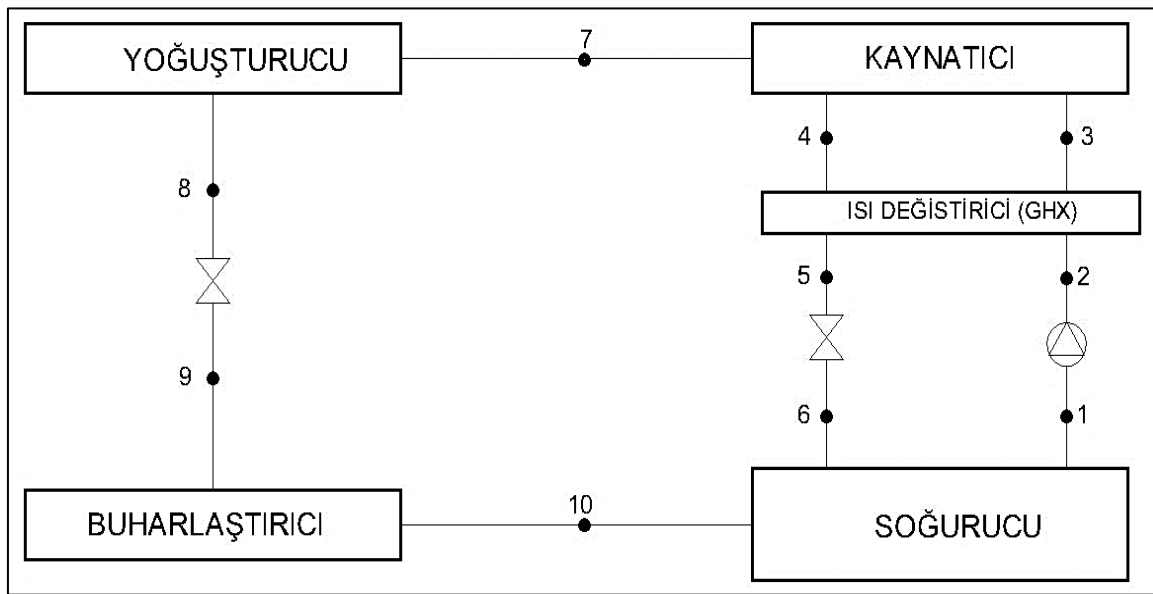
1911 yılında durma noktasına gelen Soğurmalı soğutma sistemleri gelişimi ikinci dünya savaşından sonra Soğurmalı soğutma sistemlerinin altın çağı başlamıştır. LiBr-H₂O Akışkanlı Soğurmalı soğutma sistemini ortaya çıkmasından sonra Soğurmalı sistemlere ilgi artmıştır. 1973 yılındaki petrol krizi ısı kaynağı olarak petrol kullanan Soğurmalı sistemlerin işletme maliyetlerini büyük ölçüde artırmış, yapılan çalışmalarda verimliliği artırılan mekanik buhar sıkıştırırmalı çevrimlerin yaygınlaşmasına neden olmuştur. Sera etkisi yapan gazların mekanik buhar sıkıştırırmalı çevrimlerde kullanılmasını öngören Kyoto Protokolünün imzalanası ve ısı kaynağı olarak alternatif enerji kaynaklarının kullanılması Soğurmalı sistemleri yeniden popüler hale gelmiştir [51]. Şekil 5.2'de soğurmalı soğutma sisteminin köşe taşları verilmiştir.



Şekil 5.2. Soğurmalı soğutma sistemi köşe taşları

5.2. Soğurmalı Soğutma Sisteminin Çalışma Prensibi

Soğurmalı soğutma sistemi çevrimi soğutucu akışkanın bir soğurulan akışkan ile soğurulması, soğurulma sonucunda oluşan karışımın bir enerji kaynağı kullanılarak soğuran-soğutucu akışkan olarak birbirinden ayrılması ve soğutucu akışkanın düşük basınç altında buharlaşması ilkesine göre çalışmaktadır. Soğurmalı soğutma sisteminin nasıl çalıştığını anlamak için Şekil 5.3'te gösterilen LiBr-H₂O Akışkanlı soğutma makinesi incelenmesi yeterli olacaktır.

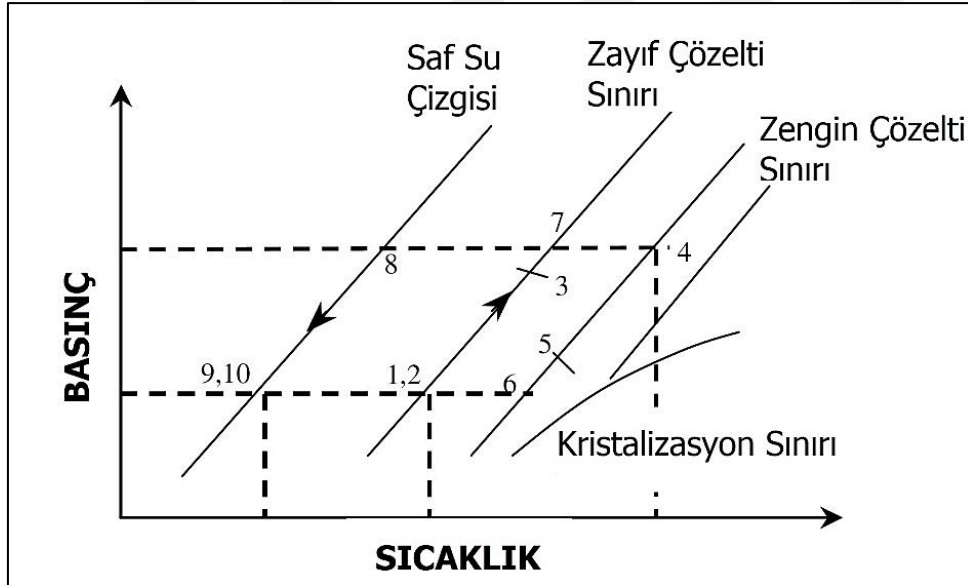


Şekil 5.3. LiBr-H₂O soğurmalı sistemin şeması

LiBr-H₂O karışımı bir pompa yardımı ile kaynatıcıya doğru basılmaktadır. Pompadan çıkan eriyik ısı değiştiriciye girer ve kaynatıcıdan dönen zengin karışımın ısısının bir kısmını alır ve kaynatıcıya girer. Kaynatıcı içerisinde bulunan sıcaklık ve düşük basınç ile su buharlaşır ve doymuş su buharı yoğuşturucuya doğru ilerler. Kaynatıcı içerisinde bulunan zengin karışımın bir kısmı soğutucu dönmek üzere ısı değiştiricisine girer. Yoğuşturucu sıcaklığı kaynatıcıdan daha az olduğundan su buharını buharlaşma enerjisini atarak doymuş sıvı suya dönüşür. Doymuş sıvı su genişleme vanasından geçerek ortam basıncı daha düşük olan buharlaştırıcıya girerek buharlaşır. Buharlaşma sırasında çevreden ısı enerjisi çeker ve buharlaştırıcı yüzey sıcaklığını düşürür. Buharlaştırıcıda bulunan su buharı soğurucuya girerek soğrulur.

Soğurmalı soğutma sisteminin mekanik buhar sıkıştırırmalı sistemden iki ana fark ile ayrılmaktadır Bunlardan birincisi soğurmalı soğutma sisteminin sadece ısı bir sistem olarak çalışması, mekanik buhar sıkıştırırmalı sistemde ise dışarıdan bir iş enerjisinin alınmasıdır. İkinci fark ise soğurmalı sistemde iki farklı akışkan bulunabilirken buhar sıkıştırırmalı sistemde ise tek akışkan bulunmaktadır [54].

Mekanik buhar sıkıştırırmalı çevrimde bulunan kompresör soğutucu buharını sıkıştırmakta, soğurmalı sistemde bulunan pompa ise karışım sıvıyı soğurucudan kaynatıcıya basmaktadır. Bilindiği üzere buhar sıkıştırma işleminin verimi sıvı sıkıştırma işlemine göre düşüktür. Bu nedenle sıkıştırma işlemi için daha fazla güç gerekmekte ve kompresör tarafından rahatsız edici gürültü meydana gelmektedir [55].



Şekil 5.4. Dühring diyagramı üzerinde soğurmalı soğutma çevriminin gösterimi [56]

Soğurmalı soğutma sistemleri mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemlerine göre aşağıdaki avantajları bulunmaktadır. Bu avantajlar [51]:

- Sessiz çalışma,
- Yüksek güvenilirlik,
- Uzun çalışma süresi,
- Düşük dereceli enerji kaynaklarının verimli ve ekonomik kullanımı, (ör. Güneş enerjisi, atık enerji, jeotermal enerji)

- Kolay kapasite kontrolü,
- Açma kapama işlemleri sırasında döngü kaybı olmaması
- Daha basit uygulama,
- Değişken yükün kolay ve verimli şekilde karşılanmasıdır.

Soğurmalı soğutma sistemi yukarıdaki avantajlarının bulunmasının yanı sıra bileşenlerinin daha büyük olması ve düşük etkinlik katsayısı gibi dezavantajları da vardır [1].

5.3. Soğurmalı Soğutma Sisteminin Sınıflandırılması

Soğurmalı soğutma sistemleri pek çok kritere göre sıralanabilir. Bunlar; sistemin ısı kaynağı, kaç bölümden ve kaç aşamadan oluştuğu, yoğunlaşma metodu, sistemde kullanılan soğutucu-soğurucu akışkan çiftleri, uygulama alanları ve kapasiteleridir. Bu sınıflandırma maddeleri aşağıda verilmiştir [54].

Isı kaynağı olarak sınıflandırılma:

- Güneş enerjisi
- Fosil yakıtlardan elden edilen enerji
- Biyogazdan elde edilen enerji
- Elektrik enerjisi
- Diğer ısıl sistemin atık enerjisi

Bölüm /aşama sayısı göre sınıflandırma:

- Tek kademeli sistem tek aşamalı sistemler
- Tek kademeli çok aşamalı sistemler
- Çift kademeli tek aşamalı sistemler
- Çift kademeli çift aşamalı sistemler
- Üç kademeli tek aşamalı sistemler

- Üç kademeli çok aşamalı sistemler

Akışkan tipine göre sınıflandırma:

- Amonyak – Su ($\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$)
- Lityum Bromür – Su
- Amonyak-Lityum Nitrat
- Su- Lityum Klorid

Uygulama Alanlarına göre sınıflandırma:

- İklimlendirme işlemleri
- Gıda ve İlaç sanayi
- Dondurma işlemleri
- Buz elde etme sistemleri

Çalışma süresine göre sınıflandırma:

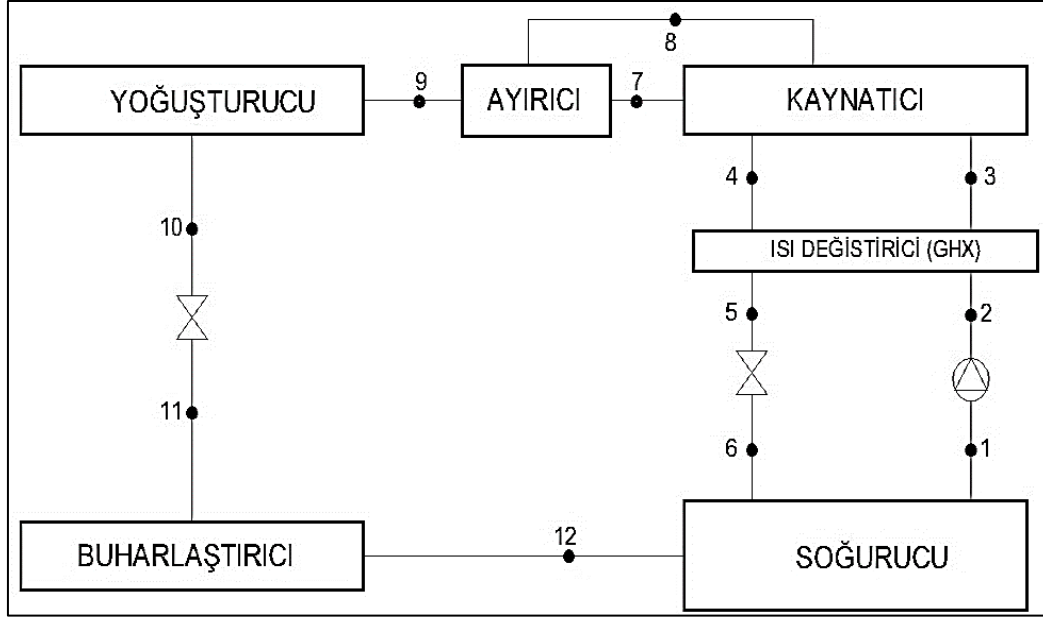
- Sürekli çalışan sistemler
- Kesintili çalışan sistemler

Soğutma kapasitesine göre sınıflandırma:

- Mikro kapasiteli (30 kW ve aşağısı)
- Küçük kapasiteli (30 kW – 50 kW)
- Orta Kapasiteli (50 kW-300kW)
- Büyük kapasiteli (300 kW ve yukarısı)

5.4. Soğurmalı Soğutma Sistemlerinin Bileşenleri ve Termodinamik Analizi

Soğurmalı soğutma sistemlerinin temel bileşenleri Soğurucu, Kaynatıcı, Yoğusturucu, Buharlaştırıcı, pompa, kısılma vanasından oluşmaktadır. c bu bileşenlere ek olarak kaynatıcı sonrasında ayırıcı bulunmaktadır. Şekil 5.5’ te $\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$ akışkan çiftini kullanan soğurmalı sistem şeması gösterilmiştir.

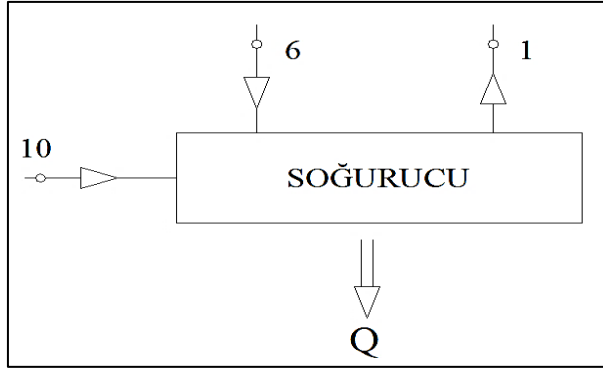


Şekil 5.5. $\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$ akışkan çiftini kullanan soğurmalı sistem şeması

Soğurmalı soğutma sisteminin her bir elemanı sürekli akışlı sürekli açık sistem olduğu için süreklilik denklemi kullanılarak sistem bileşenlerinin ısı güçleri hesap edilebilir [57].

5.4.1. Soğurucu (Absorber)

Soğurmalı soğutma sisteminde soğurucu, soğutucu akışkan buharının soğurucu madde tarafından soğurularak ekzotermik reaksiyona girdiği bölümdür. [58].



Şekil 5.6. Soğurucunun şematik gösterimi

Soğurucu için süreklilik denklemi yazıldığında;

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_6 + \dot{m}_{10} \quad (5.1)$$

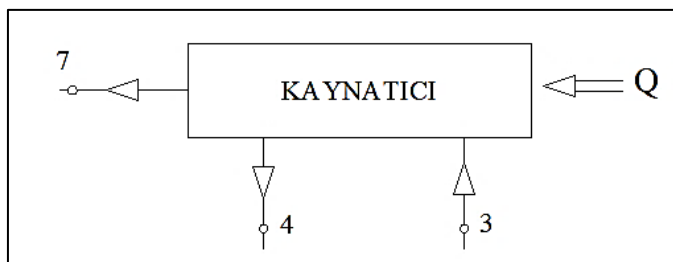
$$\dot{m}_1 x_1 = \dot{m}_6 x_6 + \dot{m}_{10} x_{10} \quad (5.2)$$

Soğurucu kapasite eşitliği ise aşağıda verilmiştir.

$$\dot{Q}_{soğurucu} = \dot{m}_6 h_6 + \dot{m}_{10} h_{10} - \dot{m}_1 h_1 \quad (5.3)$$

5.4.2. Kaynatıcı (Generator)

Kaynatıcı, soğurmalı soğutma sistemlerinde soğutucu akışkanın soğurucu akışkandan ısı enerjisiyle ayrıldığı birimdir. $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ karışımı ile çalışan soğurmalı soğutma sistemde NH_3 buharlaşmakta, $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ ile çalışan soğurmalı sistemlerde ise H_2O buhar fazına geçerek karışımdan ayrılarak yoğuşturucuya doğru ilerlemektedir. Tasarım aşamasında kaynatıcıya gelen sıcak akışkana göre kaynatıcı basıncı belirlenmelidir.



Şekil 5.7. Kaynatıcı şematik gösterimi

Kaynatıcı için süreklilik denklemi aşağıda verilmiştir.

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 + \dot{m}_7 \quad (5.4)$$

$$X_3 \dot{m}_3 = X_4 \dot{m}_4 \quad (5.5)$$

Kaynatıcı kapasite eşitliği ise aşağıda verilmiştir.

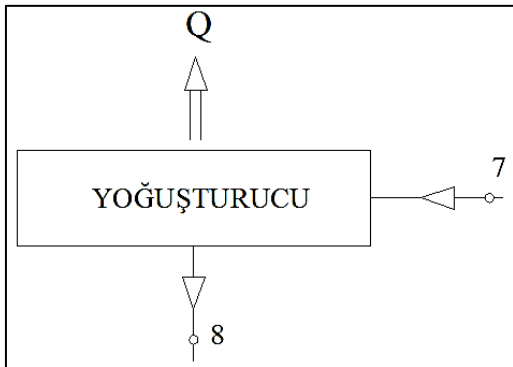
$$\dot{Q}_{\text{kaynatıcı}} = \dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_7 h_7 - \dot{m}_3 h_3 \quad (5.6)$$

5.4.3. Yoğuşturucu (Kondenser)

Kaynatıcı tarafından karşımdan doymuş buhar fazında ayrılan soğutucu akışkan burada yoğuşarak doymuş sıvı haline dönüşür. Yoğuşturucuda meydana gelen bu hal değişiminde açığa çıkan ısı enerjisi bir akışkan vasıtasıyla atılması gerekmektedir. Küçük kapasiteli sistemlerde bu işlem için soğutma kuleleri kullanılırken mikro kapasiteli sistemde bu işlem hava ile yapılabilmektedir.

Yoğuşturucu için süreklilik denklemi aşağıda verilmiştir.

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_8 \quad (5.7)$$



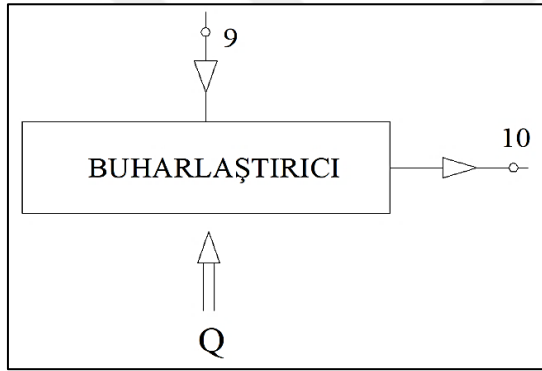
Şekil 5.8. Yoğuşturucunun şematik gösterimi

Yoğuşturucu gücünü veren eşitlik ise aşağıda verilmiştir.

$$\dot{Q}_{yog} = \dot{m}_7 h_7 - \dot{m}_8 h_8 \quad (5.8)$$

5.4.4. Buharlaştırıcı (Evaporator)

Yoğuşturucudan gelen doymuş sıvı kısılma vanasından geçer ve düşük basınç bölgesinde ulaşır. Doymuş sıvı düşük basınç altında buharlaştırıcı yüzeyinden buharlaşma gizli ısını çekerek buhar fazına geçer. Buharlaştırıcı yüzeyinden ısı çekilmesi sebebiyle buharlaştırıcıyı çevreleyen akışkanda soğuma meydana gelir.



Şekil 5.9. Buharlaştırıcının şematik gösterimi

Buharlaştırıcı için süreklilik denklemi aşağıda verilmiştir.

$$\dot{m}_9 = \dot{m}_{10} \quad (5.9)$$

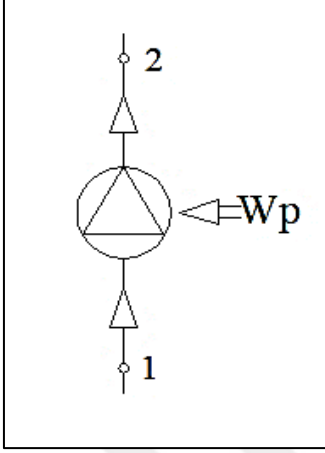
Buharlaştırıcının gücünü veren eşitlik ise aşağıda verilmiştir.

$$\dot{Q}_{buharlaştıcı} = \dot{m}_{10} h_{10} - \dot{m}_9 h_9 \quad (5.10)$$

5.4.5. Pompa

Pompa, Soğurmalı soğurma sisteminde bulunan düşük basınç bölgesi ile yüksek basınç bölgesi arasındaki basıncı dengelemek için kullanılmaktadır. Bu basınç dengelemesinin yanı

sıra sistemde meydana gelen borulamadan ve yükseklik farkından kaynaklanan enerji farkını dengelemektedir.



Şekil 5.10. Pompanın şematik gösterimi

Pompa için için süreklilik denklemi aşağıda verilmiştir.

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad (5.11)$$

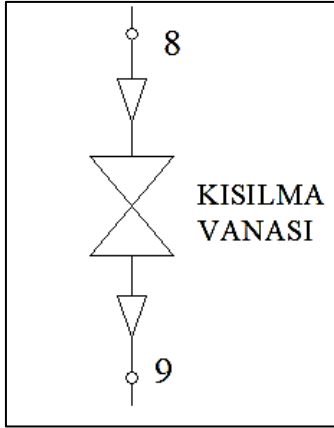
$$x_1 = x_2 \quad (5.12)$$

Sirkülasyon pompasının gücünü veren eşitlik ise aşağıda verilmiştir.

$$w_p = \dot{m}_1 * v_1 * (p_2 - p_1) \quad (5.13)$$

5.4.6. Kısılma vanası

Soğurmalı soğutma sistemlerinde kısılma vanası iki basınç bölgesini ayırma görevi görmektedir. Tek kademeli Soğurmalı soğutma sisteminde iki adet kısılma vanası mevcuttur. Bunlardan birincisi kaynatıcı öncesinde bulunan ısı değiştirici ile soğurucu arasında, diğeri ise yoğuşturucu ile buharlaştırıcı arasında bulunmaktadır.



Şekil 5.11. Kısılma vanasının şematik gösterimi

Yoğuşturucu ile buharlaştırıcı arasında bulunan kısılma vanası için süreklilik denklemi yazıldığında

$$\dot{m}_8 = \dot{m}_9 \quad (5.14)$$

$$x_8 = x_9 \quad (5.15)$$

Kısılma vanasının çevre ile ısı transferi olmadığı kabul edildiğinde Eşitlik 5.16 elde edilir.

$$h_8 = h_9 \quad (5.16)$$

Isı değiştirici ile soğurucu arasında bulunan kısılma vanası için süreklilik denklemi yazıldığında;

$$\dot{m}_6 = \dot{m}_5 \quad (5.17)$$

$$x_6 = x_5 \quad (5.18)$$

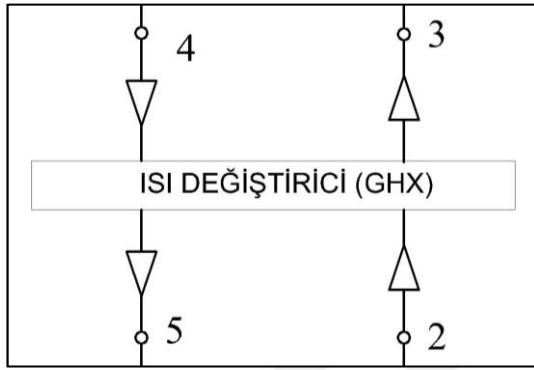
Kısılma vanasının çevre ile ısı transferi olmadığı kabul edildiğinde Eşitlik 5.19 elde edilir.

$$h_6 = h_5 \quad (5.19)$$

5.4.7. Isı değıştirci

Kaynatıcı ısı değıştircisi kaynatıcıdan sıcak gelen zengin karışımının enerjisini kaynatıcıya giren karışıma iletilmesi üzere tasarlanmıştır. Kaynatıcı ısı değıştircisinin (karışım ısı değıştircisi) çevre ile olan ısı alışverişı ihmal edildiğinde Eşitlik 5.20 yazılabilir.

$$\dot{m}_2 h + \dot{m}_4 h = \dot{m}_3 h + \dot{m}_5 h \quad (5.20)$$



Şekil 5.12. Sistemde kullanılan ısı değıştircinin şematik gösterimi

5.5. Soğutma Sisteminin Performans Katsayısı

Performans Katsayısı bir soğutma makinesine verilen enerjinin soğutma makinesinden alınan enerjiye oranı olarak tanımlanır. Bu tanım Soğurmalı soğutma sistemlerine uygulandığında buharlaştırıcı gücünün kaynatıcı gücü ve pompa gücünün toplamına oranı olarak ifade edilmektedir. Soğurmalı sistemlerde pompa gücü ihmal edilebilecek kadar küçüktür. LiBr-H₂O kullanan Soğurmalı soğutma sisteminde performans katsayısı Eşitlik 5.22’ de verilmiştir.

$$COP_{sm} = \frac{\dot{Q}_{buharlaştırıcı}}{\dot{Q}_{kaynatıcı}} \quad (5.21)$$

$$COP_{sm} = \frac{\dot{Q}_{buharlaştırıcı}}{\dot{Q}_{kaynatıcı}} = \frac{\dot{m}_6 h_6 + \dot{m}_{10} h_{10} - \dot{m}_1 h_1}{\dot{m}_2 h_2} \quad (5.22)$$

Sistemin erişebileceği en büyük performans katsayısı Eşitlik 5.23' te verilmiştir.

$$COP_{Carnot,sog} = \left(\frac{T_{yogusturucu} - T_{soğurucu}}{T_{kaynatıcı}} \right) \left(\frac{T_{buharlastırıcı}}{T_{yogusturucu} - T_{buharlatırıcı}} \right) \quad (5.23)$$

Termodinamiğin ikinci yasasına göre verim formülü Eşitlik 5.24' te verilmiştir.

$$\eta_{II} = \frac{COP_{sm}}{COP_{carnot}} \quad (5.24)$$

5.6. Soğurmalı Soğutma Sistemin Kullanılan Akışkanların Özellikleri

Soğurmalı soğutma sistemi mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemine göre birden fazla akışkanın aynı anda çalışması yönünden ayrılmaktadır. Soğurmalı soğutma sisteminde soğutucu akışkan ve soğurucu akışkan bulunmaktadır. Soğurucu akışkanın özelliği soğutucu akışkanı ile ekzotermik reaksiyona girmesidir.

Soğurmalı soğutma sistemleri tasarımında kullanılacak akışkanların bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu özellikler aşağıda sıralanmıştır [59].

- 1- Katı Fazda Bulunmaması: Soğurmalı soğutma sistemlerinde soğutucu akışkan ile soğurucu akışkan sıvı fazda olması gerekir. Bu akışkanların herhangi birinin veya karışımın katılaşıma durumunda ise katılaştığı yerde bulunan birimi veya borulamayı tıkayarak sistemin durmasına neden olacaktır.
- 2- Uçuculuk: Soğurmalı soğutma sistemlerinde soğutucu akışkan ile soğurucu akışkan kaynatıcı biriminde ayrılmaktadır. Bu ayrılma işlemi endotermik bir reaksiyon ile yapılır. Soğutucu akışkanın karışımdan daha az ısı talebi ile ayrılması sistem verimini artıracaktır.
- 3- Çekicilik: Soğurmalı soğutma sistemlerinin çalışmasında soğurucu biriminde soğutucu akışkan ile soğurucu akışkanın kolaylıkla bileşik oluşturması istenir. Bu durumda soğutucu akışkan ile soğurucu akışkan arasından çekiciliğin yüksek olması sistemin verimini artıracaktır.
- 4- Basınç: Soğurmalı sistemlerde iki ayrı basınç bölgesi bulunmaktadır. Bu basınç miktarları soğutucu akışkanın faz değişimlerine ve sıcaklığına göre belirlenmektedir. Soğutucu

akışkanın istenilen sıcaklık altında daha düşük basınç aralığında faz değiştirmesi istenmektedir. Bu sayede pompa için gereken enerji miktarı daha az olacaktır.

- 5- Kararlılık: Soğurmalı soğutma sistemlerinde soğutucu akışkan, soğurucu akışkan ve karışımın kararlı olması istenir. Yüksek kimyasal kararlılıktaki soğutucu akışkan gaz fazında sistem bileşenlerindeki korozyonu önleyecektir [56].
- 6- Korozyon: Soğurmalı soğutma sistemlerinde soğutucu akışkan, soğurucu akışkan ve karışımın neden olacağı korozyona karşı kullanılacak kimyasalların sistemdeki akışkanların termodinamik performanslarını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle sistemde kullanılacak akışkanların korozyona sebep olmaması istenir.
- 7- Güvenlik: Soğurmalı sistemlerde kullanılacak akışkanların güvenli olması (insan sağlığını tehlikeye atmaması ve yanıcı olmaması) istenir.
- 8- Gizli Isı : Sistemde kullanılan soğutucu akışkanın faz değişiminde gereken gizli ısı miktarının yüksek olması istenir. Gizli ısı miktarı arttıkça sistemde faz değişimi haricinde oluşacak ısı transfer miktarı minimum seviyede olacaktır.

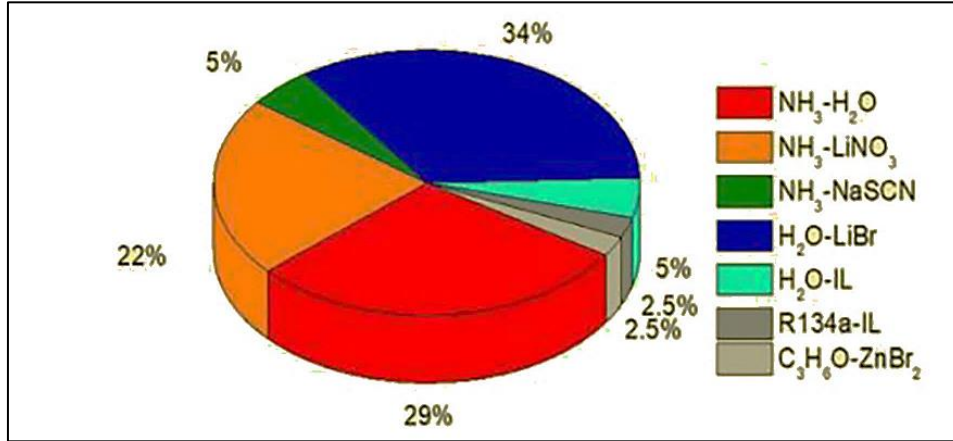
5.7. Soğurmalı Soğutma Sistemlerde Kullanılan Akışkan Çiftleri

Günümüzde soğurmalı soğutma sistemlerinde pek çok akışkan çifti bulunmaktadır. Bu akışkan çiftlerinden bazıları Çizelge 5.1’ de verilmiştir [51].

Çizelge 5.1. Soğurmalı sistemlerde kullanılan akışkan çiftleri

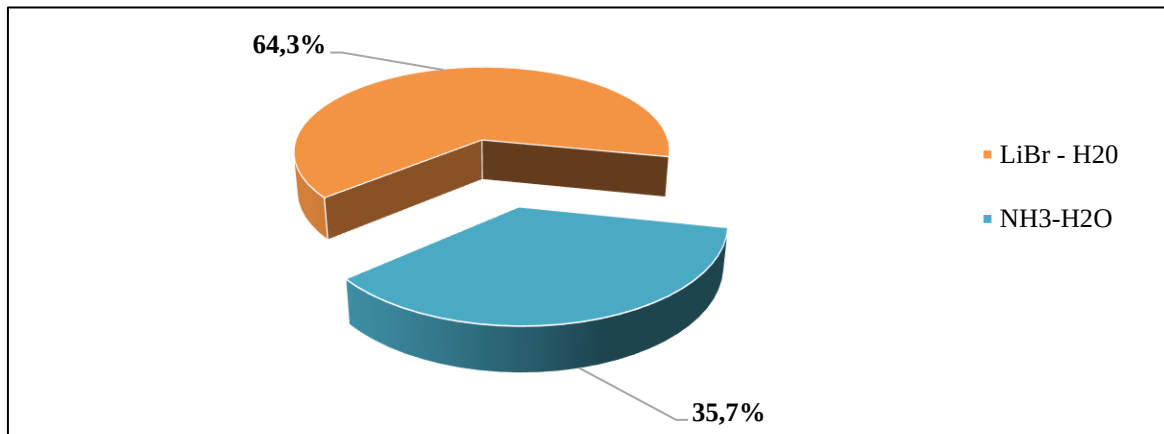
Soğutucu Akışkan	Su	Amonyak	Trifloroetanol	Kükürtdioksit	Florokarbonlar
Soğurucu akışkan(lar)	• Tuzlar • Alkali halüjanürler • LityumBromür • Lityum Bromür tabanlı çok bileşenli tuzlar • Kalsiyumklorür • Çinkoklorür • Çinkobromür • Alkali Nitratlar • Alkalihidroksitler • H₂SO₄ • H₃PO₄	• H₂O • LiNO₃ • LiNO₃+H₂O • Alkali Tiyosiyanatlar	• N-metil-1-2-pirronidon • Tetraelilen-gliko-dimetileter • Pirrolidon	• Organik Çözücüler	• Dimetil eter • tetra etilen glikol • Dimetil etilen üre

Son 35 yıl içerisinde geliştirilen tek kademeli soğurmalı soğutma sistemleri prototiplerinde kullanılan karışımların oranları Şekil 5.13' te verilmiştir.



Şekil 5.13. Tek kademeli soğurmalı soğutma sistemi prototiplerindeki karışımlar [60]

Şekil 5.13' ten görüleceği üzere LiBr-H₂O ve NH₃ – H₂O akışkan çiftine sahip soğurmalı soğutma sistemleri üzerinde yapılan araştırmaların daha çok olduğu görülmektedir. Bunun bir yansıması olarak piyasaya sunulan ticari amaçlı soğurmalı soğutma sistemleri içerisinde en büyük payı LiBr-H₂O akışkan çiftli sistemleri almaktadır. Şekil 5.14' te piyasada bulunan ticari amaçlı soğurmalı sistemlerin yüzdelik dilimleri verilmiştir [60].



Şekil 5.14. Ticari olarak piyasaya sürülen tek kademeli soğurmalı soğutma sistemlerinde kullanılan akışkanlar [60]

5.7.1. Amonyak-Su akışkan çifti

Amonyakın normal şartlar altında kaynama sıcaklığının $-33,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ olması ve su ile ekzotermik reaksiyona girmesi sebebi ile soğurmalı soğurma sistemlerinde ilk olarak amonyak-su ikilisi kullanılmıştır. Amonyak $-77\text{ }^{\circ}\text{C}$ donmaktadır. Bu özellik amonyak soğutucu sıvısını kullanan soğurmalı soğutma sisteminin daha düşük sıcaklıklarda buharlaşmasına ve katılaşma olmamasına imkan sağlamaktadır [61].

Bu özelliklerinin yanı sıra amonyak gazının zehirli bir gaz olması ve yanıcı özellik göstermesi amonyak-su karışımının dezavantajlarındandır. Fakat amonyak buharının keskin kokusu sebebiyle herhangi bir sızıntı kısa zamanda fark edilerek müdahalede bulunulabilir.

Buna karşın kullanım alanlarında elde edilen fayda riskin üzerinde olduğu için kullanılmıştır.

Amonyak-su karışımındaki amonyak ve suyun kaynama noktaları birbirine yakın olmasından dolayı bu karışımı kullanan soğurmalı soğutma sisteminde kaynatıcıda su buharı ve amonyak gazı birlikte buharlaşmaktadır. Buharlaşan bu iki gazın yoğunlaştırıcı birimine gitmeden ayrılması gerekmektedir. Bu nedenle amonyak-su karışımı kullanan soğurmalı soğutma sistemlerinde kaynatıcı sonrasında ayırıcı birimi bulunmaktadır. Ayırıcı biriminin ısı enerjisi kullanması nedeniyle toplam sistem performansı olumsuz olarak etkilenerek verimi düşürmektedir [62].

Amonyak-su karışımli soğurmalı soğutma sistemlerinin çalışma basıncı minimum 3 bar olup kaynatıcı için gerekli sıcaklık aralığı $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir. Sistemin soğutma sıcaklığı ise $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasındadır. Bu sayede uygulama alanı olarak iklimlendirme sistemlerinde, gıda soğutmasında, kimya- ilaç endüstrisinden ve endüstriyel buz yapımında kullanılmaktadır [54].

Yıllarca yapılan çalışmalar sonucunda amonyak-su karışımının özellikleri pek çok defa incelenmiş olup karışımın termodinamik özellikleri çok iyi bilinmektedir

5.7.2. Lityum Bromür-Su akışkan çifti

İkinci dünya savaşının bitiminden itibaren başlayan ve 1976 da meydana gelen petrol krizine kadar olan sürede soğurmalı soğutma sistemleri altın çağını yaşamıştır. Amonyak buharının

zararlı olması nedeniyle yerine daha güvenli bir akışkan arayışına gidilmiş ve 1930 yılında LiBr-H₂O karışımını kullanan sistem ilk defa ortaya çıkmıştır [51].

Bu karışımda su soğutkan görevi görürken Lityum Bromür soğurucu görevi görmektedir. Sistemde dolaşan su buharının bir kaza anında dışarı çıkması durumunda zehirlenmemektedir. Lityum-su akışkan çiftinin en büyük dezavantajı ise soğutucu akışkan olan suyun eksi derecelerde donmasıdır. Bu nedenle 0 derece altında herhangi bir soğutma işlemi yapılamamaktadır.

Soğurmalı soğutma sisteminde soğutucu akışkan olarak su kullanılmakta olup soğurucu akışkan Lityum Bromür tuzudur. Suyun soğutucu akışkan olarak kullanılmasıyla Amonyak buharı yerini su buharına almış bu sayede olası bir gaz kaçağı durumunda zehirlenme riski ortadan kalkmıştır. Su buharı gizli ısı yüksek bir akışandır.

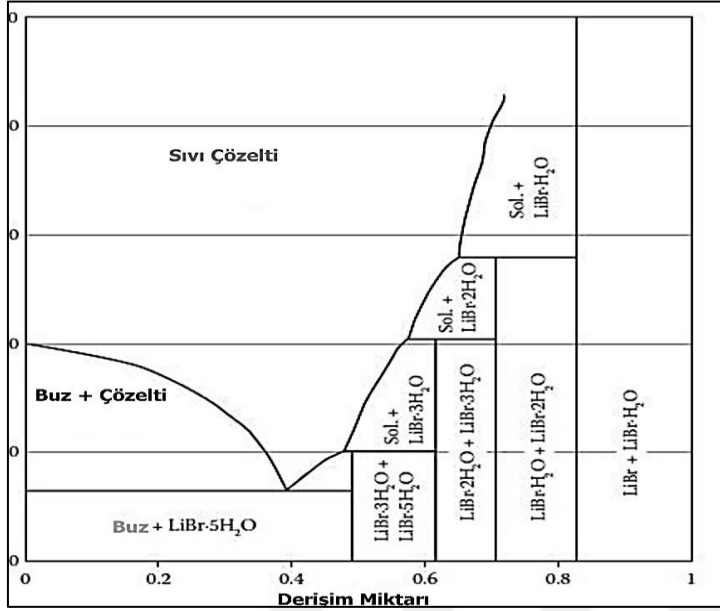
Lityum Bromür tuzunun erime sıcaklığı 550°C derece olup bileşik 1310°C derecede kaynamaktadır [63]. Lityum bromürün yüksek erime sıcaklığı LiBr-H₂O karışımının kaynatıcıda kolaylıkla ayrışmasını sağlamaktadır. LiBr-H₂O karışımı kullanan sistemlerde kaynatıcı sonrası ayırıcının bulunmaması sistem verimini olumlu yönde etkilemektedir.

Çizelge 5.2. Soğurmalı sistemlerde kullanılan NH₃ – H₂O ve LiBr – H₂O akışkan çiftlerinin kıyaslanması [51]

<i>SOĞUTUCU SIVI</i>		
TANIMLAMA	NH ₃ – H ₂ O	LiBr – H ₂ O
Yüksek Gizli Isı	İyi	Çok iyi
Orta Buhar Basıncı	Çok yüksek	Çok düşük
Düşük Donma sıcaklığı	Çok iyi	Sınırlı uygulama aralığı
Düşük vizkozite	İyi	İyi
<i>SOĞURUCU SIVI</i>		
Düşük Vizkozite	Zayıf	Mükemmel
Düşük Buhar Basıncı	İyi	İyi
<i>KARIŞIM</i>		
Katı halde bulunmama	Mükemmel	Sınırlı uygulama aralığı
Zehirleyici olmama	Zayıf	İyi
Soğurucu ve soğutucu sıvı arasındaki çekim kuvveti	İyi	İyi

ityum Bromür su karışımı aynı zamanda ucuz ve çevre dostudur. Bu avantajlarının yanında bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bu dezavantajı ise kristalizasyon riski yani yüksek

derişimli karışımındaki suyun buharlaşmasıyla arta kalan lityum bromür tuzunun katılaşıarak sistemi tıkamasıdır. Bu nedenle belirli sıcaklıklara kadar belirli derişim miktarında kullanılmalıdır. Şekil 5.15’ te bu derişim miktarı ile sıcaklık ilişkisi görülmektedir.



Şekil 5.15. Çeşitli akışkan çiftleri için sıcaklık-derişim hal grafiği [64]

5.8. Sürekli Çalışan Soğurmalı Soğutma Sistemleri

Soğurmalı soğutma sistemleri çalışma süresine göre sürekli çalışan sistemler ve kesintili çalışan sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır [60]. Konut ya da işyeri için tasarımı yapılan soğurmalı soğutma sistemleri belirli saat aralıklarında çalışacak şekilde kesintili olarak tasarlanmaktadır. Buna karşın veri merkezleri gibi ısı kazancının sürekli olduğu yerlerde ise sürekli sistemler çalışmaktadır.

Soğutma sisteminin sürekli olmasından dolayı soğurmalı soğutma sistemi kesintisiz enerji kaynağına ihtiyaç duyacaktır. Soğurmalı soğutma sistemlerinin verimlerinin mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemlerine göre düşük olması ve mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemlerinden farklı olarak alternatif enerji kaynaklarını kullanması sebebiyle sistem için gereken dış enerji her zaman yeterli olmayabilmektedir.

Sürekli çalışan soğurmalı soğutma sistemlerinde enerji ihtiyacının sabit olması ve dışarıdan verilen enerji miktarının günün saatine göre değişken olması nedeniyle basit soğutmalı

sistem üzerinde yapılan bazı eklemeler ile sistem sürekli bir şekilde çalışması sağlanmaktadır.

Güneş kaynaklı soğurmalı soğutma sisteminde soğutma işlemi için gereken ısı enerjisi güneş kolektörleri tarafından sağlanmaktadır. Bilindiği üzere dünyamızın kendi eksenini ve Güneşin etrafında yapmış olduğu dönme hareketi nedeniyle bulunduğumuz noktaya günün her saatinde aynı miktarda güneş ışınlamı düşmemektedir. Gündüz vakti gelen güneş ışınlamı soğurmalı soğutma sistemini çalıştırabilirken gece vakti atmosferde bulunan güneş ışınlamı ise yetersiz kalmaktadır. Sürekli çalışan güneş kaynaklı soğurmalı soğutma sistemi için yapılan çalışmalarda üç ayrı tasarım kullanılmaktadır. Bu tasarımlar ısı enerjisinin depolanması, soğutma enerjisinin depolanması ve soğutucu akışkanın depolanması sayılabilir [65-67].

5.8.1. Isı depolamalı sistem

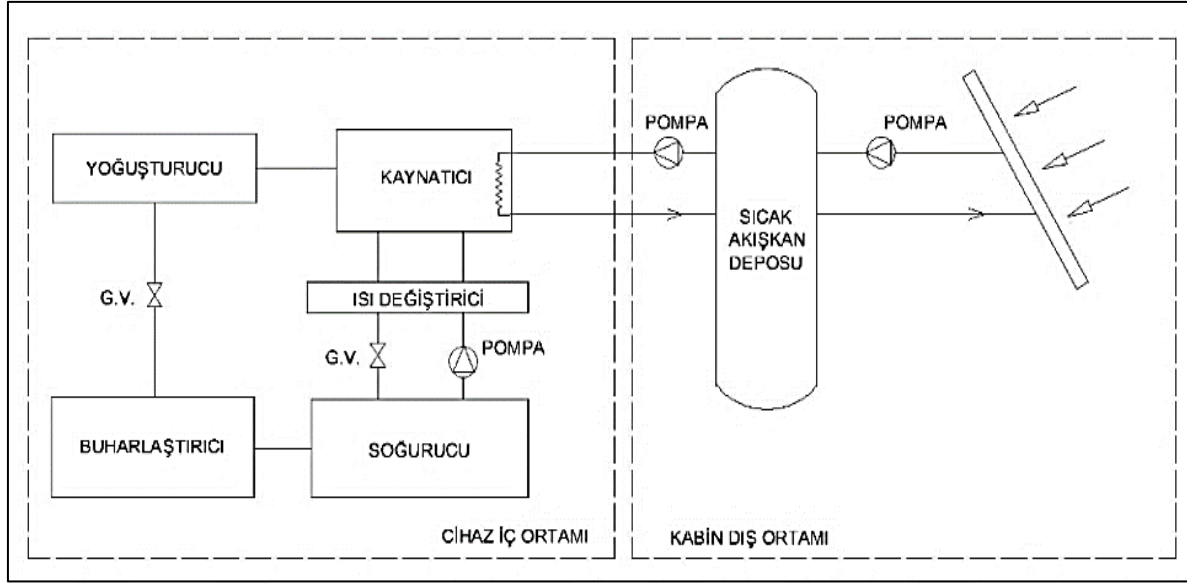
Isı depolamalı sistemlerde güneş ışınlamının olduğu zaman diliminde güneş kolektöründen toplanan ısı enerjisi bir ısı deposuna aktararak ısı deposunda saklanır. Şekil 5.16'da ısı depolamalı sistemin şeması gösterilmektedir [68].

Sürekli olarak çalışacak ısı depolamalı soğutma sisteminin gereksinim duyduğu günlük ısı enerjisi miktarı Eşitlik 5.25 kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$Q_{ID} = Q_{GN} \cdot \left[\frac{24 - \text{Güneşli saat sayısı}}{\text{Güneşli saat sayısı}} \right] \quad (5.25)$$

Isı depolamalı sistemlerde ısı depolama için sıvı kullanılmak istendiğinde gereken depolama sıvısı miktarı aşağıdaki eşitlikte verilmektedir.

$$m_{hs} = \frac{Q_{hs} * 3600 * \text{Güneşli saat sayısı}}{h(\text{depodan çıkan sıvı sıcaklığı}) - h(\text{depoya dönen sıvı sıcaklığı})} \quad (5.26)$$



Şekil 5.16. Isı depolamalı sistemin şeması [69]

Isı depolamalı sistemlerde ısı depolama için sıvı kullanılmak istendiğinde gereken depolama sıvısı miktarı aşağıdaki eşitlikte verilmektedir.

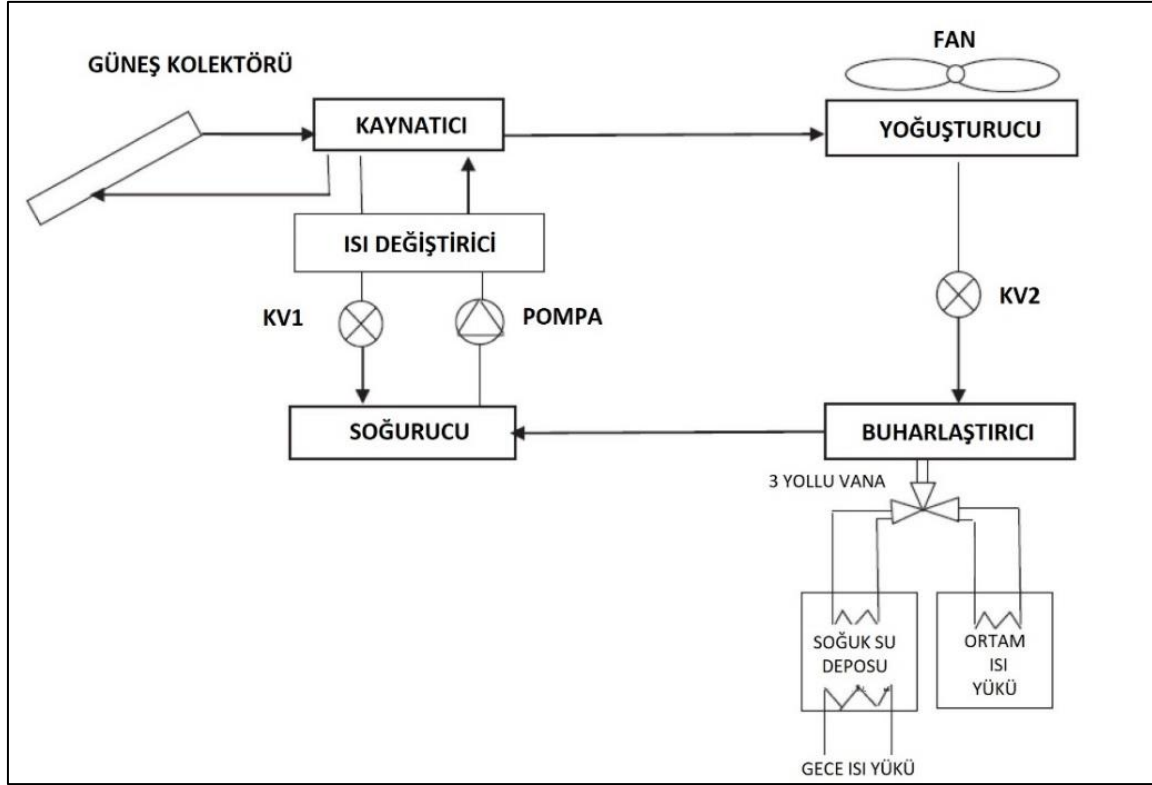
$$m_{hs} = \frac{Q_{hs} * 3600 * \text{Güneşli saat sayısı}}{h(\text{depodan çıkan sıvı sıcaklığı}) - h(\text{depoya dönen sıvı sıcaklığı})} \quad (5.27)$$

5.8.2. Soğutucu akışkan depolamalı sistem

Soğutucu akışkan depolamalı soğurmalı soğutma sistemi, sistemin çalışması için yeterli ısı enerjisi girişi olduğu süre zarfından tüm gün soğutma işlemi yapılmasına yetercek kadar kadar soğutucu akışkan üretir ve depolar. Depolanan soğutucu akışkan sabit bir debi ile buharlaştırıcıya gönderilerek sürekli soğutma işlemi yapılmasını sağlar. Şekil 5.17’de soğutucu akışkan depolamalı soğurmalı soğutma sistemini gösterilmiştir.

Soğutucu depolamalı soğutma sistemi cihaz kapasiteleri ısı depolamalı soğurmalı soğutma sisteminin cihaz kapasitelerinden büyüktür.

Atmosfer sıcaklığının yoğuşturucu sıcaklığından düşük olduğu durumlarda yoğuşturucuda sıvı hale gelen su buharı soğutucu sıvı deposunda soğuyarak sistemin performansına katkı sağlamaktadır.



Şekil 5.18. Soğutucu depolamalı soğurmalı soğutma sistemi [70]

5.8.4. Sürekli çalışan güneş kaynaklı soğurmalı soğutma sistemlerinin karşılaştırılması

Sürekli çalışan soğurmalı soğutma sistemlerin avantaj ve dezavantajları Çizelge 5.3’ te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Sürekli çalışan soğurmalı soğutma sistemlerinin karşılaştırılması [67]

TASARIM	AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
ISI DEPOLAMALI SİSTEM	Gece çalışmada diğerlerine göre daha yüksek COP değerine sahiptir.	Soğurmalı soğutma sistemi tüm gün çalışır. Isı depolama tankı izolasyonu daha fazladır. Evaporatör sürekli çalışmaktadır.
SOĞUK DEPOLAMALI SİSTEM	Soğurmalı soğutma sistemi bileşenleri sadece gündüz çalışır	Daha büyük kaynatıcı ve buharlaştırıcı kapasitesine ihtiyaç vardır.

Çizelge 5.3 (devam) Sürekli çalışan soğurmalı soğutma sistemlerinin karşılaştırılması

TASARIM	AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
SOĞUTUCU DEPOLAMALI SİSTEM	Diğer sistemlere göre daha küçük güneş kolektörü alanına ihtiyaç duyar. Depolama sıcaklığı ve basıncı düşük olduğundan güvenlidir. Depolama tankı için daha ince izolasyon maddesine ihtiyaç duyar	Buharlaştırıcı tüm gün çalışmaktadır. Daha büyük cihaz kapasitelerine ihtiyaç duyar

Yapılan çalışmalarda güneş kaynaklı soğutucu depolamalı soğurmalı sisteminin, ısı depolamalı sistem ve soğutucu depolamalı sisteme göre toplam maliyetinin (ilk kurulum maliyeti ve işletme maliyeti) daha düşük olduğu hesaplanmıştır [71].



6. YAPAY SİNİR AĞLARI

Yapay sinir ağıları insan beyninde bulunan sinir hücreleri ve bu hücrelerin birbiri ile ilişkisini modellemek suretiyle “klasik yöntemlerle ve algoritmalar ile çözülemeyen” veya karmaşık bir çözüm yöntemi bulunan fonksiyonların kolaylıkla çözümünü sağlayan hesaplama modelidir [72]. Yapay sinir ağıları sadece problem çözmekle kalmayıp veri işleme, öngörme, veri sınıflandırma işlemlerini de yapabilmektedir [73].

1940 lı yılların başından beri insan beyninin nasıl çalıştığını öğrenme ve bu çalışma sistemini matematiksel model haline getirmek için bazı çalışmalar yapılmıştır. 1943 yılında Warren S. McCulloch ile Walter Pitts ilk yapay sinir ağı modelini ortaya atmıştır. 1949 yılında Webb tarafından ortaya atılan nörofizyolojik öğrenme modeli ile yapay sinir ağı algoritması geliştirilmiştir. Öğrenme modeli ile geliştirilen yapay sinir ağı modeli, ilk olarak tek katmanlı (perception) yapay sinir ağı modeli hava tahmini gibi uygulama alanında kullanılmıştır. Fakat tek katmanlı yapay sinir ağı modelinin sınırlılıkları 1974 yılında Webos tarafından çok katmanlı algılayıcı tipi ağılar için geriye yayılma algoritması geliştirilmesi ile ortadan kalkmıştır [72, 74].

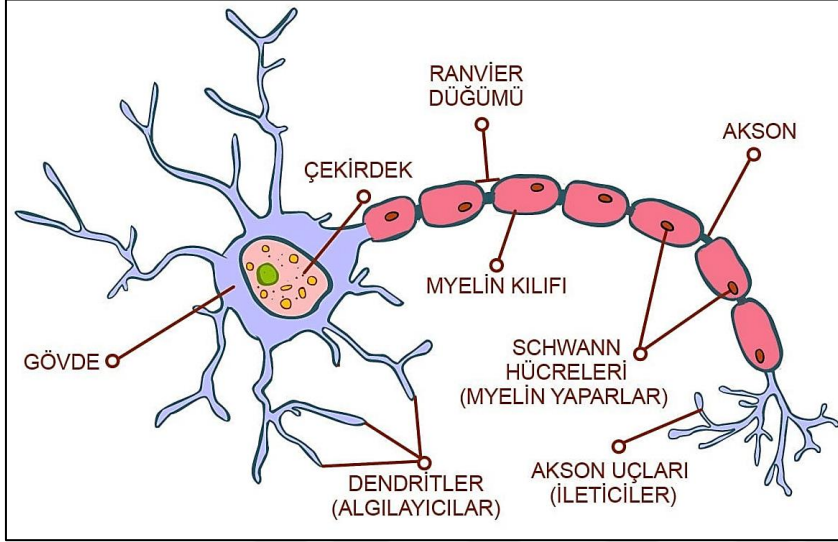
Yapay sinir ağıları öğrenme yeteneğinden dolayı pek çok alanda kullanılmaktadır. Bu alanlar genel olarak beş ayrı grupta ifade edilebilir [53]. Bunlar:

- Endüstriyel uygulamalar
- Finansal uygulamalar
- Askeri ve savunma uygulamaları
- Sağlık uygulamaları
- Diğer alanlardaki uygulamalar

6.1. Sinir Hücresi ve Yapay Sinir Ağı Hücre Modeli

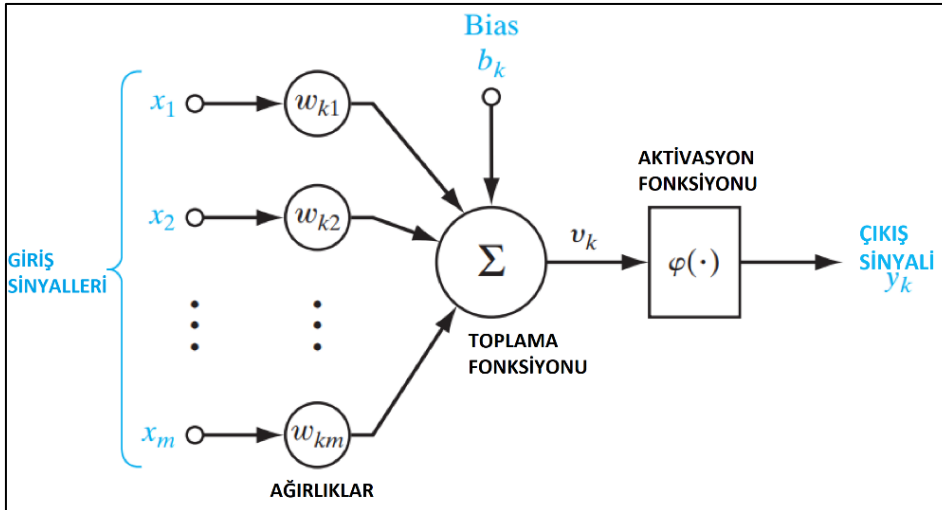
İnsan bedeninde bulunan sinir hücresi akson, dendrit, hücre çekirdeği(soma) ve sinapslarda meydana gelmektedir. Yapay sinir ağı hücresini anlayabilmek için insan sinir hücresinin nasıl çalıştığını anlamak gereklidir.

Dendritler diğer sinir hücrelerinden gelen uyarıları seçici olarak hücre çekirdeğine iletmektedir. Bazı dendritler uyarıları hücre çekirdeğineiletmezken bazı dendritler ise uyarıları zayıflatarak veya güçlendirerek hücre çekirdeğe iletmektedir.



Şekil 6.1. Sinir hücresi [75]

Hücre çekirdeğine gelen uyarılar toplanarak diğer sinir hücresine iletmek üzere aksona aktarılır. İki farklı sinir hücresi doğrudan birbirine temas etmemektedir. Bilgi iletimi aksonların ucunda bulunan sinapslar yardımıyla diğer dendrit veya alıcı hücreye aktarılır. Bu aktarımda sinapslarda bulunan nörotransmitter maddeler uyarının diğer hücreye aktarılıp aktarılmayacağını belirlemektedir [75]. Şekil 6.2’ de tek katmanlı yapay sinir ağı şeması gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Tek katmanlı yapay sinir ağı (Perception) [76]

Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de görüldüğü gibi yapay sinir ağı hücresi insan sinir ağı hücresine benzemektedir. Bir yapay sinir ağı hücresine gelen girdi değerleri (x_n) toplanmakta ve bu bilgiler farklı sayısal değerlerle çarpılmaktadır. Bu çarpılan sayısal değer ağırlık (w_{kn}) olarak ifade etmektedir. Bu ağırlıklardan bazıları iletim sağlamayan Dendritler gibi sıfır olabilmekte ve gelen girdi değerini yutabilmektedir. Bu durumda toplama fonksiyonuna anlamlı bir girdi değeri iletilmemektedir. Hücre çekirdeğinin gelen uyarıları toplamaları gibi ağırlıklar çarpılarak gelen veriler toplama fonksiyonu ile birleştirilmektedir.

N tane girdi değeri ile beslenen yapay sinir ağı hücresinin giriş değeri toplamı Eşitlik 6.1’de verilmiştir. Bazı durumlarda eşik fonksiyonunun çıktı uzayını kaydırılması gerekmektedir. Bu durumda ise “bias” olarak tanımlanan değer toplama fonksiyonuna eklenmesi yeterlidir.

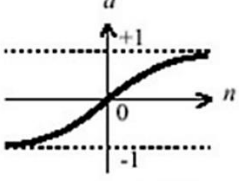
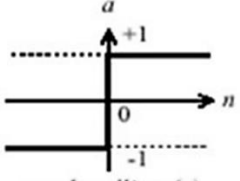
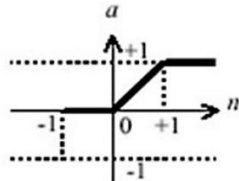
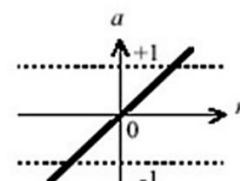
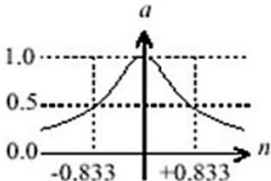
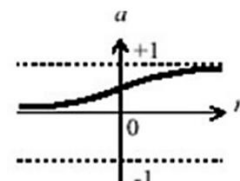
$$u = \sum_{i=1}^n x_{(i)} w_{k(i)} \quad (6.1)$$

Elde edilen toplam değer eşik fonksiyonundan geçerek oluşan çıktı değeri diğer yapay sinir ağı hücresine aktarılmaktadır. Eşitlik 6.2 bazı durumlarda eşik fonksiyonunun çıktı uzayının kaydırılması gerekmektedir. Bu durumda ise “bias” olarak tanımlanan değer toplama fonksiyonuna eklenmesi yeterlidir.

$$y = \varphi(u + b) \quad (6.2)$$

Bazı durumlarda eşik fonksiyonunun çıktı uzayının kaydırılması gerekmektedir. Bu durumda ise bias olarak tanımlanan ilk değer (x_0) toplama fonksiyonuna eklenmesi yeterlidir. Çizelge 6.1’de bazı eşik fonksiyonları gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Yapay sinir ağlarında kullanılan eşik fonksiyonları [77].

 $a = \tanh(n)$ Tan-Sigmoid Transfer Fonksiyonu	 $a = \text{hardlims}(n)$ Hard Limit Transfer Fonksiyonu
 $a = \text{satlin}(n)$ Satlin Transfer Fonksiyonu	 $a = \text{purelin}(n)$ Lineer Transfer Fonksiyonu
 $a = \text{radbas}(n)$ Radial Basis Fonksiyonu	 $a = \text{logsig}(n)$ Log-Sigmoid Transfer Fonksiyonu

6.2. Yapay Sinir Ağ Yapıları

Yapay sinir ağları ileri beslemeli ve geri beslemeli ağlar olmak üzere iki grupta incelenmektedir.

İleri beslemeli ağ yapısında giriş katmanında herhangi bir işlem yapılmadan ara katmana aktarılmaktadır. Bu katmandaki elemanların birbiri ile ilişkisi bulunmamakta olup diğer katmandaki tüm elemanlarla ilişkilidir. Sinyal iletimi giriş katmanından çıkış katmanına doğru tek yönde yapılmaktadır. Bu tür ağlara örnek olarak çok katmanlı ağlar ve Kohonen ağ verilebilir [72].

Geri beslemeli ağ yapısında hem ileri beslemeli ağ yapısında olduğu gibi veri iletimi giriş katmanından çıkış katmanına ilerlemesinin yanı sıra ara katmanlarda elde edilen sonuçlar

önceki katmanlara geri besleme yapmaktadır. Hamming, Jordan, Elman ve Hopfield ağ topolojileri bu tür ağ yapısına uymaktadır [78].

6.3. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme

Bir yapay sinir hücresine gelen bilginin işlenerek çıktı olarak sunulması işlemine yapay sinir ağlarında öğrenme olarak tanımlanır. Yapay sinir ağına gelen veri ile çıktı verisi arasında bulunan ağırlık değeri öğrenme sürecinde istenilen değere ulaşılıncaya kadar değişmektedir. Ağırlık değerleri kararlı hale geldiğinde ise öğrenme işlemi sona ermiştir.

6.4. Yapay Sinir Ağlarında Kullanılan Öğrenme Yöntemleri

Yapay sinir ağlarında öğrenme işlemi; danışmanlı öğrenme, danışmansız öğrenme ve destekli olarak ikiye ayrılmaktadır [53].

Danışmanlı öğrenmede yapay sinir ağı verilen çıktı değerleri ile hesaplanan değeri korelasyonuna bağlı olarak ağırlıkların değiştirilmesi işlemini yapmaktadır.

Danışmansız öğrenmede yapay sinir ağı aldığı verilerle bir sınıf oluşturarak diğer girdi verileri bu sınıfa benzetmeye çalışmaktadır. Tüm girdi verilerini oluşturduğu sınıfa benzeyip benzemediğini ayırt etmektedir [78].

6.5. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları

Sonucu doğrusal olan problemlerde tek katmanlı yapay sinir ağı yapısı (perception) başarılı olurken sonucu doğrusal olmayan problemlerde ise başarısız olmaktadır. Bu nedenle çok katmanlı yapay sinir ağı yapısı kullanılarak doğrusal olmayan problemler başarı ile çözülmüştür. Bu ağ yapısında giriş katmanı ile çıktı katmanı arasında gizli katman veya katmanlar bulunmaktadır [78].

6.6. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağlarında Danışmanlı Öğrenme Algoritmaları

Çok katmanlı yapay sinir ağı modelinde kullanılan öğrenme algoritmalar aşağıda sunulmuştur [72].

1. Geri yayılım algoritması
2. Esnek Yayılım Algoritması
3. Delta-Bar-Delta Algoritması
4. Hızlı yayılım öğrenme algoritması
5. Levenberg-Marquardt algoritması
6. Eşleştirmeli eğitim algoritmaları
7. Quasi -Newton öğrenme algoritmaları



7. GÜNEŞ KAYNAKLI SOĞURMALI SOĞUTMA SİSTEMİNİN TASARIMI

Güneş kaynaklı Soğurmalı sistemlerin uygulanmasında öncelikle kabinin ısı özellikleri bulunması kazancı bilinmesi gerekmektedir. Kabinin ısı kazancı hesaplandığında ise soğurmalı soğutma sistemi eleman kapasitelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışma noktalarına göre sürekli çalışan soğurmalı soğutma sistemin çalışma sistemi seçilerek enerji belirlenebilir. Tasarım parametrelerinin her bir şehirde kullanılacak sistem için ayrı ayrı olması verimliliği artıracaktır.

7.1. Telekomünikasyon Baz İstasyonu Kabinin Isıl Modellenmesi

Telekomünikasyon baz istasyonları elektronik ekipmanlar olduğu için atmosfer koşullarından ve dış etkenlerden etkilenmektedirler. Bu nedenle genellikle bir koruma içerisinde veya bir yapı içerisinde bulunur. Makro Telekomünikasyon baz istasyonları için bir koruma yapısı bulunmaktadır. Bu yapı sabit olabileceği gibi prefabrik bir yapıda olabilmektedir. Ülkemizde kırsal bölgelerde sabit yapı inşaatı özellikle denizden yüksek dağlık bölgelerde zor ve maliyetli olabilmektedir. Bu nedenle makro telekomünikasyon baz istasyonları için genellikle prefabrik yapılar kullanılmaktadır. Pek çok prefabrik kabin üreticisi çeşitli özelliklerde prefabrik kabinler üretmektedir.

Bu çalışmada ülkemizde faaliyet gösteren bir mobil telekomünikasyon firması tarafından kullanımda olan bir baz istasyonu kabini özellikleri kullanılmıştır. Baz istasyonu kabin özellikleri Çizelge 7.1’de verilmiştir.

Telekomünikasyon baz istasyonları için ısıl modelleme yapılırken kabinin ısıl iletkenliği, elektronik ekipmanların ürettiği ısı miktarı ve atmosferin kabin üzerinde meydana getirdiği ısı yükü hesaplanmalıdır. Kabinin ısı transferi hesaplamasında birleşik ısı transferi denklemi kullanılabilir.

Çizelge 7.1. Telekomünikasyon baz istasyonu kabin özellikleri [79]

Kabin Boyutu	2x2x2.4(m)
ZEMİN	20cm kalınlığında beton kaide
TAVAN	1 mm galvaniz sac, 80 mm poliüretan köpük, 0.50 mm galvaniz sac
YAN DUVAR	0.50 mm galvanizli sac.
	İzolasyon malzemesi 60 mm poliüretan
	0.50 mm galvanizli sac.
TABAN	0.5 mm galvaniz sac
	izolasyon malzemesi 80 mm poliüretan köpük
	iç kaplama en az 10 mm phvwood
	zemin üst malzemesi dukap
KAPI	Doğrama kasaları 1.23 mm galvanizli sac. dış kapı her iki yüzeyi 1.2 mm galvaniz sac, kapı ölçüsü 190 cm x 80 cm



Resim 7.1. Telekomünikasyon baz istasyonu kabini ve iç görünümü [79]

Çizelge 7.2. Bazı malzemelerin ısı iletim katsayıları [80]

MALZEME	ISI İLETİM KATSAYISI W/mK
Galvanizli Çelik Sac	52
Poliüretan dolgu	0,024
Polywood	0,014
Dukap (PVC zemin kaplaması)	0,23

7.1.1. Meteorolojik veriler

Tasarlanacak olan soğutma sisteminin ilk basamağında atmosferik koşulların incelenmesi gerekmektedir. Güneş kaynaklı soğurmalı soğutma sisteminin performansını etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerden bazıları dış hava sıcaklığı, rüzgâr hızı ve güneş radyasyonudur.

Dış hava sıcaklığına bağlı olarak sistemin iç yüzeyi ile dış yüzeyi arasında ısı transferi meydana gelmektedir. Isı transferi iç sıcaklık değeri ile dış (atmosfer) sıcaklık değerinin farkına göre yön ve miktar olarak değişmektedir. İç ortam sıcaklığının dış ortam sıcaklığından düşük olması durumunda dış yüzeyden iç yüzeye ısı transferi meydana gelecektir. Dış hava sıcaklığının bir diğer etkisi ise kullanılacak güneş panellerindeki akışkan sıvının özelliklerini belirlemektedir. Bazı iklim koşullarında donma olayı meydana gelmediği için kullanılması gereken antifriz veya akışkan sistem üzerinde fazladan maliyet artırımına neden olabilmektedir.

Rüzgâr hızı kabinin dış yüzeyi ile atmosfer arasındaki ısı taşınım miktarını etkilemektedir. Dış yüzey sıcaklığının atmosfer sıcaklığından büyük olması durumunda rüzgâr hızı arttıkça yüzey sıcaklığında azalma meydana gelecektir. Tersisi durumda ise artan rüzgâr hızı kabin yüzeyinin ısınmasına neden olacak bu durumda ise soğutma yükünü artıran bir durum ortaya çıkacaktır.

7.1.2. Güneş ışıının hesaplaması

Yatay yüzeye düşen Güneş radyasyonu özellikle açık alanda bulunan ve güneş ışınlarının doğrudan kabin üzerine geldiği bir konumda kabinin ısı kazancı üzerinde büyük bir etkiye

sahiptir. Güneş radyasyonu kabin yüzeyini ısıtacak, bu ısınma sonucunda yüzey sıcaklığı değerine bağlı olarak ısı transferi meydana gelecektir.

Güneş ışıınım hesaplamalarında Kılıç ve Öztürk tarafından önerilen ampirik katsayılar ve Tırıs tarafından önerilen bulanıklık katsayısı kullanılarak güneş ışıınım hesaplaması yapılmıştır.

Baz istasyonu kabininin rengi RAL9002 olduğu için yüzey yansıtıcılık değeri ise 0,61 olarak alınmıştır. Ayrıca zemin yansıtıcılık değeri 0,2 kabul edilmiştir.

7.1.3. Kabin iç sıcaklığı

Amerikan Isıtma, Soğutma ve Havalandırma Mühendisleri Derneği tarafından belirlenen (ASHRAE) standardına göre telekomünikasyon baz istasyonları gibi veri merkezlerinde önerilen sıcaklık değeri $+18^{\circ}\text{C}$ ile $+27^{\circ}\text{C}$ derece arasında olması gerekmektedir [81].

Avrupa Telekomünikasyon Enstitüsü tarafından yayımlanan standartta telekomünikasyon baz istasyonunun iç sıcaklığının $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ olarak belirlenmişti [82].

Telekomünikasyon baz istasyonu kabinin iç sıcaklığının bu değerlerden yüksek olması durumunda telekomünikasyon sistem bileşenlerin anlık olarak zarar görebileceği gibi cihazların kullanım ömürlerinin kısılmasına neden olacaktır. Telekomünikasyon sisteminde yedek güç kaynağı olarak kullanılan akülerin ömürlerinin kısılmaması için 25°C sıcaklığın üzerine çıkılmaması istenilen bir durum değildir [79].

Bu çalışmada yukarıda açıklanan sebeplerden dolayı kabinin iç sıcaklık değeri 25°C belirlenmiştir.

7.1.4. Cihaz ısı kazancı

Bir hücrede hizmet verilecek abone sayısına, enerji ihtiyacına ve alan büyüklüğüne göre telekomünikasyon baz istasyonunda farklı sayıda iletişim cihazı ve akü kullanılmaktadır. Kullanılan bu aküler ve iletişim cihazları kabin içerisindeki atık ısı miktarını etkilemektedir. Daha önce yapılan çalışmalara bakıldığında kabinin cihaz kaynaklı ısı yükü 2 kW ila 5 kW

arasında değiştiği görülmektedir [79][83]. Bu çalışmada ise daha önce ülkemizde yapılan deneysel çalışmaya uygun olarak cihaz kaynaklı ısıl y k 2 kW olarak seçilmiştir [79].

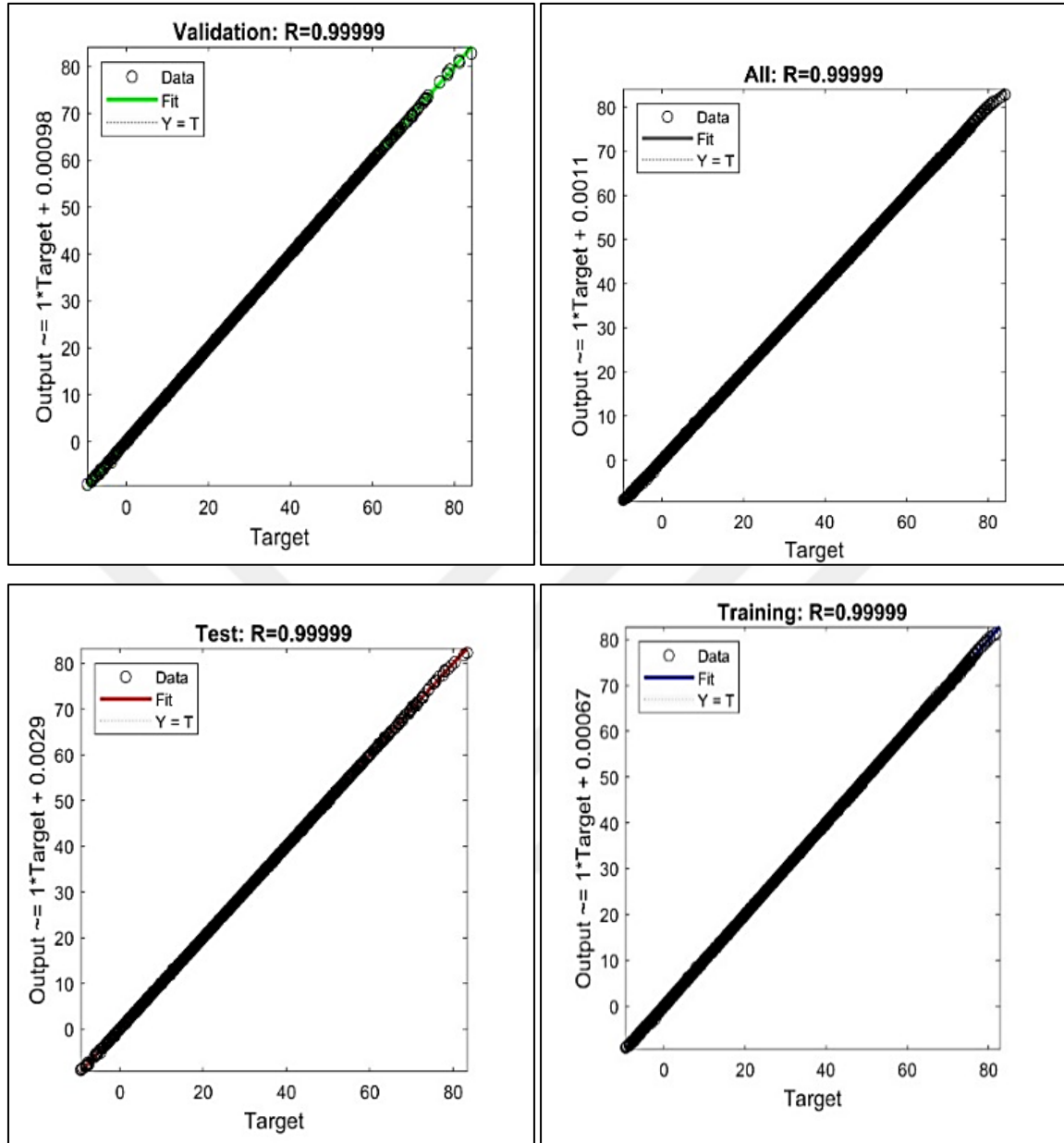
7.1.5. Yapay sinir ağlarının kullanımı

Birleşik ısı transferi denklemi kullanılarak Matlab programı üzerinde yapılan hesaplamanın çok fazla sürmesi nedeniyle yapay sinir ağlarına başvurulmuş öğrenme seti için;

- -10 C ile +45 C dış hava sıcaklığı aralığında her bir adım değeri 0.1  C,
- 0- 1200 Radyasyon değerleri aralığında her bir adım değeri 100 W/m² ,
- 0-15 m/s Rüzgâr hızı için her bir adım değeri 1 m/s olmak üzere farklı durumlar için matematiksel olarak   zd r lm ştir.

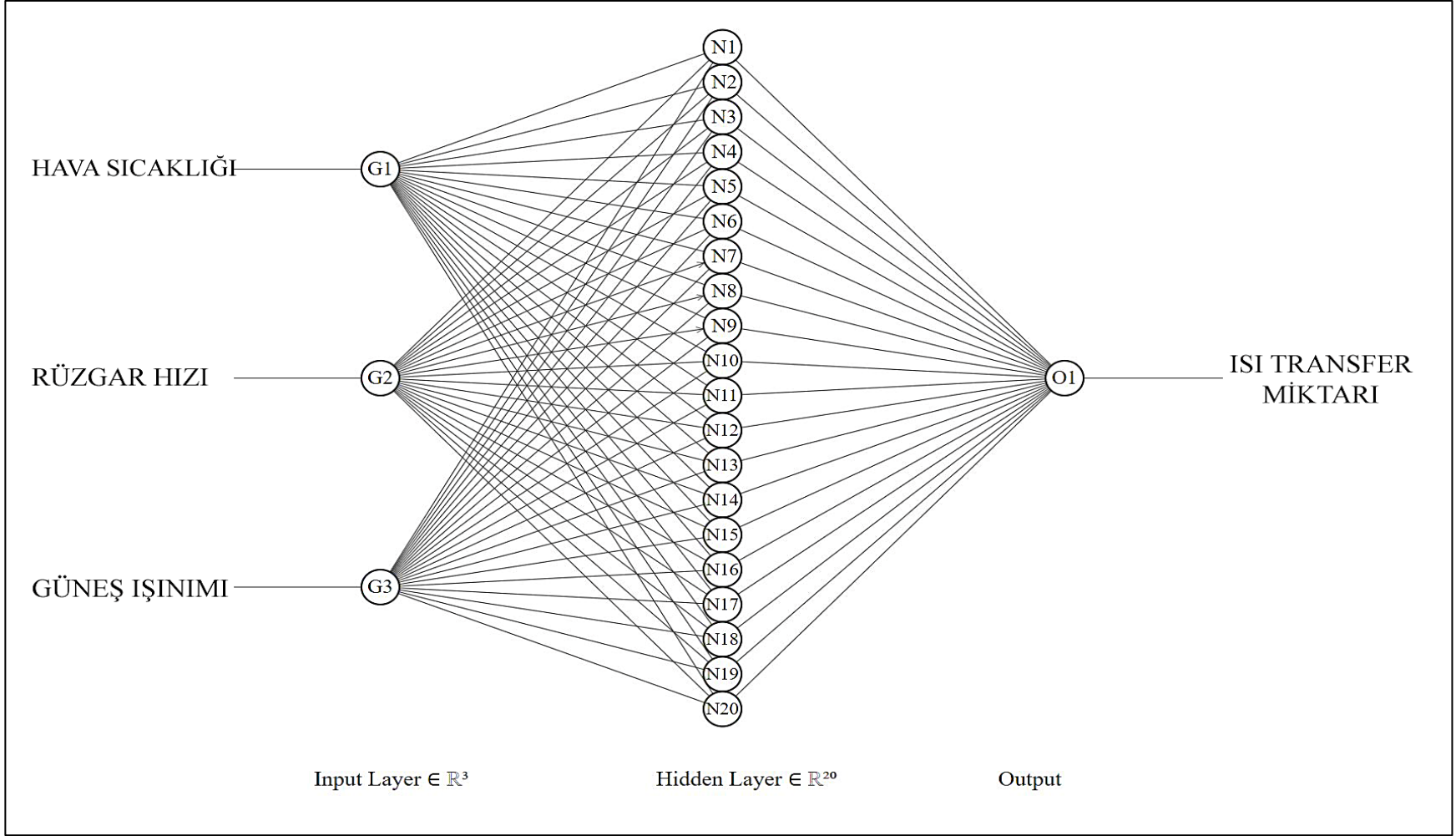
Elde edilen sonuçlar ile yapay sinir ağı Levenberg-Marquardt  ğrenme algoritması kullanılarak logsig eşik fonksiyonu ile modellenmiştir. Modellemede öncelikle aşağıda belirtilen özellikteki örneklemden oluşan çözüm seti eğitim için kullanılmıştır. Eğitim ve test aşamalarının sonucunda en uygun modelin giriş, bir gizli katmanı (20 nöron) ve çıkış katmanı olan yapay sinir ağı topografyası olduğu g r lm ştir. Yapay sinir açının eğitim, test ve geçerlilik analizi şekil 7.1'de, yapay sinir ağı topografyası şekil 7.2'de gösterilmiştir.

Oluşturulan yapay sinir ağı modelinin R² değeri 0,99999 ve Mape değeri 0,0075 olarak bulunmuştur.



Şekil 7.1. Yapay sinir ağ modeli regresyon analizi

Şekil 7.2. Yapay sinir ağı topografyası



Çizelge 7.3. Yapay sinir ağı giriş katmanı ağırlıkları

NÖRONLAR	GİRDİLER		
	1	2	3
1	-0,31388	-0,04181	11,18670
2	0,88612	0,13342	-0,75430
3	-2,47150	0,13297	1,75320
4	3,70350	3,00230	-2,73330
5	-1,02060	0,50825	12,10030
6	-1,58770	-0,32155	20,12810
7	1,56810	1,04890	0,88195
8	0,57486	0,32766	-2,54310
9	-0,09702	0,04258	-1,24550
10	-0,50333	0,20498	0,22901
11	0,32396	-0,20212	0,40977
12	-0,97952	-0,15766	-1,20670
13	11,82250	2,43790	0,07507
14	1,28800	0,52454	0,99596
15	9,55520	2,10510	-0,08434
16	-1,78570	-1,38100	-0,75065
17	-3,60670	-4,02850	-1,10470
18	13,86180	2,73700	0,18302
19	-0,10471	-0,00593	-1,67120
20	0,11748	-1,45490	4,51220

Çizelge 7.4. Yapay sinir ağı modeli gizli katman sabitleri

1	2	3	4	5	6	7
0,45211	5,5892	-1,1478	18,8453	0,28623	-0,11982	-11,6453
8	9	10	11	12	13	14
-0,60748	-15,2365	-8,6748	-12,4289	16,3985	-14,0967	19,4001
15	16	17	18	19	20	
26,5848	-4,3619	-5,0178	4,277	6,9428	-8,7277	

Çizelge 7.5. Yapay sinir ağı gizli katman çıkış ağırlıkları

1	2	3	4	5	6	7
10,313	-2,2363	-5,8171	-12,4158	7,1345	10,1046	2,0143
8	9	10	11	12	13	14
-0,55924	0,34078	-0,77242	0,06289	-2,3872	14,1768	2,0726
15	16	17	18	19	20	
13,0647	-2,0883	-10,5968	15,7805	0,49856	10,4186	

Çıkış Katmanı Sabiti : -3,2875

7.1.6. Güneş kolektörü seçimi

Özellikle kırsal bölgelerde bulunan telekomünikasyon baz istasyonlarında kullanılacak olan kolektör tipi seçiminde verimlilik ve arıza durumunda kolaylıkla devreden çıkmaması ve bakım durumları önem arz etmektedir.

Güneş kaynaklı soğurmalı soğutma sistemleri üzerine yapılan çalışmalarda vakum tüplü güneş kolektörü kullanan sistemlerin düz plaka tipi güneş kolektörüne göre daha verimli olduğu yapılan deneyler sonucunda tespit edilmiştir [84].

Vakum tüplü güneş kolektörlerinin en büyük avantajlarından biri herhangi bir dış kuvvete bağlı olarak bir- birkaç vakum tüpü hasar görse dahi diğer tüpleri çalışmaya devam etmesidir. Düzlemsel kolektör ve parabolik kolektörde ise yüzey camı veya ısı tüpü zarar gördüğünde kolektör devre dışı kalabilmektedir.

Bir kolektör üzerinde bulunan bir/birkaç vakum tüpünün zarar görmesi durumunda yeni tüpler kolaylıkla takılabilmektedir. Bu durum kolektör borulamasının zarar görmediği durumlarda büyük avantaj sağlamaktadır.

Güneş kolektöründe dış hava sıcaklığı soğuk iklimde bulunan iller için herhangi bir donma olayını engellemek için ısı transfer akışkanı su yerine Therminol 66 ısı transfer yağı kullanılmıştır.

7.1.7. Soğurmalı soğutma sisteminin seçimi

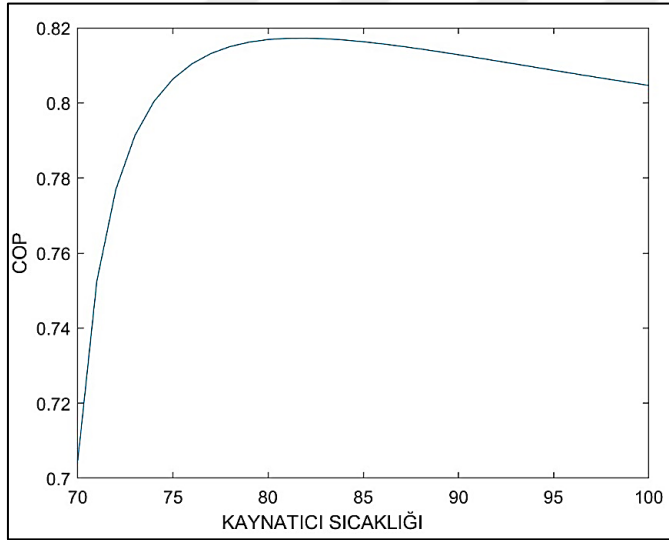
Soğurmalı soğutma sistemi olarak eriyik özellikleri en çok bilinen ve düşük kaynatıcı sıcaklıklarında daha verimli olan $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ ile $\text{H}_2\text{O-LiBr}$ arasında kıyas yapılmıştır. Bu iki eriyik kullanan sistemler kıyaslandığında kullanan sistemin aynı kaynatıcı sıcaklığı altında daha verimli çalıştığı tespit edilmiştir [85].

Sistemin küçük kapasiteli olmasından dolayı (3-5 kW) ilk yatırım maliyetinin düşük olması yatırım geri ödeme süresini düşürecektir. Ayrıca karmaşık sistemlerin daha fazla arıza yapma ihtimali göz önünde bulundurulduğunda tek kademeli bir soğutma sistemi kullanılmasının en uygun olacağı değerlendirilmiştir.

Kullanılacak olan tek kademeli LiBr-H₂O eriyiği kullanan Soğurmalı soğutma sistemi hesaplamaları için aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

1. Kaynatıcı çıkışında doymuş su buharı bulunmaktadır.
2. Yoğuşturucu çıkışında doymuş sıvı su bulunmaktadır.
3. Buharlaştırıcı çıkışında soğutucu sıvı doymuş su buharı olarak bulunmaktadır.
4. Kısılma vanalarının çevre ile ısı transferi bulunmamaktadır.
5. Cihazlar arasındaki borulamada çevreye herhangi bir ısı geçişi meydana gelmemektedir.
6. Isı değiştirici etkinlik oranı sabittir.

LiBr-H₂O kullanan soğurmalı soğutma sistemi için 10°C buharlaştırıcı sıcaklığı ve 40 °C soğurucu sıcaklığı koşulları altında ikinci yasa verimi analizi yapılmış olup kaynatıcı sıcaklığının 80-90 °C arası olması ve yoğuşturucu sıcaklığının 40 °C olması durumunda ekserji kaybının en düşük seviyede olduğu hesaplanmıştır [86].



Şekil 7.3. Kaynatıcı sıcaklığının performans katsayısına etkisi

İstenilen buharlaştırıcı gücü ve sıcaklığı için teorik duyarlılık analizi Şekil 7.3'te verilmiştir. Yapılan duyarlılık analizine göre en yüksek performans katsayısı kaynatıcı sıcaklığı 80-85°C arasında meydana gelmektedir.

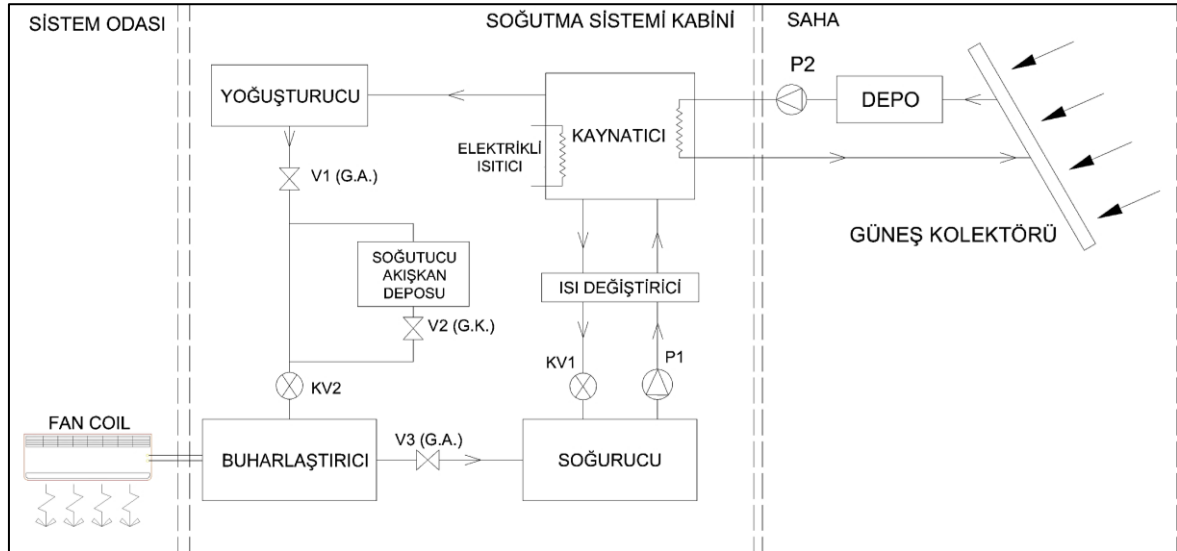
Kaynatıcı sıcaklığı 85°C alındığında ısı depolamalı tasarım ile soğutucu depolu tasarıma sahip soğurmalı soğutma sisteminin cihaz kapasiteleri aşağıdaki gibi olmaktadır.

Çizelge 7.6. Sürekli çalışan soğurmalı soğutma sistemi cihaz kapasiteleri [87]

	ISI DEPOLAMA TASARIMI	SOĞUTUCU DEPOLAMA TASARIMI
Kaynatıcı (W)	2736	3428
Yoğuşturucu (W)	2326	2948
Buharlaştırıcı (W)	2270	2270
Soğurucu (W)	2613	3280
Dolaşan soğutucu kütleli debisi (kg/s)	0.00095	0.0012
Kollektör Alanı (m ²)	25	13
Depolama Hacmi (m ³)	0.8	0.082

Tasarımların farklı soğutma kapasitelerine sahip olmasının sebebi ısı depolamalı sistemin soğutma işlemi için hazır bir ısı deposu kullanması bu sebeple anlık soğutma işlemi yapmasıdır.

Soğutucu depolamalı sisteminin ise cihaz kapasiteleri daha büyüktür. Bu tasarımda güneş enerjisi kullanıldığında üretilen anlık soğutma sıvısı debisinin daha büyük olması bu sayede depolanan soğutucu sıvının güneş bulunmadığı zamanlarda kullanılabilmesidir. Bu çalışmada soğutucu depolamalı sistem kullanılmıştır.



Şekil 7.4. Sistem tasarımında kullanılan soğurmalı soğutma sisteminin şeması

Sürekli çalışan soğurmalı soğutma sistemi tasarımında El-Shaarawi ve ark. tarafından patenti alınan soğutucu akışkan depolamalı sistem tasarımı esas alınmıştır [88]. Şekil 7.4' ten görüleceği üzere sistem gündüz vakti güneş kolektöründen elde edilen enerji ile soğutucu sıvı üretmekte ve üretilen fazla soğutucu akışkanı depolamaktadır. Gece vakti ise depolanan soğutucu akışkan kullanılarak soğutma işlemini kesintisiz sürdürmektedir. (G.K. : Gündüz kapalı, G.A.: Gündüz açık, KV: Kısılma vanası, P: Pompa)

7.1.8. Hava dönüşümlü serbest soğutma uygulaması

Soğurmalı soğutma sistemi mekanik buhar sıkıştırırmalı sistemler ile kıyaslandığında performans katsayıları düşük olmakla birlikte sürekli çalışan sistemlerde sürekli ısı kaynağına ihtiyaç duymaktadır.

Isı kaynağı olarak güneş enerjisinin kullanıldığı durumda ise sıcak ısı deposu bulunan sistemlerin depo sıcaklığının istenilen seviyede olması, soğutucu akışkan depolamalı sistemlerde ise soğutucu akışkan miktarının güneşin olmadığı saatlerde soğutma işleminin sürekliliği için yeterli miktarda olması gerekmektedir.

Ankara ili için kış aylarında (Aralık, Ocak, Şubat) ortalama 2.97 Saat güneşlenme süresi olduğu için ısı enerjisini depolamak ya da daha fazla soğutucu akışkan üretmek için güneş kolektörü ve soğurmalı soğutma sistemi cihaz kapasitelerinin büyütülecektir. Bu durum maliyet artışını beraberinde getirecek olup sistemin kullanılabilirliğini ciddi anlamda olumsuz etkileyecektir.

Bu sorunun çözümü için kabin içerisinde üretilen ve istenilen miktarın üzerinde olan ısı enerjisini hava değişimi tekniği ile dışarı atmak yeterli olacaktır. Serbest soğutma sistemiyle 50W gücündeki bir fan kullanılarak sistemin soğutulması sağlanabileceği öngörülmektedir. Serbest soğutma işlemi için atmosfer sıcaklığının 18°C altında olması yeterlidir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü verileri incelendiğinde Ankara ili için Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında ortalama sıcaklığın 18°C üzerinde olduğu görülmektedir. Ayrıca 2014 yılı verileri incelendiğinde yılın 6044 saatinde hava sıcaklığının 18°C ve daha az olduğu ölçülmüştür.

7.1.9. Matlab programı

Sürekli çalışan güneş kaynaklı Soğurmalı soğutma sistemi hesaplamalarını yapmak için Matlab üzerinde birçok fonksiyonun ortak çalıştığı bir hesaplama programı yazılmıştır.

Saatlik hava sıcaklığı değeri, saatlik rüzgâr hızı değeri meteoroloji genel müdürlüğü tarafından sağlanan 2014 yılına ait veriler kullanılarak yapılmıştır.

Güneş ışıınım değeri ise ölçümde veri kaybının fazla olması nedeniyle modellenmiştir. Oluşturulan model üzerinde Tırıs tarafından ülkemiz için geliştirilen bulanıklık faktörü hesaplaması kullanılmıştır.

Program saatlik hava sıcaklığı, saatlik rüzgâr hızı ve güneş ışıınım değerlerini ile birleşik ısı transferi denklemini çözerek kabinin yüzey sıcaklık değerini bulmakta ve kabinin saatlik ısı yükünü bulmaktadır. Bu hesaplama yapılırken yapay sinir ağlarından faydalanılmış, 1 atm basınca sahip hava için, kinematik viskozite, ısıl iletkenlik değeri ve Prandtl sayısının sıcaklığın bir fonksiyonu olarak yapay sinir ağı modeli geliştirilmiştir. Yapay sinir ağ modelleri sonuçları ile gerçek sonuçlar kıyaslanmış olup R^2 değerleri 0.998 den büyük olduğu hesaplanmıştır.

Birleşik ısı transferi hesaplamaları Matlab tarafından interpolasyon yöntemi ile çözüldüğü için bir yılın hesaplaması yaklaşık 12 saat sürmektedir. Bu süre uzun olduğu için yapay sinir ağları kullanılmış ve yıllık hesaplama süresi 4 dakikaya kadar düşürülmüştür.

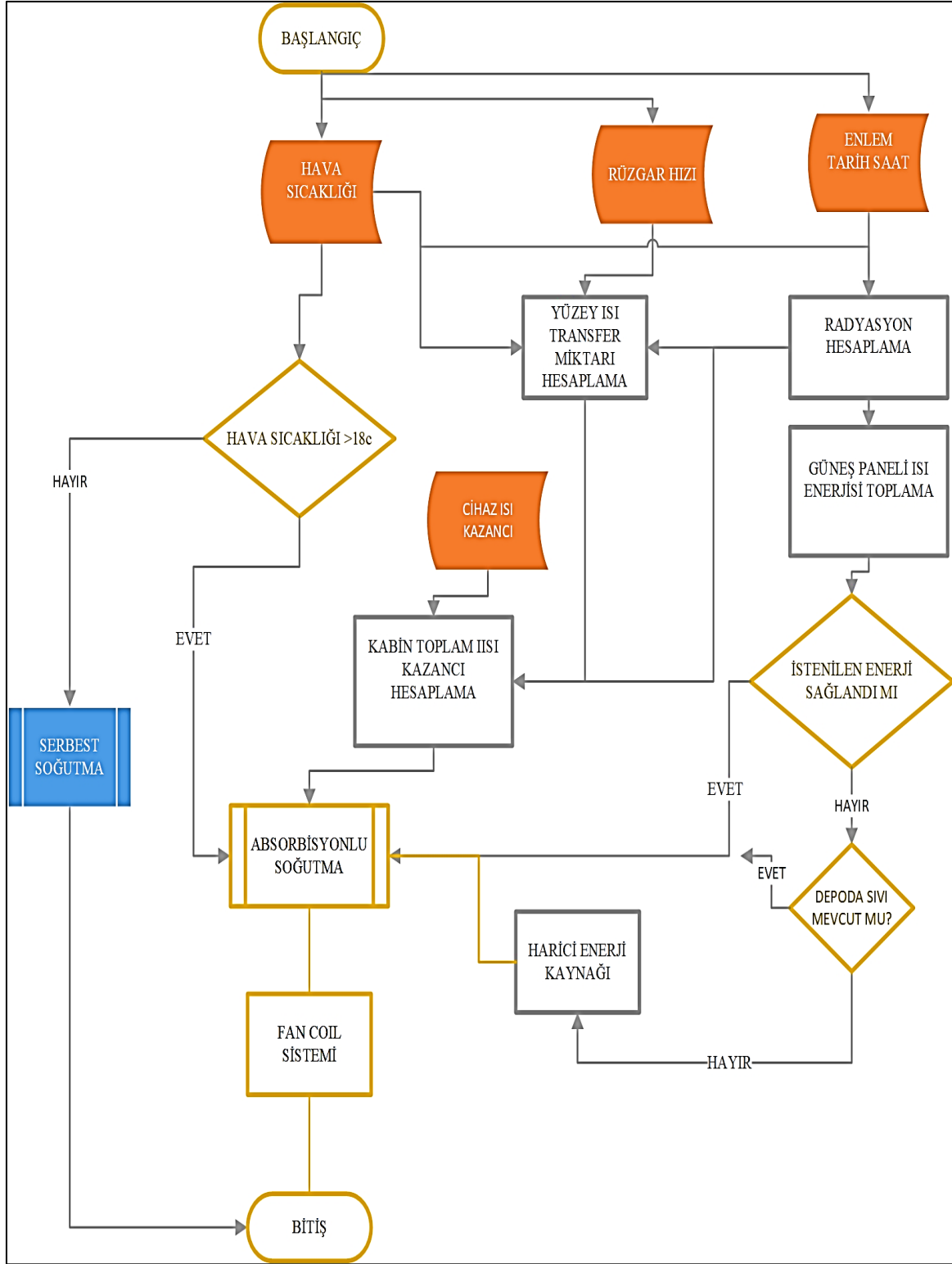
Elde edilen güneş ışıınım değeri güneş kolektörleri için verilen deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilerden yararlanılarak oluşturulan polinom kullanılarak kollektör verimi ve kolektörün faydalı gücü hesap edilmektedir.

LiBr-H₂O ile çalışan Soğurmalı soğutma sistemi hesaplamalarında Lityum bromür için Oldham Merkel eşitliği, Soğurmalı soğutma sistemi hesaplamalarında ASHRAE tarafından geliştirilen suya ait termodinamik eşitlikler kullanılmıştır.

Son olarak elde edilen sistem parametreleri yardımıyla soğutucu akışkan deposu sıvı miktarı kontrolü, Soğurmalı soğutma sisteminin harcamış olduğu elektrik enerjisi miktarı ve soğutma sisteminin ihtiyaç duyabileceği kaynatıcı ısıtması için elektrik enerjisi miktarı

saatlik olarak hesaplanmaktadır. Matlab programının çalışma algoritması Şekil 7.4'te verilmiştir.





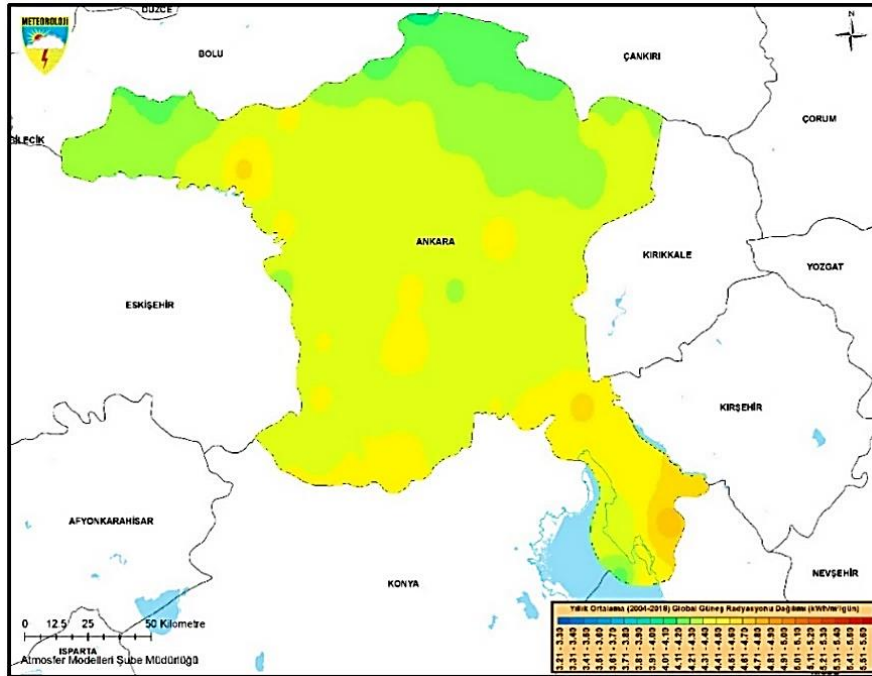
Şekil 7.5. Matlab programı algoritması [87]

7.1.10. Ankara ili uygulaması

Güneş kaynaklı soğurmalı soğutma sisteminin tasarım parametrelerinin belirlenmesinin ardından çeşitli iller için sistemin kullanışlılığı bilgisayar ortamında sınanmıştır. Başlık alt bölümde Ankara ili için temin edilen meteorolojik veriler kullanılarak sistemin geçerliliği test edilmiştir.

Ankara ilinin coğrafi ve iklimsel özellikleri

Ankara ili $39^{\circ} 55' 38''$ kuzey enlemi, $32^{\circ} 51' 52''$ doğu boylamında bulunan ve 891 metre rakıma sahiptir. Ankara ili TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardına göre dereceli olarak yapılan sınıflandırmada 3. bölgede yer almaktadır. Ankara ilinin kış aylarında sıcaklık ortalaması yaklaşık $2,5^{\circ}\text{C}$ ve yaz aylarında sıcaklık ortalaması ise yaklaşık 22°C 'dir [90]. Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından yapılan ölçümlerde, Ankara ilinde aylık en yüksek ortalama güneş ışıınım miktarı $6,704 \text{ kWh/m}^2$ ile Temmuz ayında olduğu ölçülmüştür [89].



Harita 7.1. Ankara ili yıllık güneş radyasyonu ortalaması dağılımı [89]

Meteoroloji genel müdürlüğü tarafından 1927 ile 2020 yılları arasında yapılan ölçümler sonucunda elde edilen en yüksek, en düşük ve aylık ortalama meteorolojik değerler Çizelge 7.7’de verilmiştir.

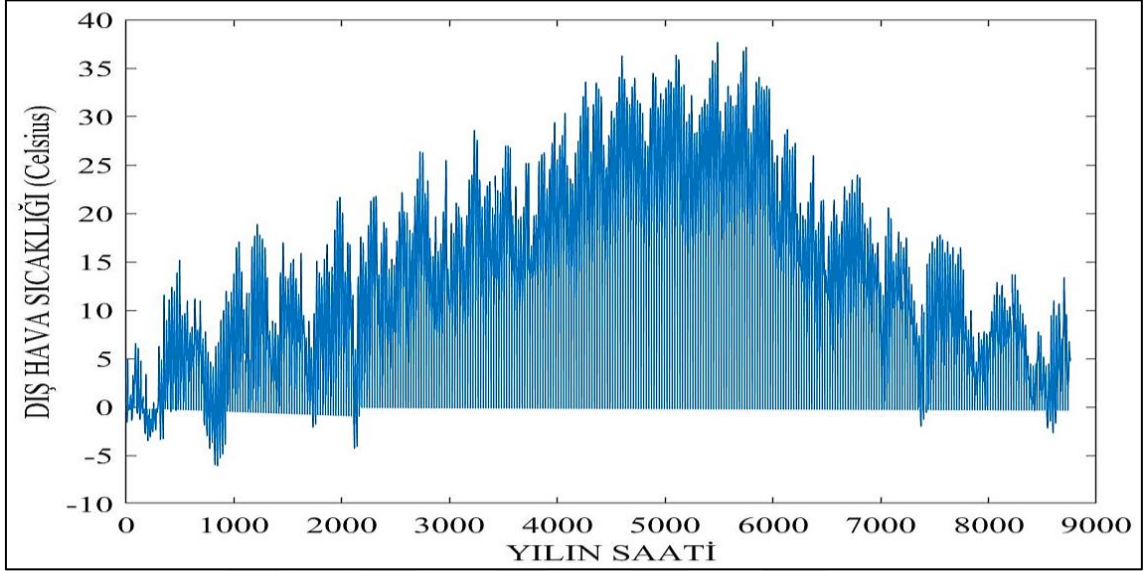
Çizelge 7.7. Ankara ili hava durumu ölçüm İstatistikleri [90]

ANKARA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1927 - 2020)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	0.2	1.7	5.7	11.2	16.0	20.0	23.4	23.4	18.9	13.2	7.2	2.5	11.9
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4.2	6.5	11.5	17.4	22.4	26.7	30.3	30.4	26.1	20.0	13.0	6.5	17.9
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-3.3	-2.3	0.7	5.3	9.7	12.9	15.8	16.0	11.8	7.2	2.5	-0.8	6.3
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.6	3.8	5.1	6.6	8.4	10.1	11.3	10.8	9.2	6.7	4.6	2.6	6.8
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	14.7	13.2	14.3	14.5	16.1	11.4	5.6	4.5	5.6	9.0	10.6	14.5	134.0
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	40.1	35.4	39.2	42.4	52.0	35.3	14.2	12.5	18.1	27.9	31.5	44.6	393.2
Ölçüm Periyodu (1927 - 2020)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	16.6	21.3	27.8	31.6	34.4	37.0	41.0	40.4	39.1	33.3	24.7	20.4	41.0
En Düşük Sıcaklık (°C)	-24.9	-24.2	-19.2	-7.2	-1.6	3.8	4.5	5.5	-1.5	-9.8	-17.5	-24.2	-24.9

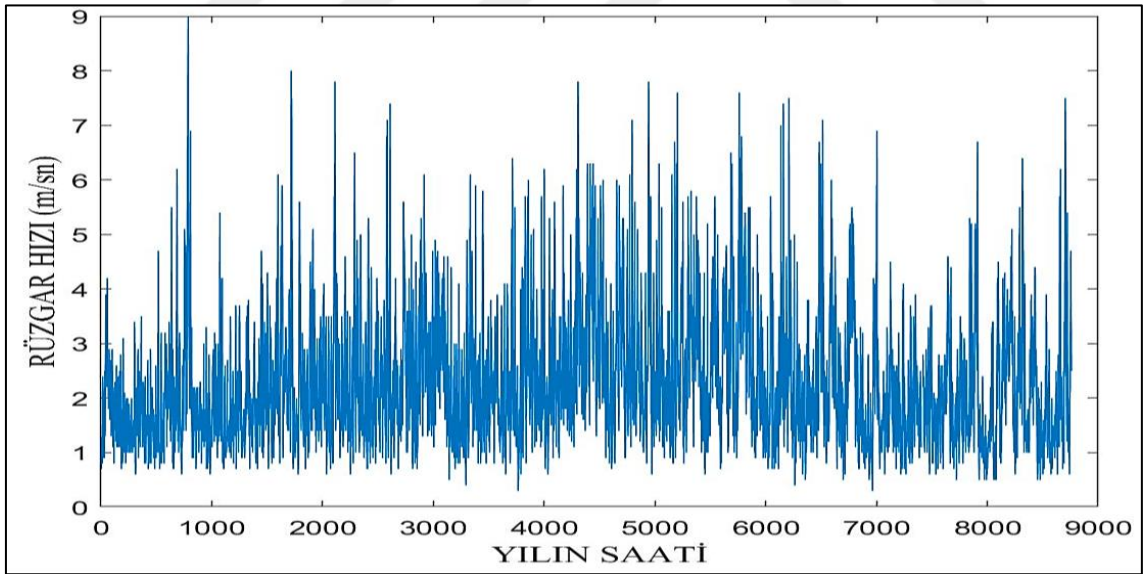
Isı kazancı grafiği

Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilen 2014 yılına ait saatlik hava sıcaklığı, saatlik rüzgâr hızı verileri kullanılarak ve yatay zemine gelen güneş ışıınım miktarı hesaplanmak

suretiyle ekipmanlar tarafından 2000W ısı üretimi olan bir telekomünikasyon baz istasyonu kabini Matlab Programı ile yapay sinir ağıları kullanılmak suretiyle modellenmiştir.

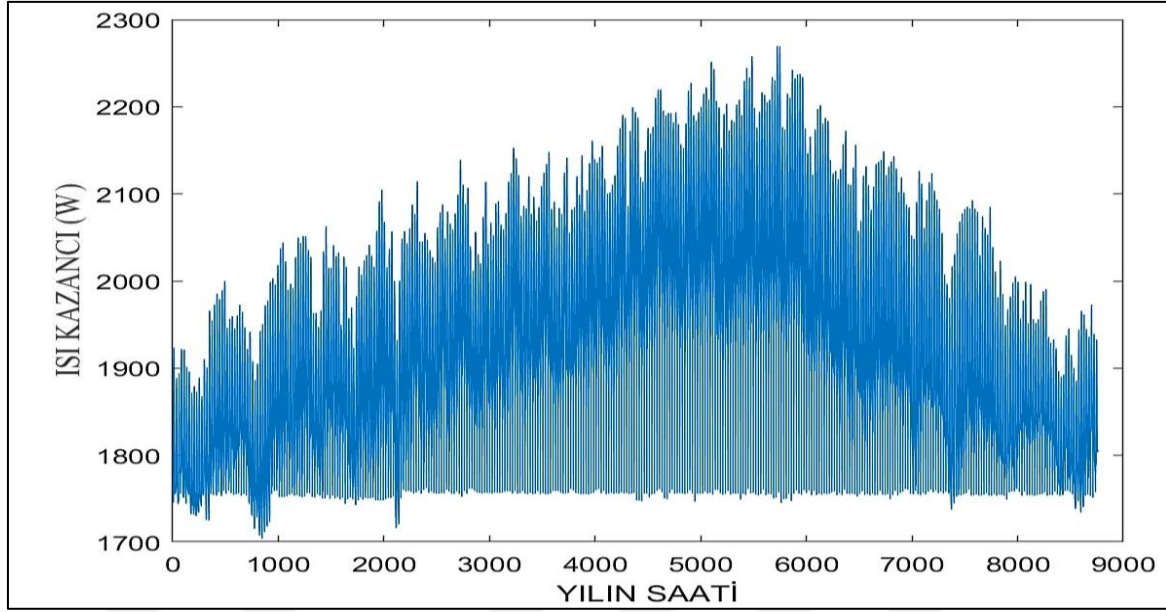


Şekil 7.6. Ankara ili 2014 yılı dış hava sıcaklığı grafiği



Şekil 7.7. Ankara ili 2014 yılı rüzgâr hızı grafiği

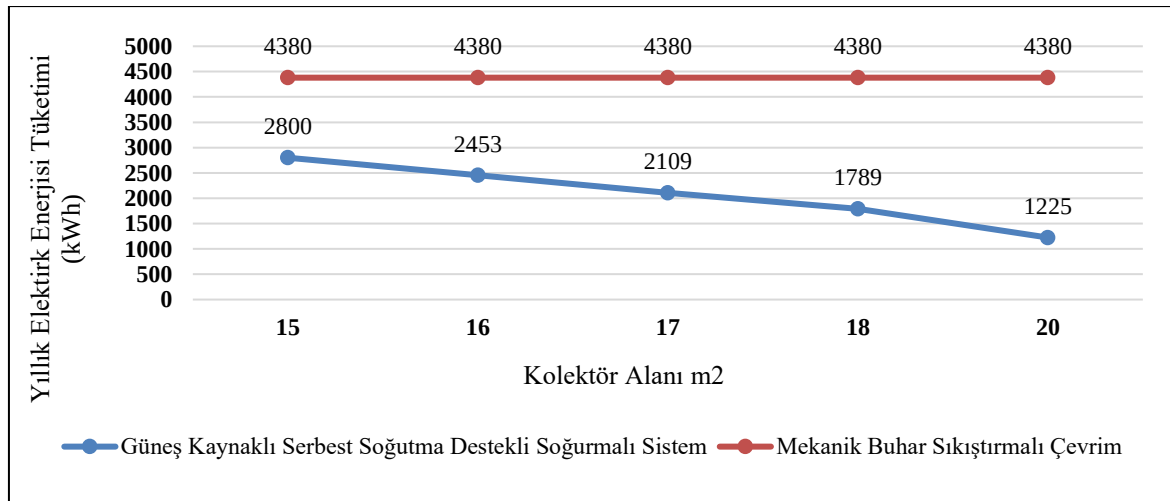
Yapay sinir ağıları üzerinde yapılan modelleme sonucunda Şekil 7.8 elde edilmiştir. Grafikte görüleceği üzere en büyük ısı kazancı 2270W olarak bulunmuştur. Bulunan ısı kazancı değerine istinaden Güneş destekli soğutma sisteminin kapasitesi bu değere uyumlu olarak 2300W olarak seçilmiştir.



Şekil 7.8. Kabin ısı kazancı grafiği

Güneş kolektörü alanı

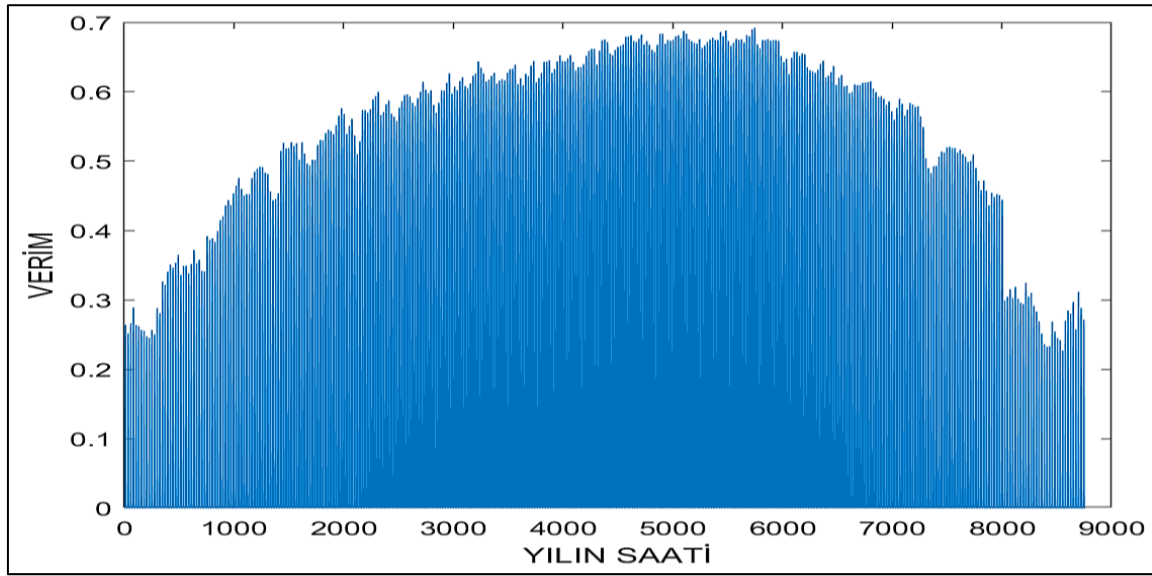
Soğutucu depolama sistemine sahip bir güneş kaynaklı serbest soğutma destekli soğurmalı soğutma sistemi değişik kollektör alanları kullanılarak elektrik tüketimi hesaplanmıştır. Bu hesaplama sonucunda ortaya çıkan değerler ile mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi referans alınarak karşılaştırma yapılmış olup Şekil 7.9 da gösterilmektedir.



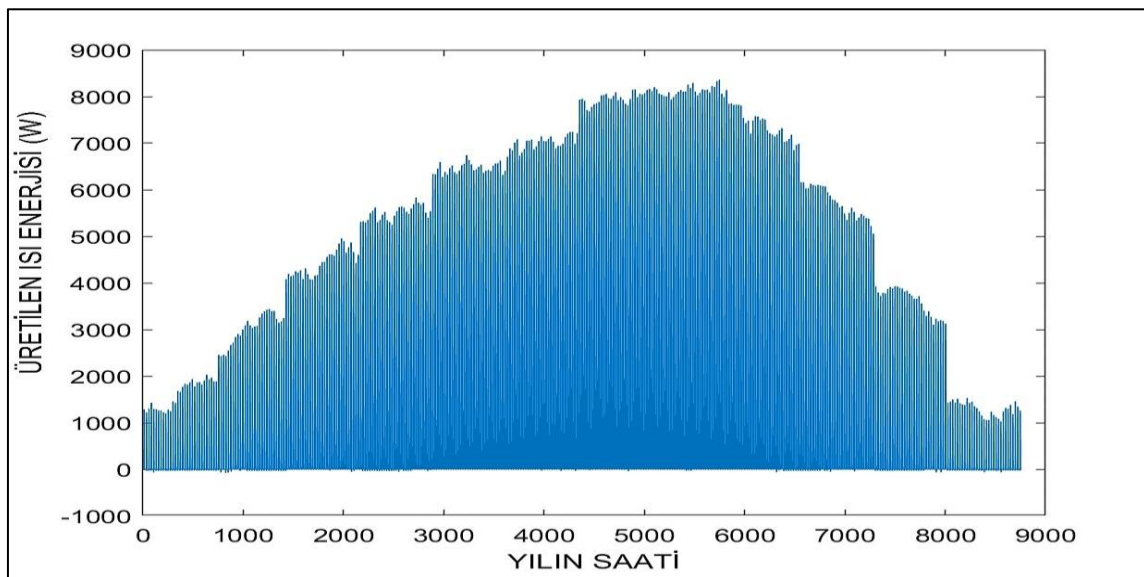
Şekil 7.9. Ankara ili için soğutucu akışkanlı depolama sisteminde elektrik tüketimi ile güneş kolektör alanı ilişkisi

Şekil 7.8’de bulunan grafik incelendiğinde güneş kolektörü alanının 17 m^2 olmasının ilk yatırım maliyeti ve işletme maliyeti açısından uygun olacaktır.

17 m^2 vakum tüplü güneş kolektörü kullanıldığında hesaplanan güneş ışıınım değeri ile dış hava sıcaklığı birlikte incelendiğinde güneş kolektörünün verimi Şekil 7.10’ da gösterilmiştir. Özellikle yaz aylarında güneş kolektörü verimi ışıınım şiddetine ve sıcaklık farkına bağlı olarak %60’ ın üzerine çıkmaktadır.



Şekil 7.10. Güneş kolektörü verimi

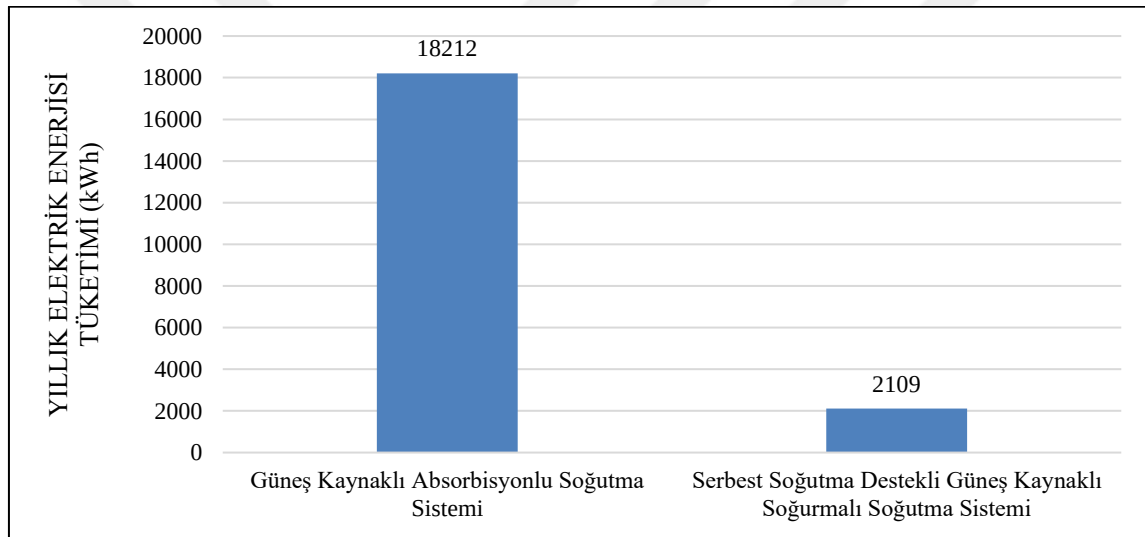


Şekil 7.11. Güneş kolektöründen elde edilebilecek faydalı ısı enerjisi

Şekil 7.11 de görüleceği üzere güneş kolektörü tarafından toplanan enerji enerjisine bağlı olarak sistem için üretilen ısı enerjisi miktarı artmaktadır.

Serbest soğutma sistemi

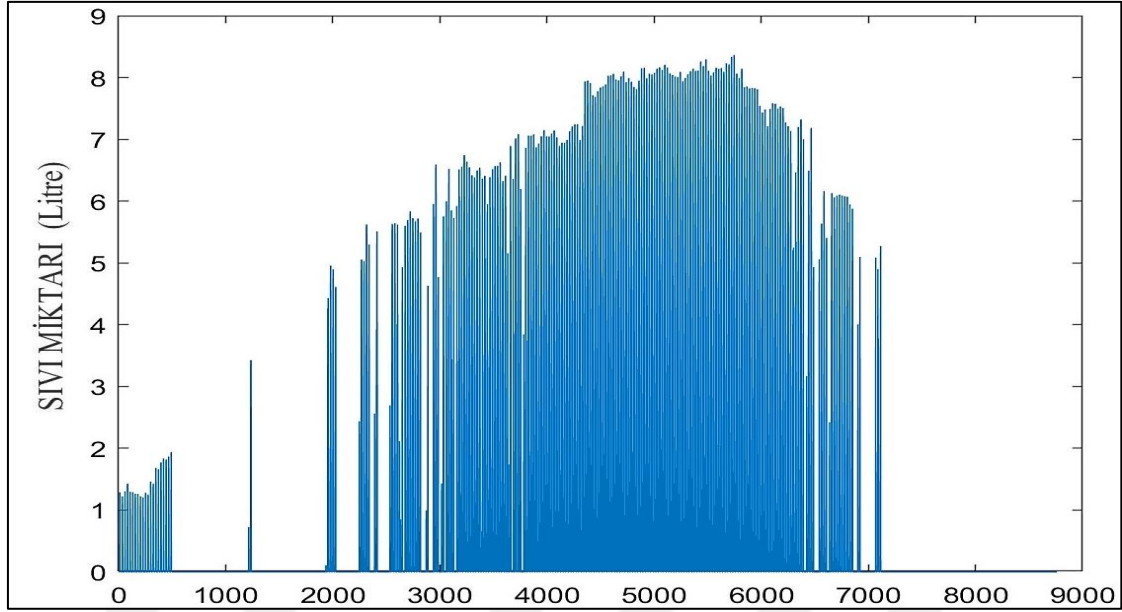
Ankara ili için serbest soğutmanın uygulanması ve uygulanmaması durumunda sistemin elektrik enerjisi ihtiyacı Şekil 7.12’de verilmiştir. Bu değerlere bakılarak enerji tüketimi yıllık 18212 kWh seviyesinden yaklaşık %88 lık bir azalma ile 2109 seviyesine kadar gerilemiştir. Serbest soğutma sisteminin soğutma sistemi üzerindeki etkisi oldukça büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 7.12. Ankara ili için serbest soğutma destekli sistem ile serbest soğutma olmayan sistemin elektrik tüketimi kıyaslaması

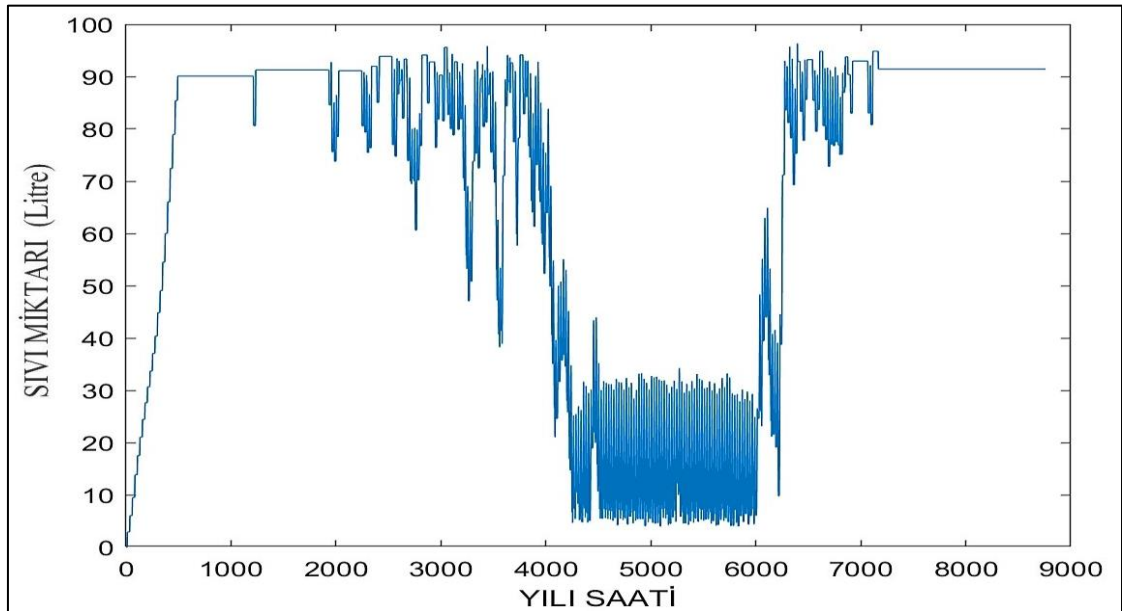
Soğutucu depolama tankı

Sistemde kullanılan soğutucu sıvı için depolama tank hacmi 90 litre olarak hesaplanmıştır. Sistemde üretilen soğutucu sıvı gereken miktardan fazladır. Bu fazlalığın sebebi ise gece vakti düşük basınç altındaki sıvının kullanılarak enerji tasarrufu yapılmasıdır. Sistem tarafından üretilen sıvı miktarının zamana bağlı olarak değişim grafiği Şekil 7.13’de verilmiştir.



Şekil 7.13. Üretilen soğutucu akışkanın zamana bağlı olarak değişimi

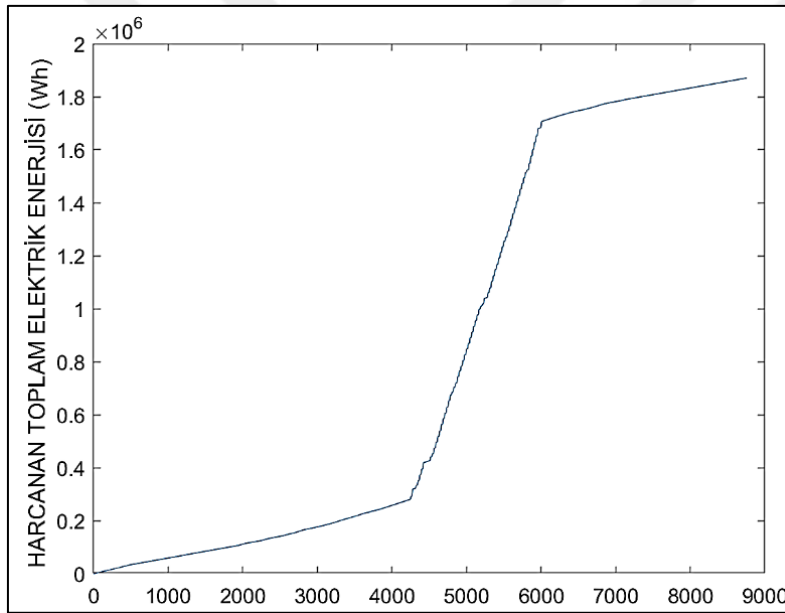
Soğutucu sıvı deposunda bulunan sıvının değişim grafiği Şekil 7.14’ te verilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa soğurmalı soğutma sisteminin özellikle Temmuz ve Ağustos aylarında yoğun çalıştığı görülmektedir.



Şekil 7.14. Soğutucu sıvı deposundaki sıvının zamana bağlı değişimi

Harcanan elektrik enerjisi

Elektrik enerjisi hesaplamasında soğurmalı soğutma sistemi çalışırken 150W civarında güç tükettiği hesaplanmıştır. Bu tüketimin 50W gücünde miktarı fancoil tarafından harcanmakta geriye kalan 100W sistemin pompası ve güneş kolektörünün pompası tarafından harcanmaktadır. Şekil 7.15 te sistemin elektrik enerjisi tüketimi kümülatif olarak görülebilmektedir. Ayrıca güneş kolektörünce yeterli ısı enerjisi üretimi olmadığı ve soğurmalı soğutma sisteminin çalışması gerektiği zamanda kaynatıcı içerisinde bulunan rezistans yardımıyla soğutma sistemi çalışır halde tutulmaktadır. Dış hava sıcaklığı 18°C altında olması durumunda serbest soğutma sistemi devreye girecektir.



Şekil 7.15. Tasarlanan soğutma sisteminin harcadığı elektrik miktarı

Maliyet hesaplaması

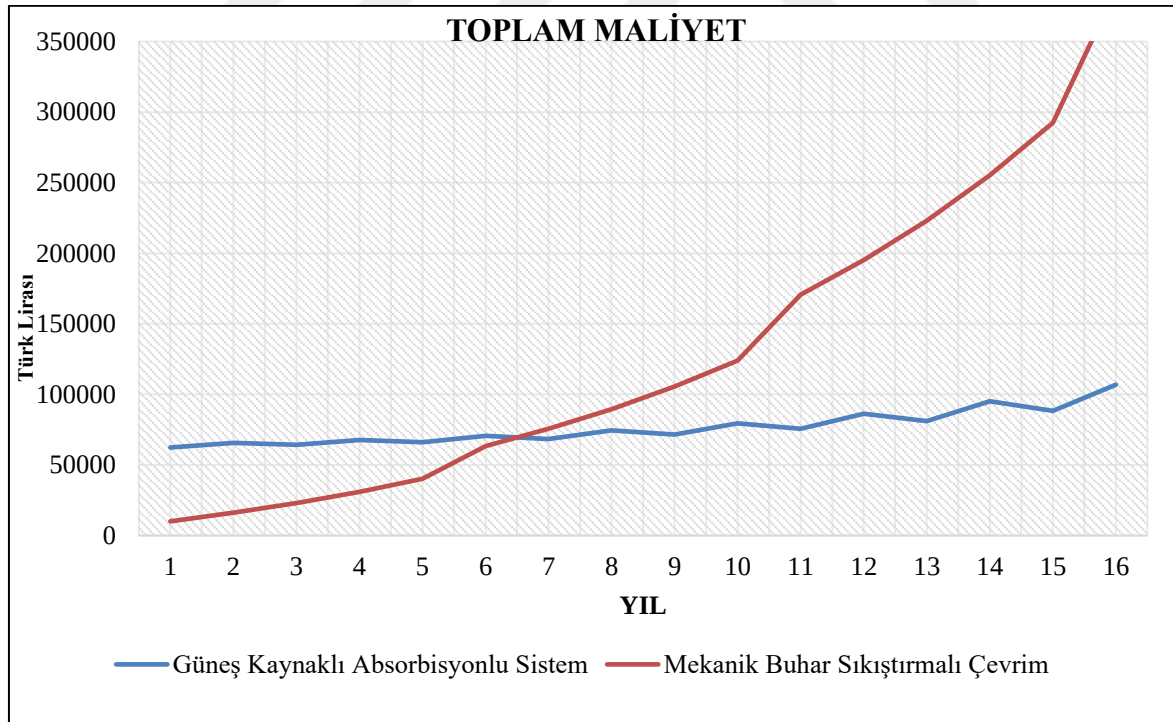
Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi sürekli çalıştığından dolayı pratikte 5 yılda bir yenilenmektedir. Soğurmalı soğutma sisteminde korozyonlar nedeniyle cihaz ömrü yaklaşık 20 yıl olmaktadır [56]. Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi ile güneş destekli soğurmalı soğutma sistemi ve serbest soğutma sisteminin kurulum maliyetleri 2021 yılı Mart ayı fiyatlarına göre hesaplanmış ve Çizelge 7.8'de verilmiştir. Ayrıca fan pervanesi yüzeyine yapışan tozların pervanenin balansının bozulacağı dolayısıyla fan sisteminin bozulacağı göz önüne alınarak 2 yılda bir fan sisteminin değişimi maliyeti hesaplama eklenmiştir. LiBr-

H₂O karışımı kullanan soğurmalı soğutma sisteminin korozyon sorunlarından dolayı yaklaşık 20 yıl çalışacağı tahmin edilmektedir [56][91].

Çizelge 7.8. Ankara ili için sistem kurulum maliyeti

Cihaz	Yaklaşık Maliyet (Türk Lirası)
Soğurmalı Soğutma Sistemi (Chiller+Güneş Kolektörü+ Fan Coil)	48613 TL
Serbest Soğutma	1500 TL
Toplam Maliyet	50113 TL
Mekanik buhar sıkıştırırmalı Soğutma Sistemi	5500TL

Şekil 7.16' te görüleceği üzere serbest soğutma destekli güneş kaynaklı soğurmalı soğutma sistemi ile mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi kıyaslandığında yaklaşık 6,5 yıl gibi bir süre sonunda yatırım maliyetleri ve işletme maliyetleri eşitlenmektedir.



Şekil 7.16. Soğutma sistemlerinin toplam maliyet kıyaslaması

Meteoroloji genel müdürlüğü tarafından 1927 ile 2020 yılları arasında yapılan ölçümler sonucunda elde edilen en yüksek, en düşük ve aylık ortalama meteorolojik değerler Çizelge 7.9’de verilmiştir.

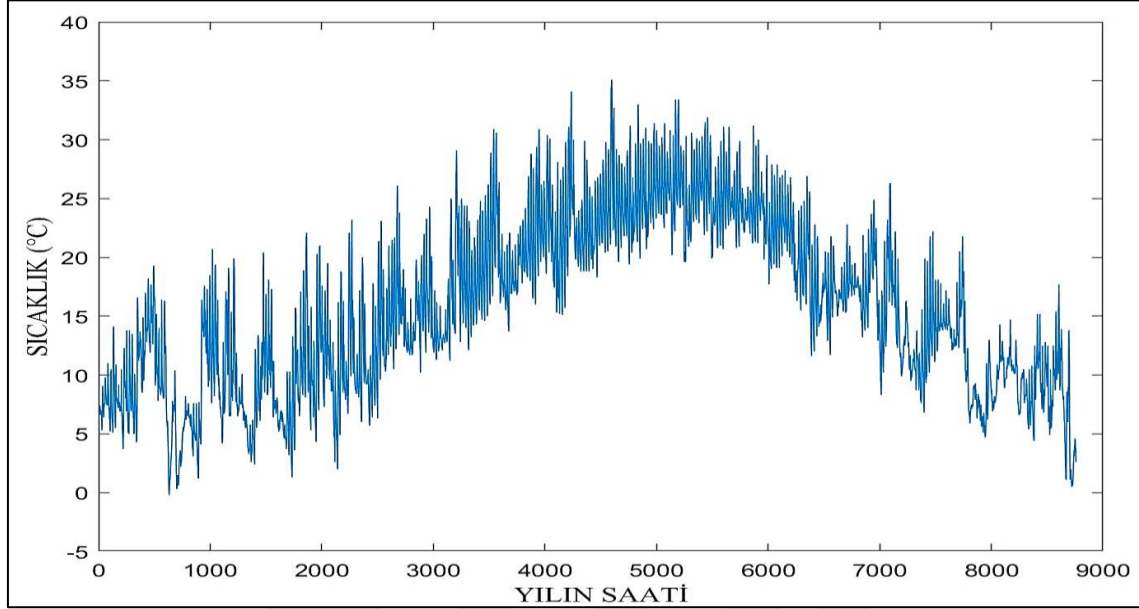
Çizelge 7.9. İstanbul ili meteorolojik verileri [90]

İSTANBUL	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929 - 2020)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	6,9	7,9	10,0	13,7	18,7	23,4	25,8	26,0	22,5	17,4	13,4	9,2	16,2
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	10,3	11,6	14,4	19,1	23,9	28,5	30,9	31,3	27,5	21,7	17,5	12,8	20,8
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	4,1	5,0	6,5	9,6	14,5	19,3	21,6	22,1	18,7	14,1	10,3	6,3	12,7
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2,4	3,2	4,4	6,1	8,3	10,2	10,9	10,1	8,1	5,5	3,6	2,5	6,3
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	16,6	15,0	14,1	9,6	9,4	7,2	3,6	3,8	7,6	11,0	10,6	16,6	125,1
Ölçüm Periyodu (1929 - 2020)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	22,4	23,4	28,6	31,2	35,4	38,9	38,6	38,1	39,6	32,4	26,7	25,0	39,6
En Düşük Sıcaklık (°C)	-4,6	-5,1	-2,2	3,3	6,6	13,6	16,5	15,9	12,1	2,5	3,4	-1,5	-5,1

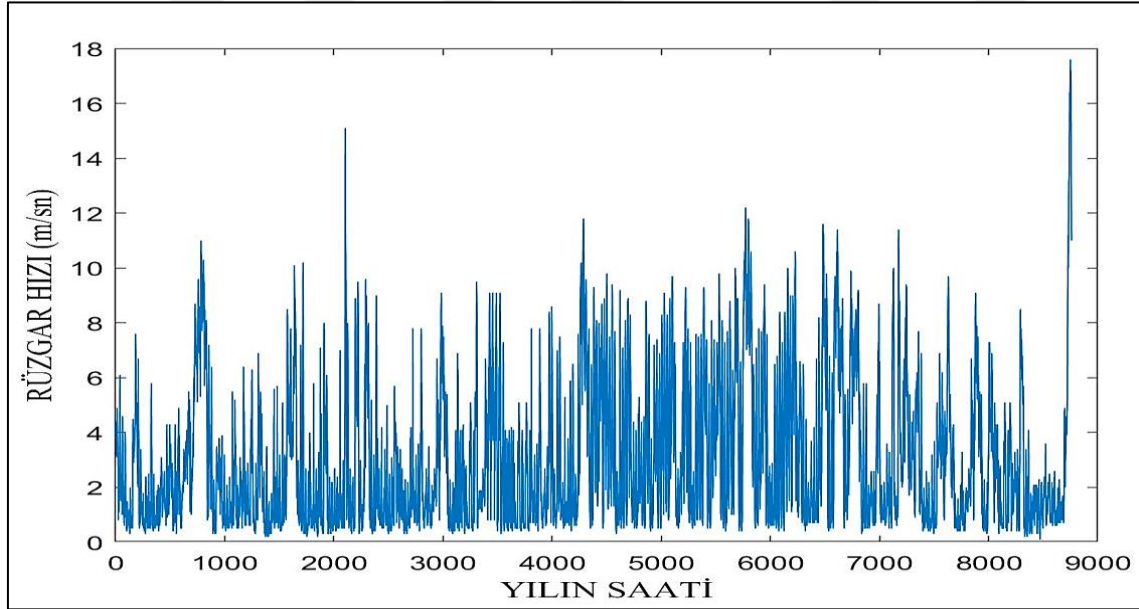
Isı kazancı hesaplaması

Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilen 2014 yılına ait saatlik hava sıcaklığı, saatlik rüzgâr hızı verileri kullanılarak ve yatay zemine gelen güneş ışıınım miktarı hesaplanmak suretiyle ekipmanlar tarafından 2000W sabit ısı üretimi olan bir telekomünikasyon baz

istasyonu kabini Matlab Programı ile yapay sinir ağıları kullanılmak suretiyle modellenmiştir.



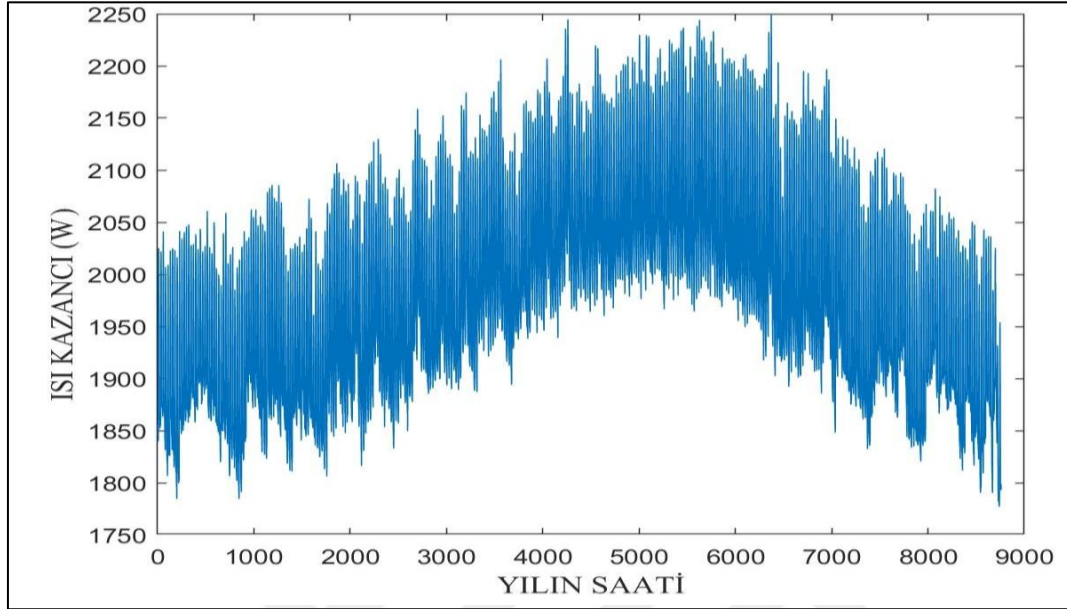
Şekil 7.17. İstanbul ili 2014 yılı dış hava sıcaklığı grafiği



Şekil 7.18. İstanbul ili rüzgâr hızı grafiği

İstanbul ili için dış hava sıcaklığı, rüzgâr hızı ve konum bilgileri girildiğinde yapay sinir ağıları üzerinde yapılan modelleme sonucunda Şekil 7.19 elde edilmiştir. Grafikte görüleceği üzere en büyük ısı kazancı 2250W olarak bulunmuştur. Bulunan ısı kazancı değerine

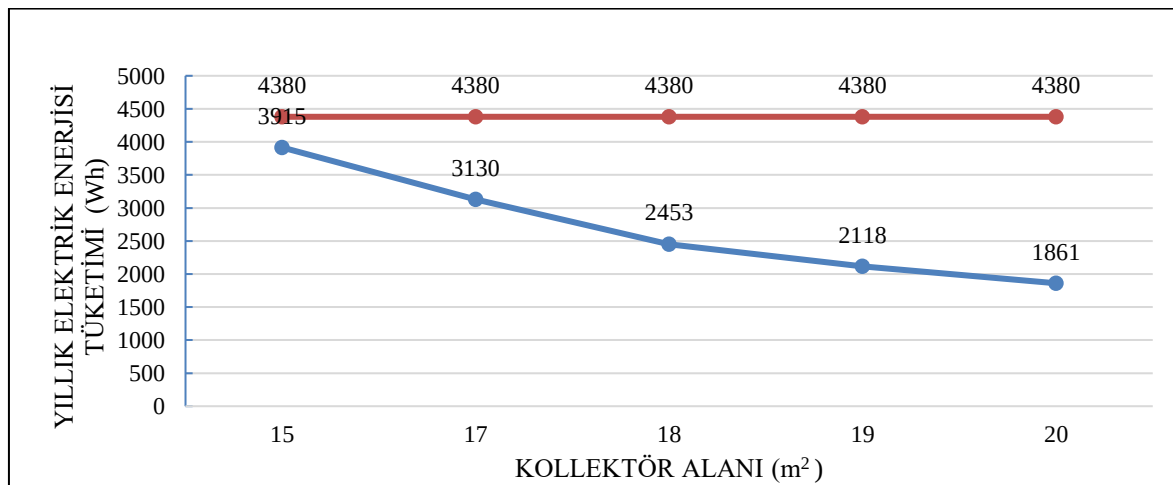
istinaden Güneş destekli soğutma sisteminin kapasitesi bu değere uyumlu olarak 2300W olarak seçilmiştir.



Şekil 7.19. İstanbul ilinde bulunan kabinin ısı kazancı grafiği

Güneş kolektörü alanı

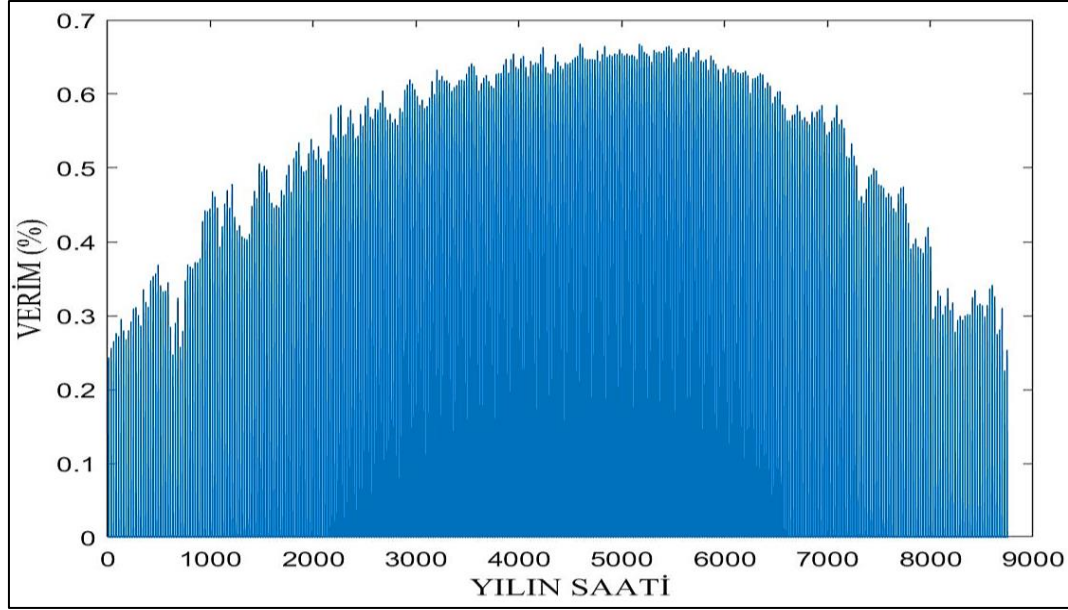
Soğutucu depolama sistemine sahip bir güneş kaynaklı serbest soğutma destekli soğurmalı soğutma sistemi değişik kollektör alanları kullanılarak elektrik tüketimi hesaplanmıştır. Bu hesaplama sonucunda ortaya çıkan değerler ile mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi referans alınarak karşılaştırma yapılmış olup Şekil 7.20’de gösterilmektedir.



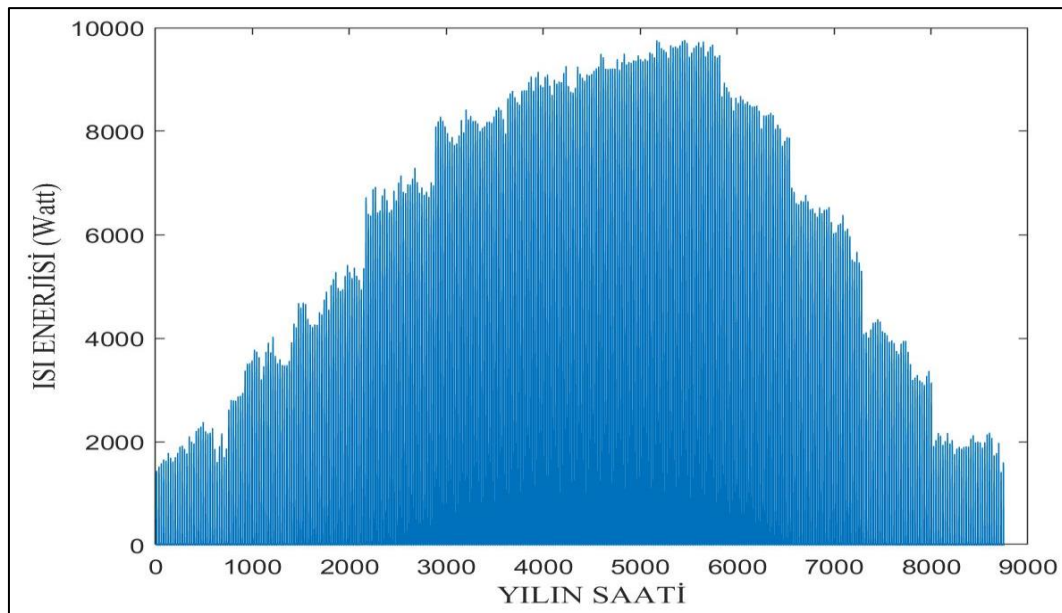
Şekil 7.20. İstanbul ili için soğutucu akışkanlı depolama sisteminde elektrik tüketimi ile güneş kolektör alanı ilişkisi

Şekil 7.19 da bulunan grafik incelendiğinde güneş kolektörü alanının 20 m² olmasının ilk yatırım maliyeti ve işletme maliyeti açısından uygun olacaktır.

20 m² vakum tüplü güneş kolektörü kullanıldığında hesaplanan güneş ışınlam değeri ile dış hava sıcaklığı birlikte hesaplanan güneş kolektörünün verimi Şekil 7.20’de gösterilmiştir. Yaz aylarında ışınlam şiddetine bağlı olarak verimin %60 üzerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 7.21. İstanbul ili güneş kolektörünün verimi

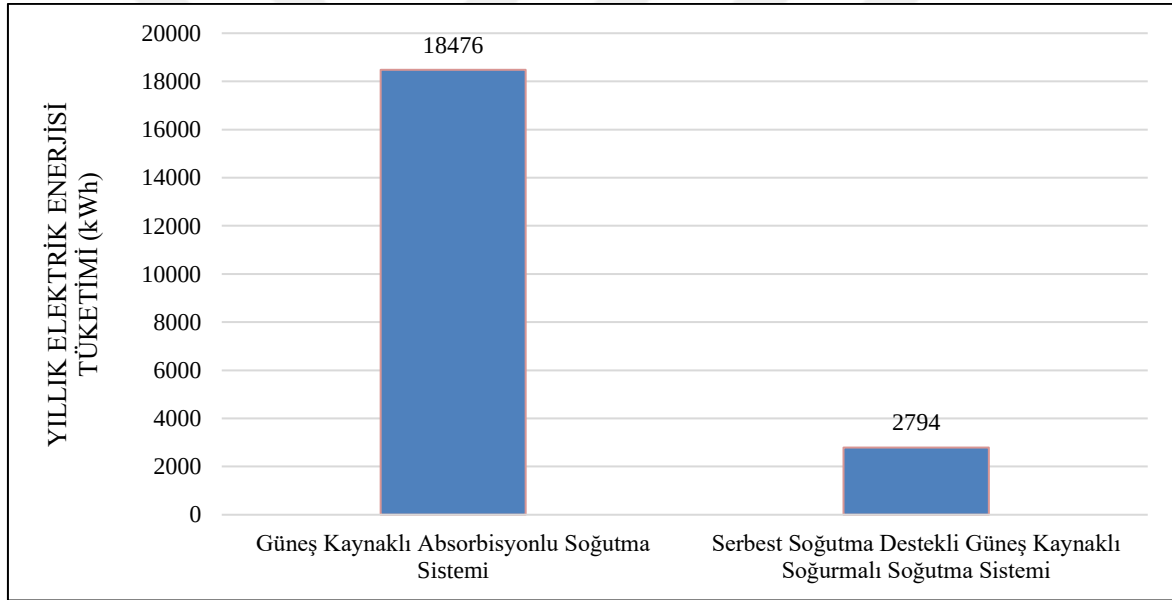


Şekil 7.22. İstanbul ili Güneş kolektörünün toplamış olduğu enerji miktarı

Şekil 7.22’ de belirlenen alana sahip kolektör tarafından toplanan ısı enerjisi miktarı görülmektedir.

Serbest soğutma sistemi

2014 yılı meteorolojik verileri ile yapılan hesaplamada İstanbul ili için serbest soğutma sisteminin devreye alınmaması ve devreye alınması durumunda soğutma sisteminin elektrik enerjisi tüketimi Şekil 7.23’de verilmiştir. Bu değerlere bakılarak enerji tüketimi yıllık 18476 kWh seviyesinden yaklaşık %85 lık bir azalma ile 2794 seviyesine kadar gerilemiştir. Serbest soğutma sisteminin soğutma sistemi üzerindeki etkisi oldukça büyük olduğu görülmektedir.

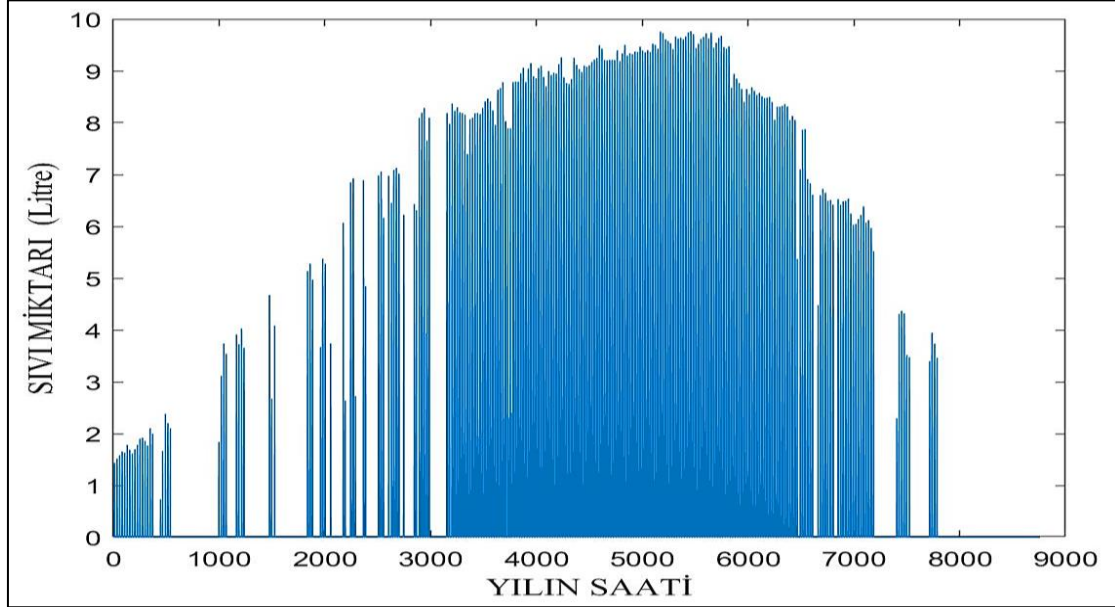


Şekil 7.23. İstanbul ili için serbest soğutma destekli sistem ile serbest soğutma olmayan sistemin elektrik tüketimi kıyaslaması

Soğutucu depolama tankı

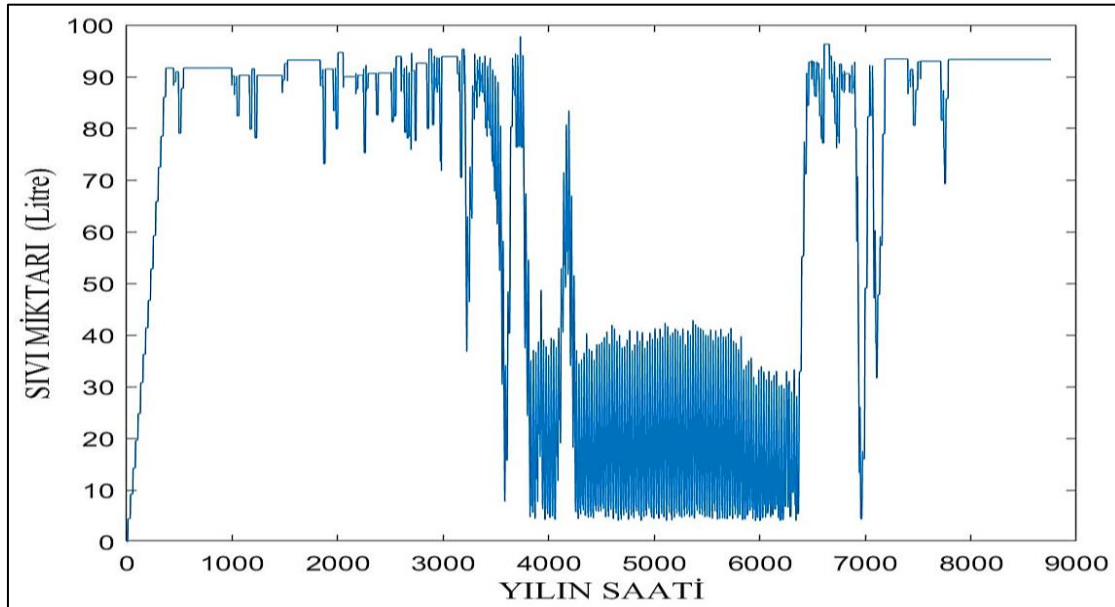
Sistemde kullanılan soğutucu sıvı için depolama tank hacmi 90 litre olarak hesaplanmıştır. Sistemde güneş ışınımının yeterli olduğu zaman diliminde üretilen soğutucu sıvı miktarı sistemin soğutulması için gereken soğutucu sıvı miktardan fazladır. Bu fazlalığın sebebi ise güneş ışınımının olmadığı sürede soğutma işlemi için soğutma sıvısının kullanımıdır. Sistem tarafından üretilen sıvı miktarının zamana bağlı olarak değişim grafiği Şekil 7.24’te

gösterilmiştir. Özellikle yaz aylarında güneşlenme süresinin uzun olması ve güneş ışınımı şiddetinin fazla olması sebebiyle saatlik üretilen soğutucu akışkanın miktarı artmaktadır.



Şekil 7.24. Üretilen soğutucu akışkanın zamana bağlı olarak değişimi

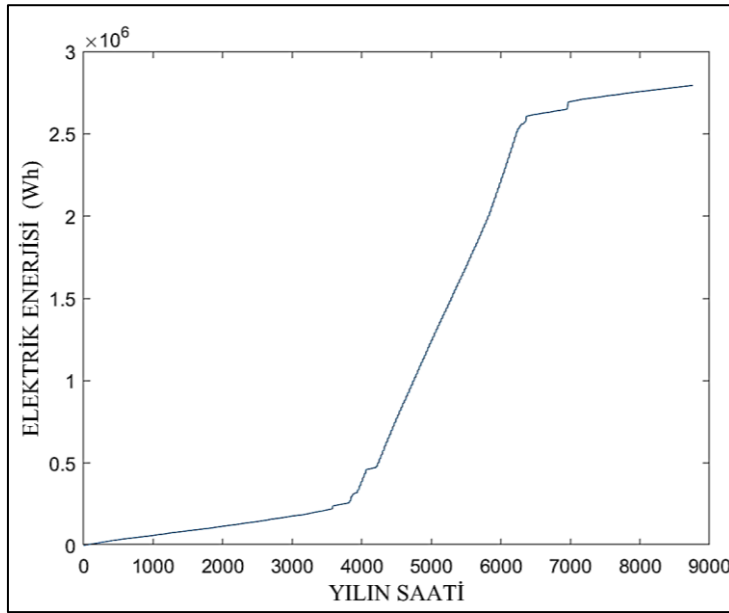
Soğutucu sıvı deposunda bulunan sıvının değişim grafiği Şekil 7.24 de verilmiştir.



Şekil 7.25. Soğutucu sıvı deposundaki sıvının zamana bağlı değişimi

Harcanan elektrik enerjisi

Elektrik enerjisi hesaplamasında soğurmalı soğutma sistemi çalışırken 150W civarında güç tükettiği hesaplanmıştır. Bu tüketimin 50W gücünde miktarı fancoil tarafından harcanmakta geriye kalan 100W sistemin pompası ve güneş kolektörünün pompası tarafından harcanmaktadır. Şekil 7.26’ da soğurmalı soğutma sisteminin elektrik enerjisi tüketimi kümülatif olarak verilmiştir.



Şekil 7.26. Tasarlanan soğutma sisteminin harcadığı elektrik miktarı

Ayrıca güneş kolektörünce yeterli ısı enerjisi üretimi olmadığı ve soğurmalı soğutma sisteminin çalışması gerektiği zamanda kaynatıcı içerisinde bulunan rezistans yardımıyla soğutma sistemi çalışır halde tutulmaktadır. Dış hava sıcaklığı 18°C altında olması durumunda serbest soğutma sistemi devreye girecektir.

Maliyet hesabı

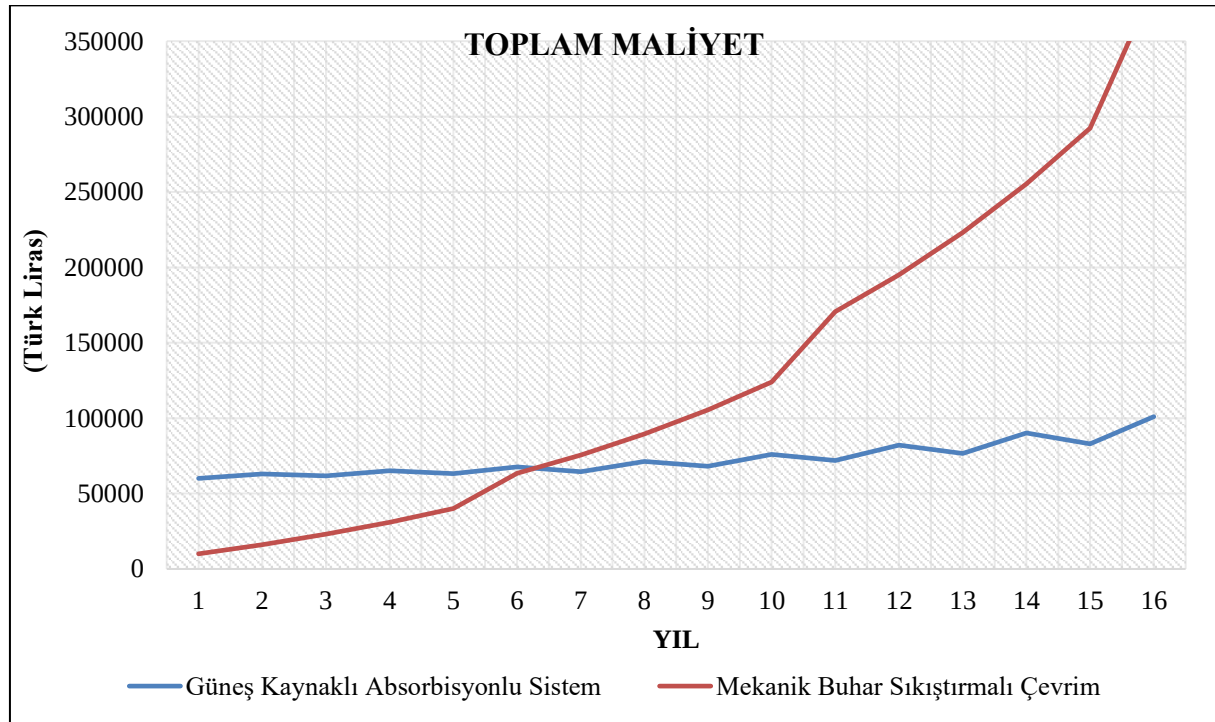
Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi sürekli çalıştığından dolayı pratikte 5 yılda bir yenilenmektedir. Soğurmalı soğutma sisteminde korozyonlar nedeniyle cihaz ömrü yaklaşık 20 yıl olmaktadır [56]. Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi ile güneş destekli soğurmalı soğutma sistemi ve serbest soğutma sisteminin kurulum maliyetleri Çizelge 7.8’de verilmiştir. Ayrıca fan pervanesi yüzeyine yapışan tozların pervanenin balansının bozulacağı dolayısıyla fan sisteminin bozulacağı göz önüne alınarak maliyet hesabında

yaklaşık 2 yılda bir değiştirildiği hesaplanmıştır. LiBr-H₂O karışımı kullanan soğurmalı soğutma sisteminin korozyon sorunlarından dolayı yaklaşık 20 yıl çalışacağı tahmin edilmektedir [56][91]. Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi ile güneş destekli soğurmalı soğutma sistemi ve serbest soğutma sisteminin kurulum maliyetleri 2021 yılı Mart ayı fiyatlarına göre hesaplanmış ve Çizelge 7.10’da verilmiştir.

Çizelge 7.10. Sistem kurulum yaklaşık maliyetleri

Cihaz	Yaklaşık Maliyet (Türk Lirası)
Soğurmalı Soğutma Sistemi (Chiller+Güneş Kolektörü+ Fan Coil)	56850 TL
Serbest Soğutma	1500 TL
Toplam Maliyet	58350 TL
Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma Sistemi	5500 TL

Şekil 7.26 de görüleceği üzere serbest soğutma destekli güneş kaynaklı Soğurmalı soğutma sistemi ile mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi kıyaslandığında yaklaşık 6,3 yıl gibi bir süre sonunda yatırım maliyetleri ve işletme maliyetleri eşitlenmektedir.



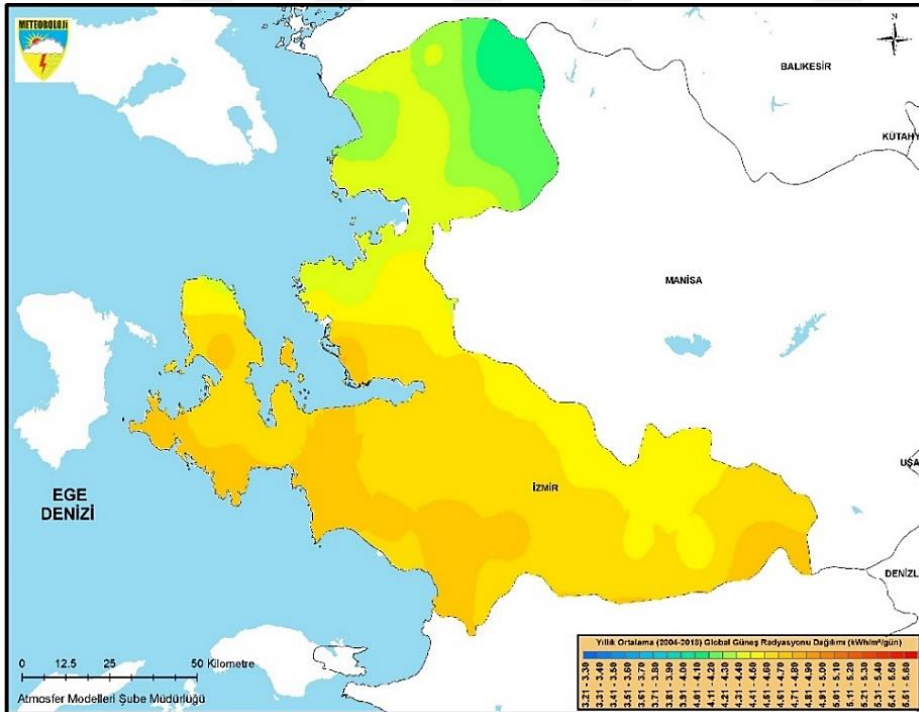
Şekil 7.27. Soğutma sistemlerinin toplam giderlerinin kıyaslaması

7.1.12. İzmir ili uygulaması

Güneş kaynaklı soğurmalı soğutma sisteminin tasarım parametrelerinin belirlenmesinin ardından çeşitli iller için sistemin kullanışlılığı bilgisayar ortamında sınanmıştır. Başlık alt bölümde İzmir ili için temin edilen meteorolojik veriler kullanılarak sistemin geçerliliği test edilmiştir.

İzmir ilinin coğrafi ve iklimsel özellikleri

İzmir ili 38,41 enlem ve 27,13 boylam derecelerinde yer alan ve yaklaşık 29 metre rakıma sahip ilimizdir. İzmir ili TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardına göre derece-gün olarak yapılan sınıflandırmada 1. bölgede yer almaktadır. İzmir ilinin kış aylarında sıcaklık ortalaması yaklaşık 9,6 °C olmaktadır. Yaz aylarında ise sıcaklık ortalaması yaklaşık 26,9°C olmaktadır [89]. Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından yapılan ölçümler sonucunda İzmir ilinde aylık en yüksek ortalama Güneş ışıınım miktarının 7,036 kWh/m² ile Temmuz ayında olduğu görülmüştür [90].



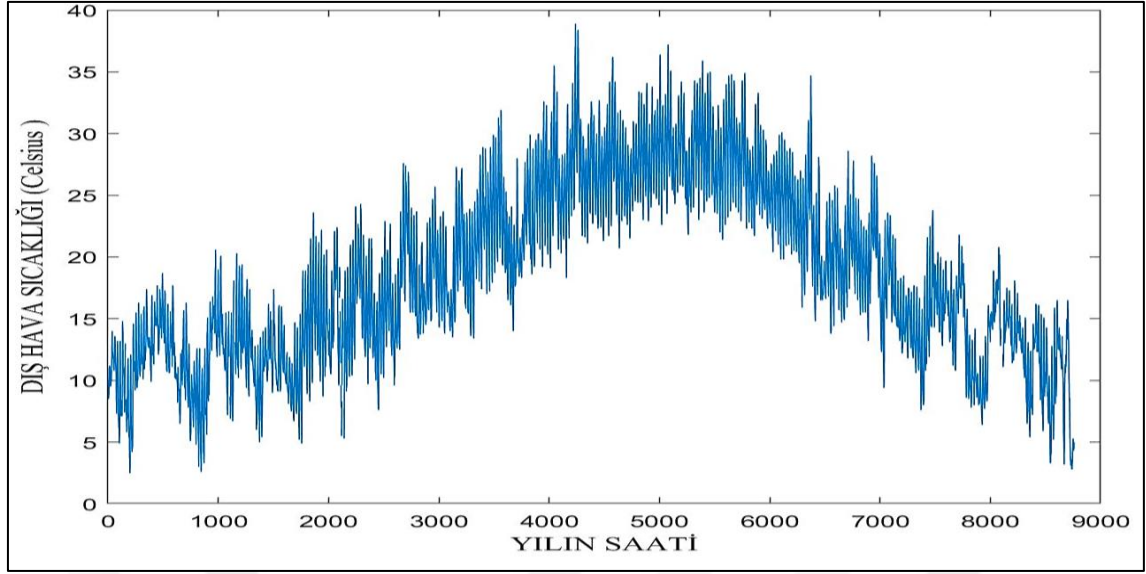
7.11 de verilmiştir. Çizelgeye bakıldığında 18°C ortalama sıcaklığın üzerinde Nisan, Mayıs Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarının olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.11. İzmir ili meteorolojik ölçüm istatistiği [89]

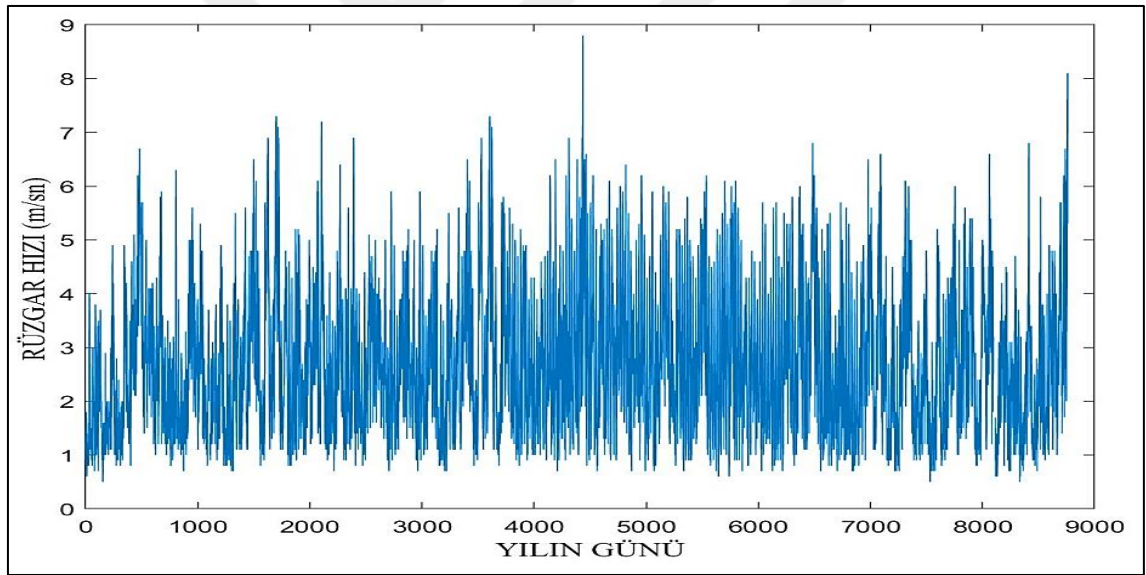
İZMİR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
	Ölçüm Periyodu (1938 - 2020)												
Ortalama Sıcaklık (°C)	8.8	9.6	11.7	15.8	20.7	25.3	27.9	27.6	23.7	18.9	14.2	10.5	17.9
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	12.4	13.6	16.3	20.9	26.1	30.7	33.2	32.9	29.2	24.0	18.6	14.0	22.7
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	5.7	6.2	7.7	11.1	15.4	19.8	22.4	22.3	18.7	14.6	10.7	7.5	13.5
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	4.3	5.2	6.4	8.0	9.8	11.6	12.3	11.9	10.1	7.6	5.6	4.2	8.1
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	14.0	11.7	10.7	9.1	7.0	3.5	0.7	0.9	2.7	6.6	10.1	14.4	91.4
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	135.0	101.9	75.4	46.1	31.8	12.0	4.1	5.6	15.5	44.8	92.6	145.7	710.5
	Ölçüm Periyodu (1938 - 2020)												
En Yüksek Sıcaklık (°C)	22.4	27.0	30.5	32.5	37.6	41.3	42.6	43.0	40.1	36.0	30.3	25.2	43.0
En Düşük Sıcaklık (°C)	-8.2	-5.2	-3.8	0.6	4.3	9.5	15.4	11.5	10.0	3.6	-2.9	-4.7	-8.2

Isı kazancı hesaplaması

Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilen 2014 yılına ait saatlik hava sıcaklığı, rüzgâr hızı ve yatay zemine gelen radyasyon verileri kullanılarak ekipmanların 2000W ısı üretimi olan bir telekomünikasyon baz istasyonu kabini Matlab Programı ile yapay sinir ağları kullanılmak suretiyle modellenmiştir.

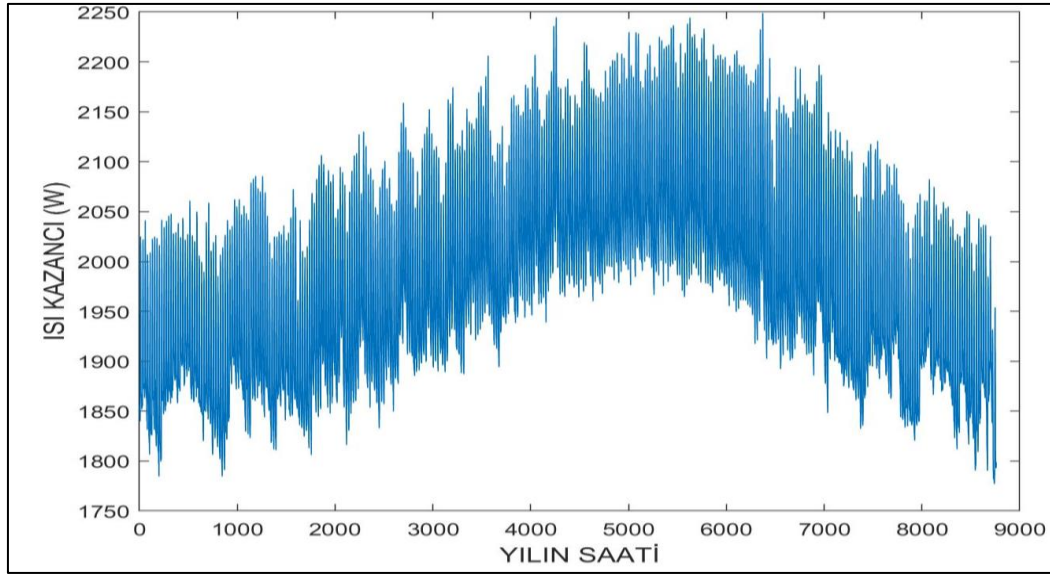


Şekil 7.28. İzmir ili 2014 yılı dış hava sıcaklığı



Şekil 7.29. İzmir ili 2014 yılı dış hava ölçülen rüzgâr hızı

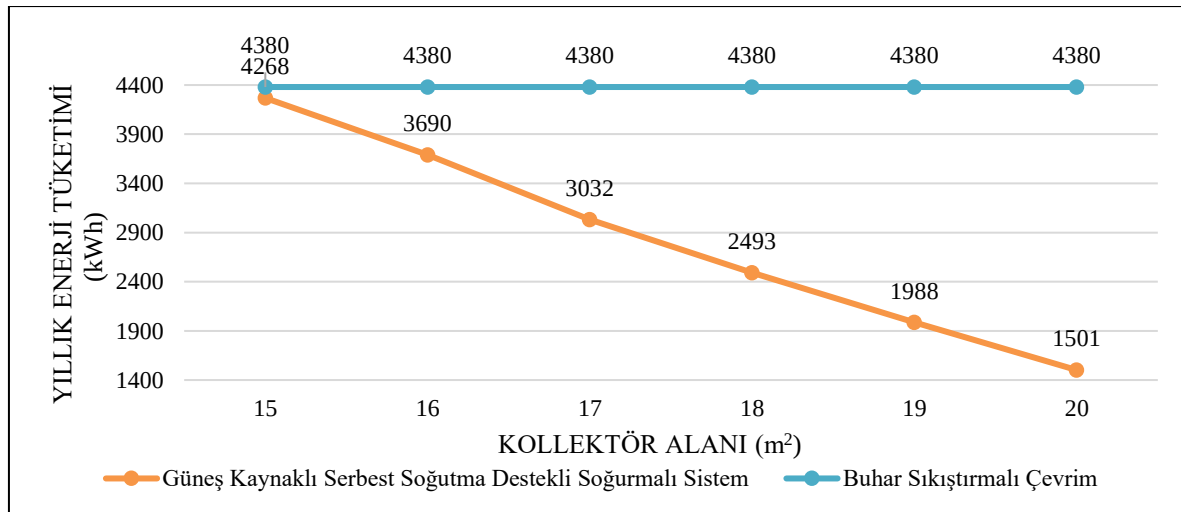
Yapay sinir ağları üzerinde yapılan modelleme sonucunda hesaplanan saatlik ısı kazançları Şekil 7.30’da gösterilmiştir. Grafikte görüleceği üzere en büyük ısı kazancı 2250W olarak bulunmuştur. Bulunan ısı kazancı değerine istinaden Güneş destekli soğutma sisteminin kapasitesi bu değere uyumlu olarak 2300W olarak seçilmiştir.



Şekil 7.30. Hesaplanan baz istasyonu kabin ısı kazancı

Güneş kolektörü alanı

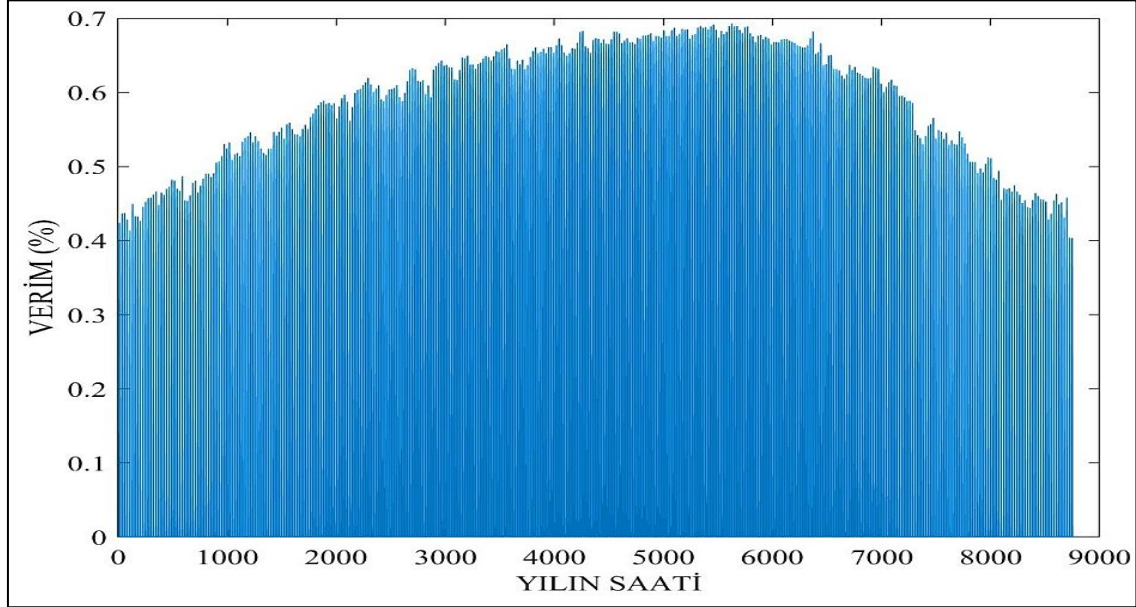
Soğutucu depolama sistemine sahip bir güneş kaynaklı serbest soğutma destekli soğurmalı soğutma sistemi değişik kollektör alanları kullanılarak elektrik tüketimi hesaplanmıştır. Bu hesaplama sonucunda ortaya çıkan değerler ile mekanik buhar sıkıştırma soğutma sistemi referans alınarak karşılaştırma yapılmış olup Şekil 7.31 da gösterilmektedir.



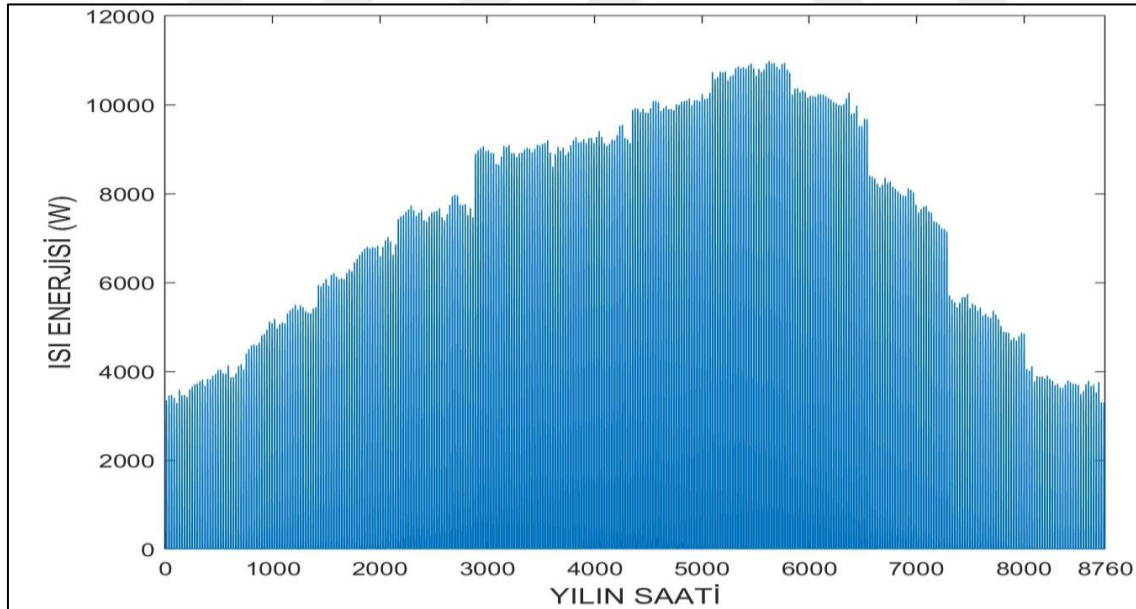
Şekil 7.31. İzmir ili için soğutucu akışkanlı depolama sisteminde elektrik tüketimi ile güneş kolektör alanı ilişkisi

Şekil 7.30 daki grafiğe bakıldığında İzmir ili için güneş kolektörü alanı 18 m² olarak uygulanması değerlendirilmiştir. Güneş kolektörünün dış hava koşulları altında verimi Şekil

7.32’de ve 18 m² alana sahip güneş kolektörü tarafından toplanabilecek enerji miktarı Şekil 7.33’ te gösterilmiştir.



Şekil 7.32. Güneş kolektörünün verimi

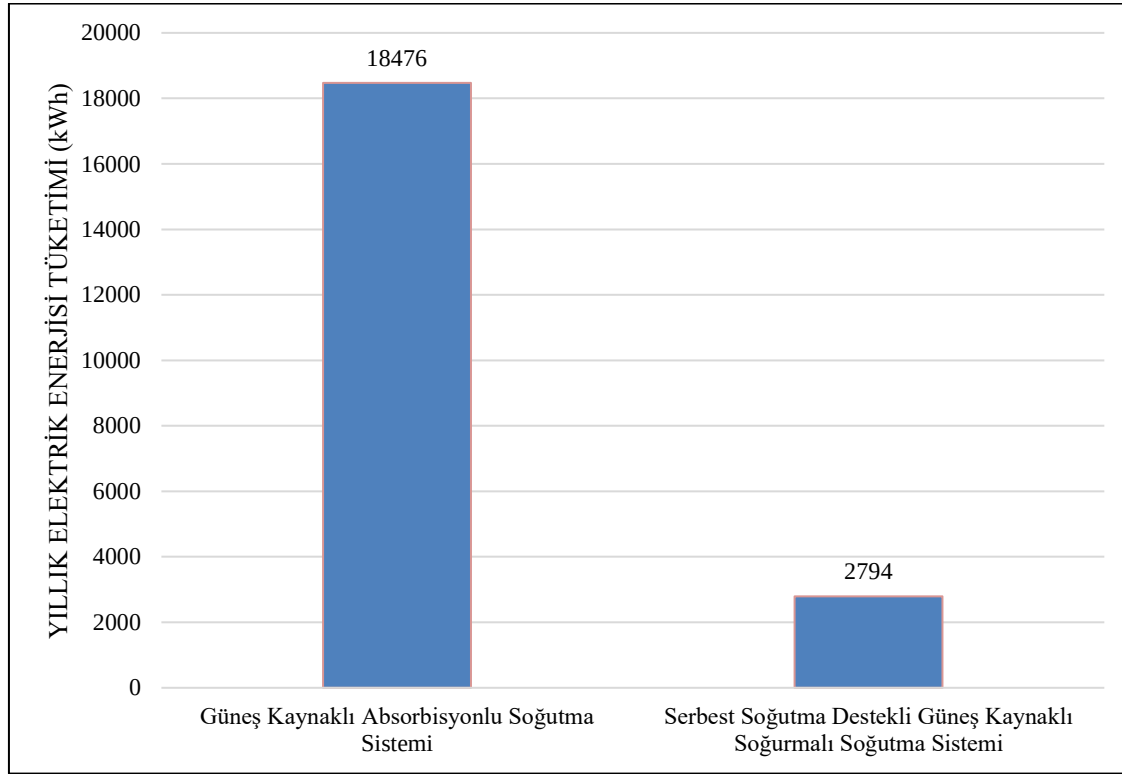


Şekil 7.33. Güneş kolektörünün toplamış olduğu enerji miktarı

Serbest soğutma sistemi

İzmir ili için serbest soğutma sisteminin devreye alınmaması ve devreye alınması durumunda soğutma sisteminin elektrik enerjisi tüketimi Şekil 7.34’te verilmiştir. Bu

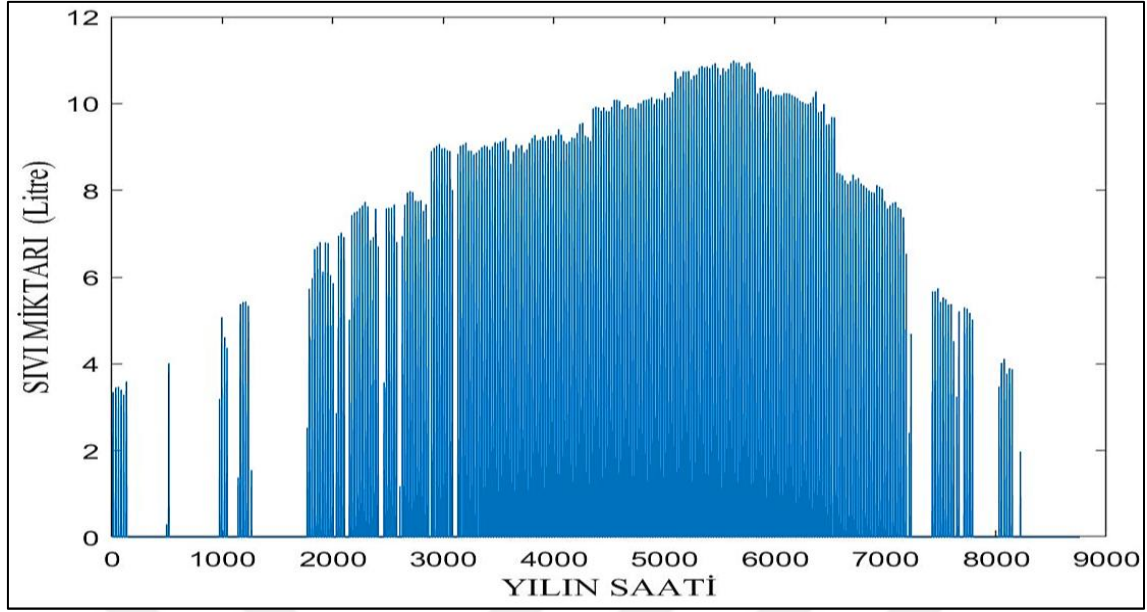
değerlere bakılarak enerji tüketimi yıllık 17564 kWh seviyesinden yaklaşık %86 lık bir azalma ile 2494 seviyesine kadar gerilemiştir. Serbest soğutma sisteminin soğutma sistemi üzerindeki etkisi oldukça büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 7.34. İzmir ili için serbest soğutma destekli sistem ile serbest soğutma olmayan sistemin elektrik tüketimi kıyaslaması

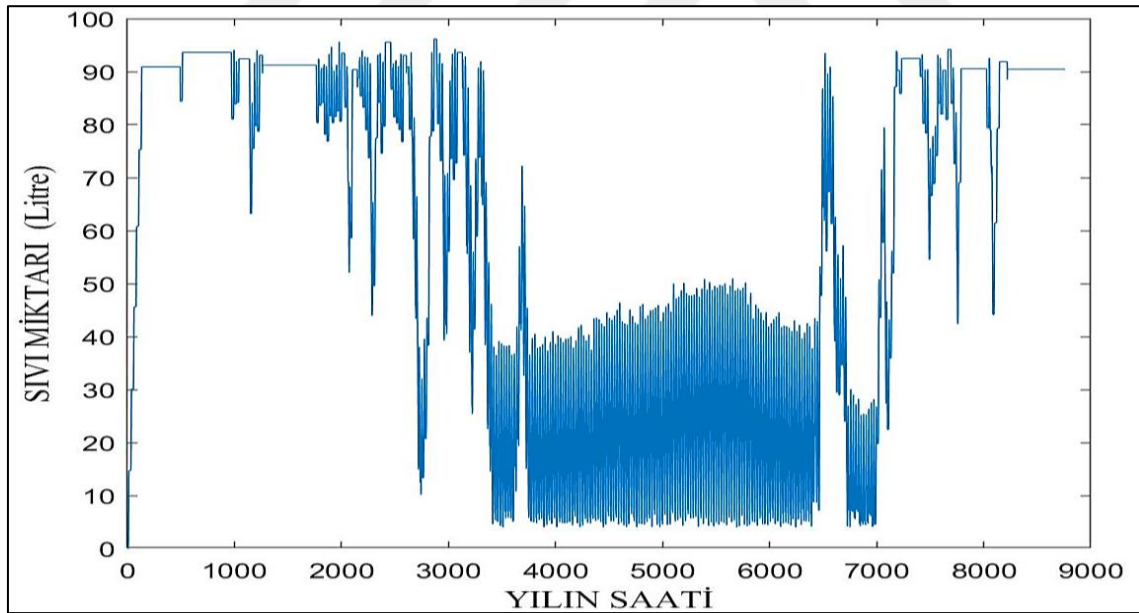
Soğutucu depolama tankı

Sistemde kullanılan soğutucu sıvı için depolama tank hacmi 90 litre olarak hesaplanmıştır. Sistemde güneş ışıınının yeterli olduğu zaman diliminde üretilen soğutucu sıvı miktarı sistemin soğutulması için gereken soğutucu sıvı miktardan fazladır. Bu fazlalığın sebebi ise güneş ışıınınının olmadığı sürede soğutma işlemi için soğutma sıvısının kullanımıdır. Sistem tarafından üretilen sıvı miktarının zamana bağlı olarak değişim grafiği Şekil 7.35'te gösterilmiştir. Özellikle yaz aylarında güneşlenme süresinin uzun olması ve güneş ışıınınını şiddetinin fazla olması sebebiyle saatlik üretilen soğutucu akışkanım miktarı artmaktadır.



Şekil 7.35. Üretilen soğutucu akışkanın zamana bağlı olarak değişimi

Soğutucu sıvı deposunda bulunan sıvının değişim grafiği Şekil 7.36' da verilmiştir.

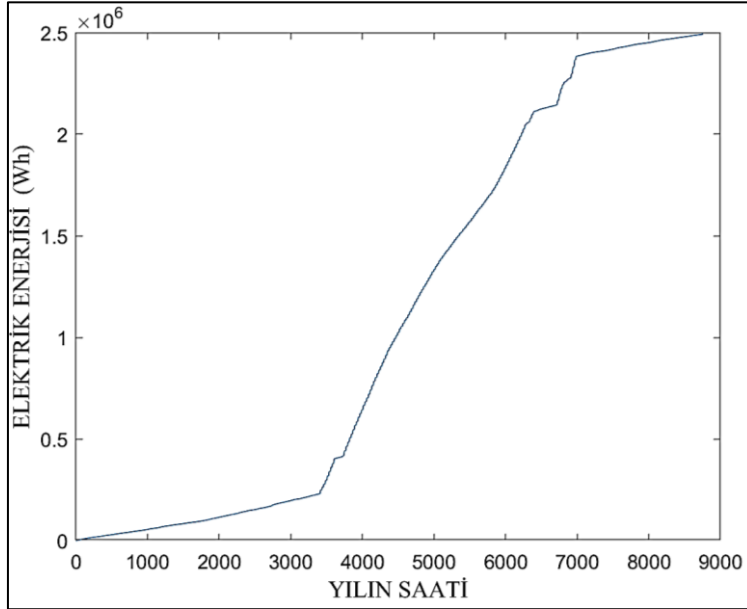


Şekil 7.36. Güneş kolektörünün toplamış olduğu enerji miktarı

Harcanan elektrik enerjisi miktarı

Elektrik enerjisi hesaplamasında soğurmalı soğutma sistemi çalışırken 150W civarında güç tükettiği hesaplanmıştır. Bu tüketimin 50W gücünde miktarı fancoil tarafından harcanmakta geriye kalan 100W sistemin pompası ve güneş kolektörünün pompası tarafından

harcanmaktadır. Şekil 7.37’ de soğurmalı soğutma sisteminin elektrik enerjisi tüketimi kümülatif olarak verilmiştir.



Şekil 7.37. Tasarlanan soğutma sisteminin harcadığı elektrik miktarı

Ayrıca güneş kolektörünce yeterli ısı enerjisi üretimi olmadığı zamanda kaynatıcı içerisinde bulunan rezistans yardımıyla soğutma sistemi çalışır halde tutulmaktadır. Dış hava sıcaklığı 18°C altında olması durumunda serbest soğutma sistemi devreye girecektir.

Maliyet hesabı

Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi sürekli çalıştığından dolayı pratikte 5 yılda bir yenilenmektedir. Soğurmalı soğutma sisteminde korozyonlar nedeniyle cihaz ömrü yaklaşık 20 yıl olmaktadır [56]. Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi ile güneş destekli soğurmalı soğutma sistemi ve serbest soğutma sisteminin kurulum maliyetleri Çizelge 7.8’de verilmiştir. Ayrıca fan pervanesi yüzeyine yapışan tozların pervanenin balansının bozulacağı dolayısıyla fan sisteminin bozulacağı göz önüne alınarak 2 yılda bir fan sisteminin değişimi maliyeti hesaplamaya eklenmiştir.

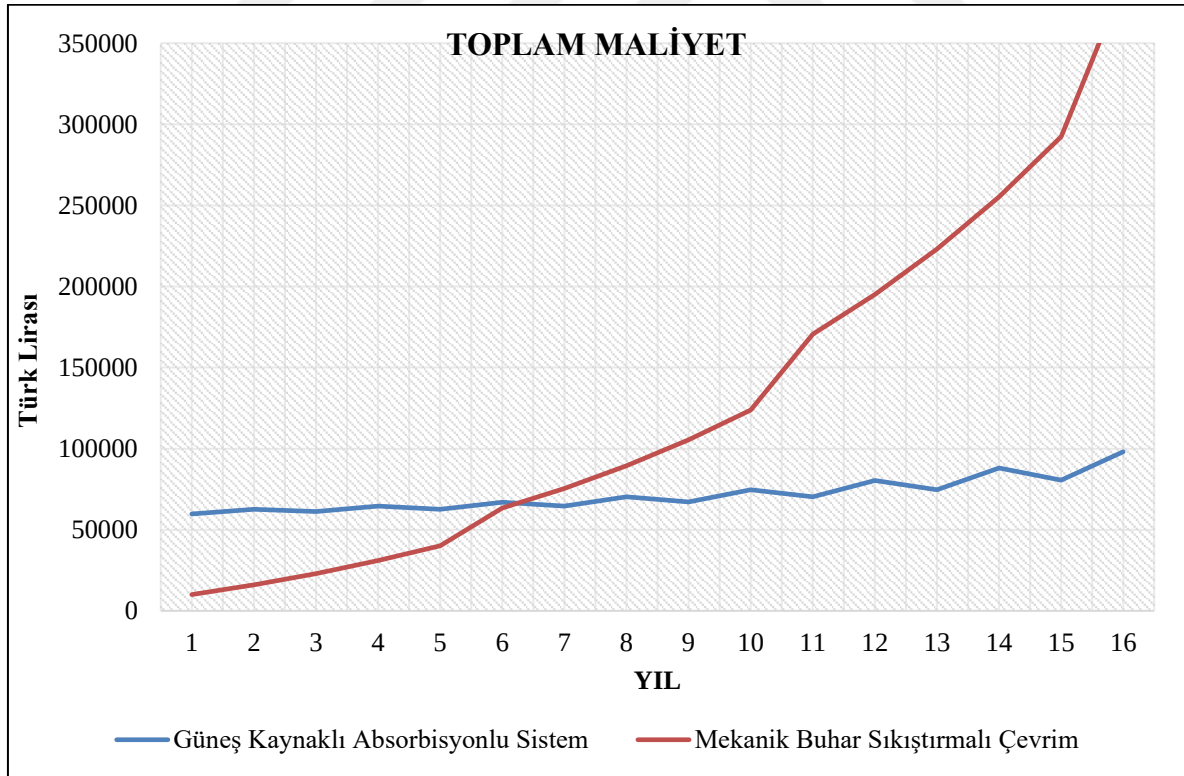
LiBr-H₂O karışımı kullanan soğurmalı soğutma sisteminin korozyon sorunlarından dolayı yaklaşık 20 yıl çalışacağı tahmin edilmektedir [56][91]. Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma

sistemi ile güneş destekli soğurmalı soğutma sistemi ve serbest soğutma sisteminin kurulum maliyetleri 2021 yılı Mart ayı fiyatlarına göre hesaplanmış ve Çizelge 7.12’de verilmiştir.

Çizelge 7.12. Sistem kurulum yaklaşık maliyetleri

Cihaz	Yaklaşık Maliyet (Türk Lirası)
Soğurmalı Soğutma Sistemi (Chiller+Güneş Kolektörü+ Fan Coil)	56850 TL
Serbest Soğutma	1500 TL
Toplam Maliyet	58350 TL
Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma Sistemi	5500 TL

Şekil 7.38’de görüleceği üzere serbest soğutma destekli güneş kaynaklı soğurmalı soğutma sistemi ile mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi kıyaslandığında yaklaşık 6,2 yıl gibi bir süre sonunda yatırım maliyetleri ve işletme maliyetleri eşitlenmektedir.



Şekil 7.38. Soğutma sistemlerinin toplam giderlerinin kıyaslaması

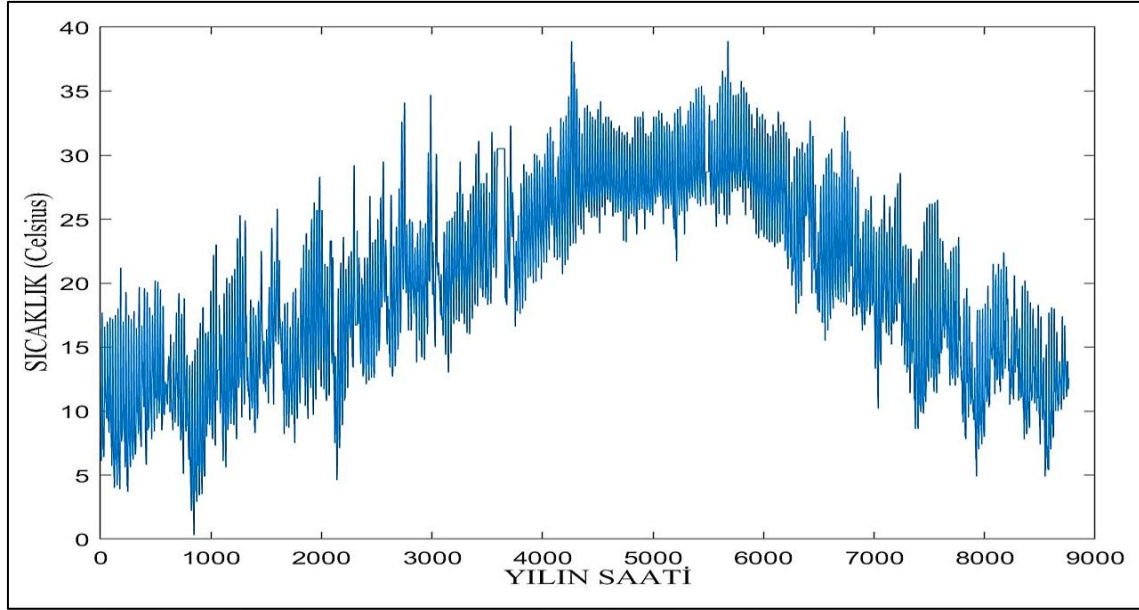
Meteoroloji genel müdürlüğü tarafından 1927 ile 2020 yılları arasında yapılan ölçümler sonucunda elde edilen en yüksek, en düşük ve aylık ortalama meteorolojik değerler Çizelge 7.13'te verilmiştir.

Çizelge 7.13. Adana ili hava durumu ölçüm istatistikleri [89]

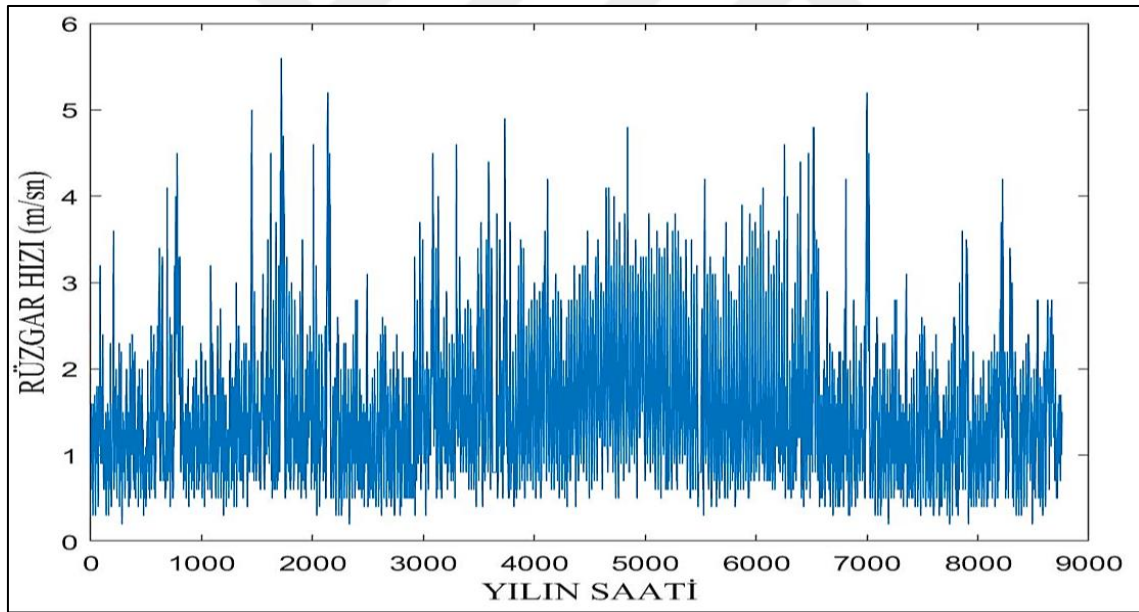
ADANA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929 - 2020)													
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	14.8	16.2	19.5	23.7	28.3	31.7	33.9	34.7	33.1	29.1	22.6	16.8	25.4
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	5.2	6.0	8.3	11.9	15.8	19.8	23.0	23.3	20.1	15.7	10.7	6.9	13.9
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	4.5	5.3	6.0	7.1	9.1	10.5	10.7	10.2	9.0	7.4	5.9	4.3	7.5
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.0	10.9	10.6	9.9	7.5	3.7	1.2	1.1	3.3	6.7	7.8	11.1	85.8
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	111.1	89.6	65.0	51.1	48.7	22.2	10.2	9.6	19.6	43.6	71.2	126.2	668.1
Ortalama Sıcaklık (°C)	9.5	10.5	13.4	17.5	21.8	25.6	28.2	28.7	26.1	21.7	15.9	11.2	19.2
En Yüksek Sıcaklık (°C)	26.5	28.5	32.0	37.5	41.3	42.8	44.4	45.6	45.1	41.5	34.3	30.8	45.6
En Düşük Sıcaklık (°C)	-8.1	-6.6	-4.9	-1.3	5.6	9.2	13.2	14.8	9.3	3.5	-4.3	-4.4	-8.1

Isı kazancı hesaplaması

Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilen 2014 yılına ait saatlik hava sıcaklığı, rüzgâr hızı ve yatay zemine gelen radyasyon verileri kullanılarak ekipmanları 2000W sabit ısı üretimi olan bir telekomünikasyon baz istasyonu kabini Matlab programı ile yapay sinir ağları kullanılmak suretiyle modellenmiştir.

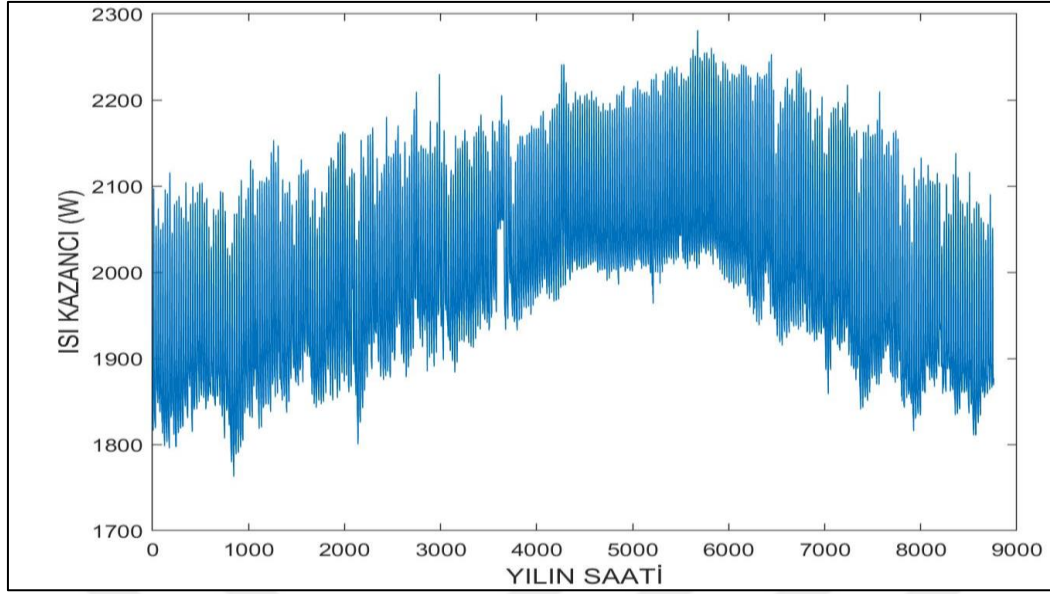


Şekil 7.39. Adana ili 2014 yılı dış hava sıcaklığı grafiği



Şekil 7.40. Adana ili 2014 yılı dış rüzgâr hızı grafiği

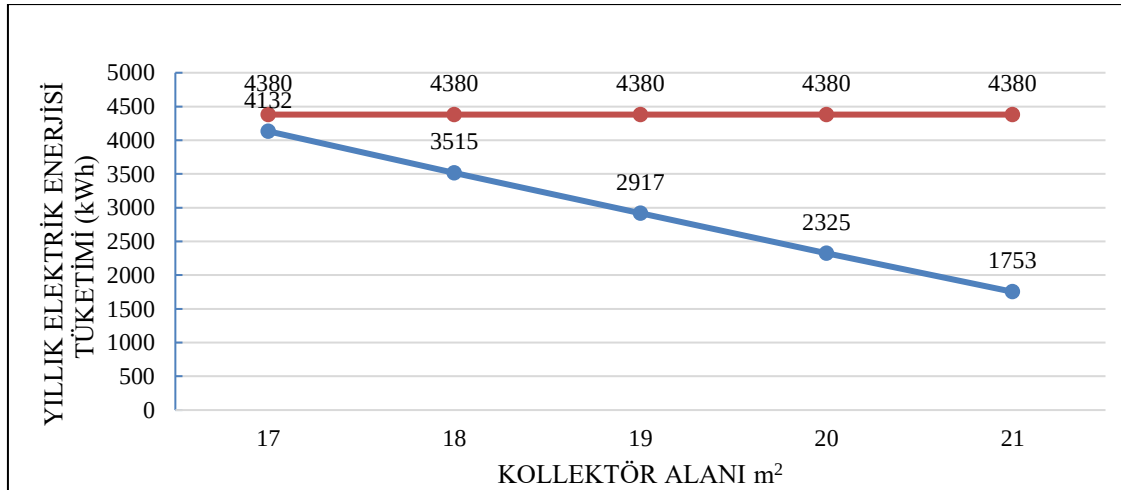
Adana ili için dış hava sıcaklığı, rüzgar hızı ve konum bilgileri girildiğinde yapay sinir ağları üzerinde yapılan modelleme sonucunda saatlik ısı kazancı hesaplanmış ve Şekil 7.41’de gösterilmiştir. Adana ili için telekomünikasyon baz istasyonu kabinin en büyük ısı kazancı 2281W olarak bulunmuştur. . Bulunan ısı kazancı değerine istinaden Güneş destekli soğutma sisteminin kapasitesi bu değere uyumlu olarak 2300W olarak seçilmiştir.



Şekil 7.41. Hesaplanan baz istasyonu kabin ısı kazancı

Güneş kolektörü alanı

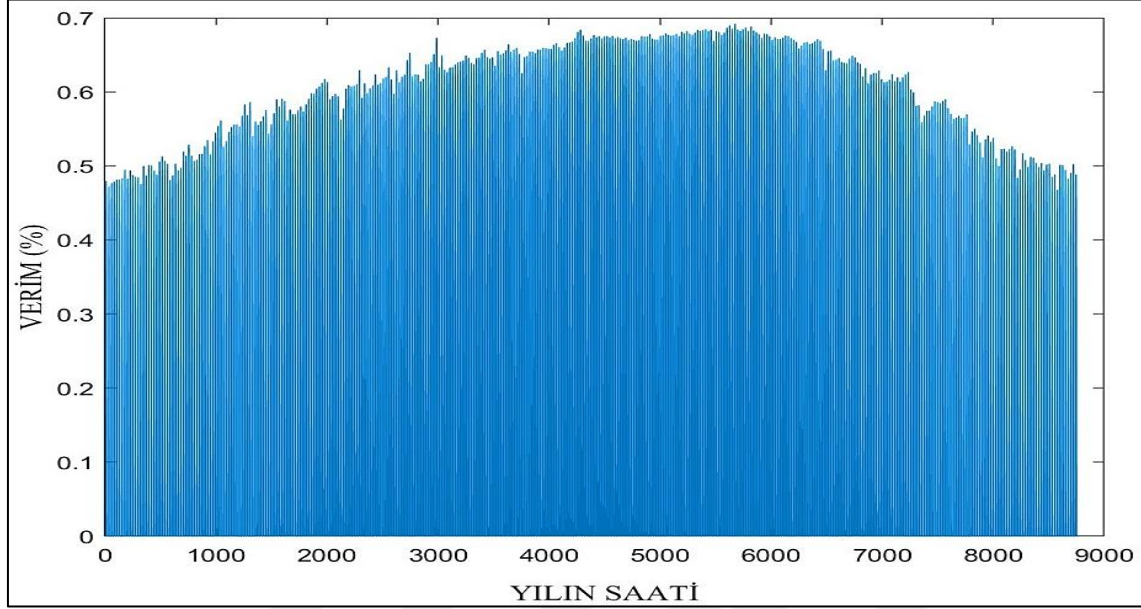
Soğutucu depolama sistemine sahip bir güneş kaynaklı serbest soğutma destekli soğurmalı soğutma sistemi değişik kollektör alanları kullanılarak elektrik tüketimi hesaplanmıştır. Bu hesaplama sonucunda ortaya çıkan değerler ile mekanik buhar sıkıştırma soğutma sistemi referans alınarak karşılaştırma yapılmış olup Şekil 7.41 de gösterilmektedir.



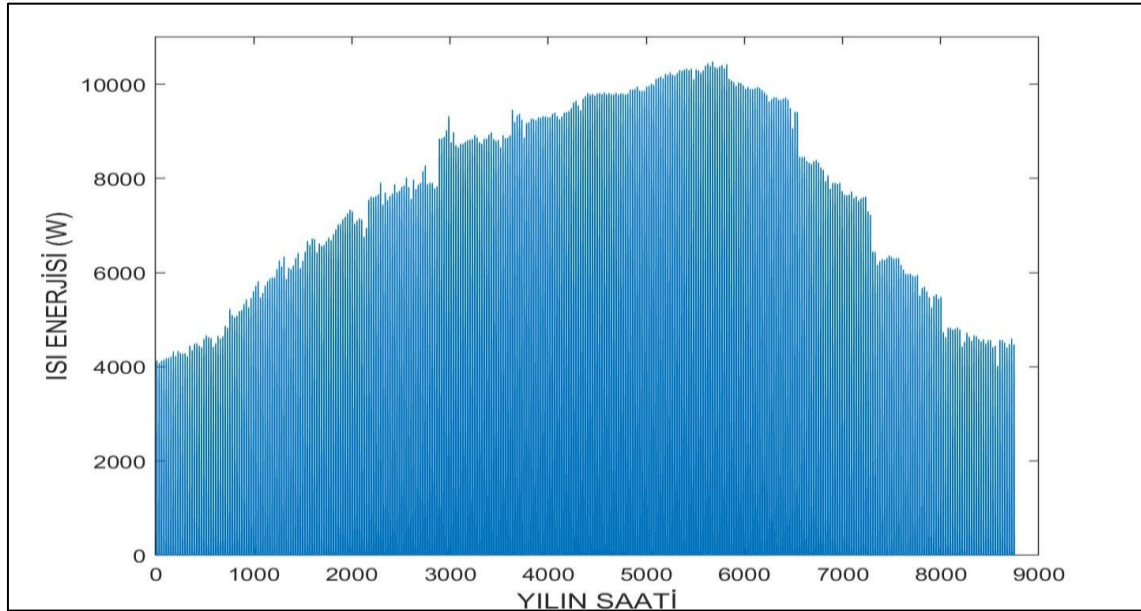
Şekil 7.42. Adana ili için soğutucu akışkanlı depolama sisteminde elektrik tüketimi ile güneş kolektör alanı ilişkisi

Şekil 7.41 deki grafik incelendiğinde güneş kolektörü alanının 20 m² olmasının ilk yatırım maliyeti ve işletme maliyeti açısından uygun olacaktır.

20 m² vakum tüplü güneş kolektörü kullanıldığında hesaplanan güneş ışıınım değeri ile dış hava sıcaklığı birlikte incelendiğinde güneş kolektörünün verimi Şekil 7.42 de gösterilmiştir. Kolektörün topladığı enerji miktarı ise Şekil 7.43 te verilmiştir.



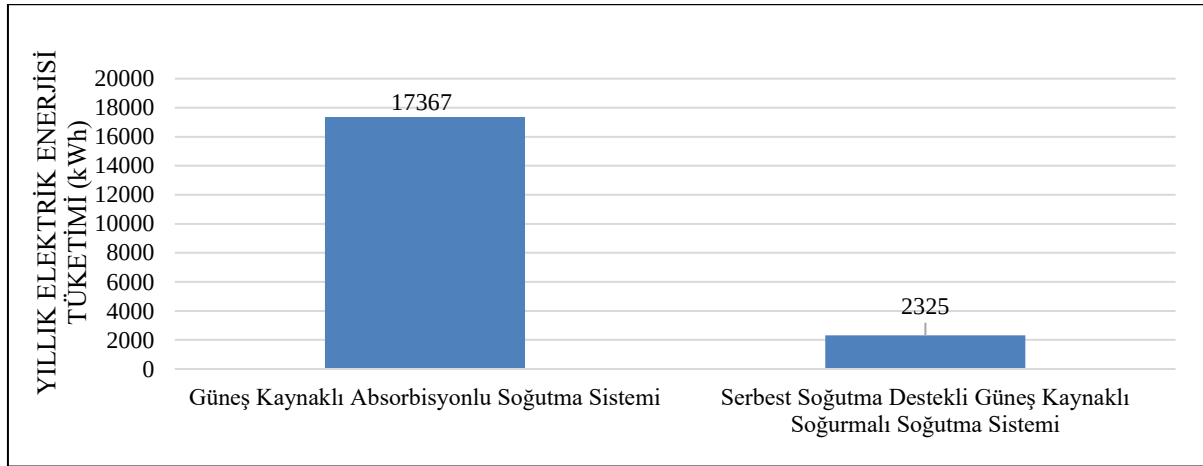
Şekil 7.43. Güneş kolektörü verimi



Şekil 7.44. Güneş kolektörünün toplamış olduğu enerji miktarı

Serbest soğutma sistemi

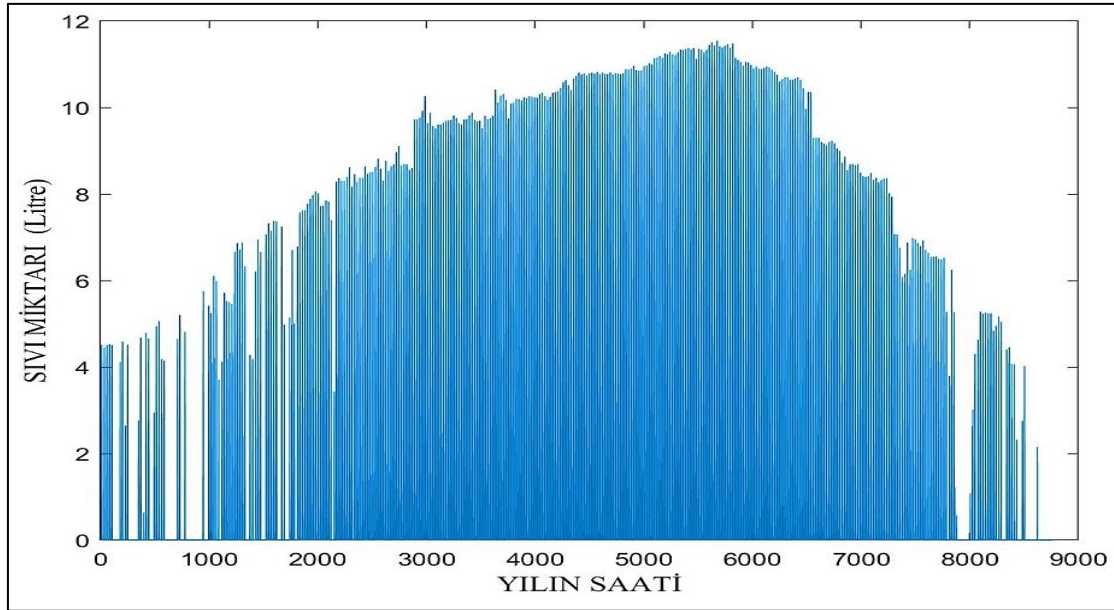
Adana ili için serbest soğutma sisteminin devreye alınmaması ve devreye alınması durumunda soğutma sisteminin elektrik enerjisi tüketimi Şekil 7.45'te verilmiştir. Bu değerlere bakılarak enerji tüketimi yıllık 17345 kWh seviyesinden yaklaşık %85 lık bir azalma ile 2325 seviyesine kadar gerilemiştir. Serbest soğutma sisteminin soğutma sistemi üzerindeki etkisi oldukça büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 7.45. Adana ili için serbest soğutma destekli sistem ile serbest soğutma olmayan sistemin elektrik tüketimi kıyaslaması

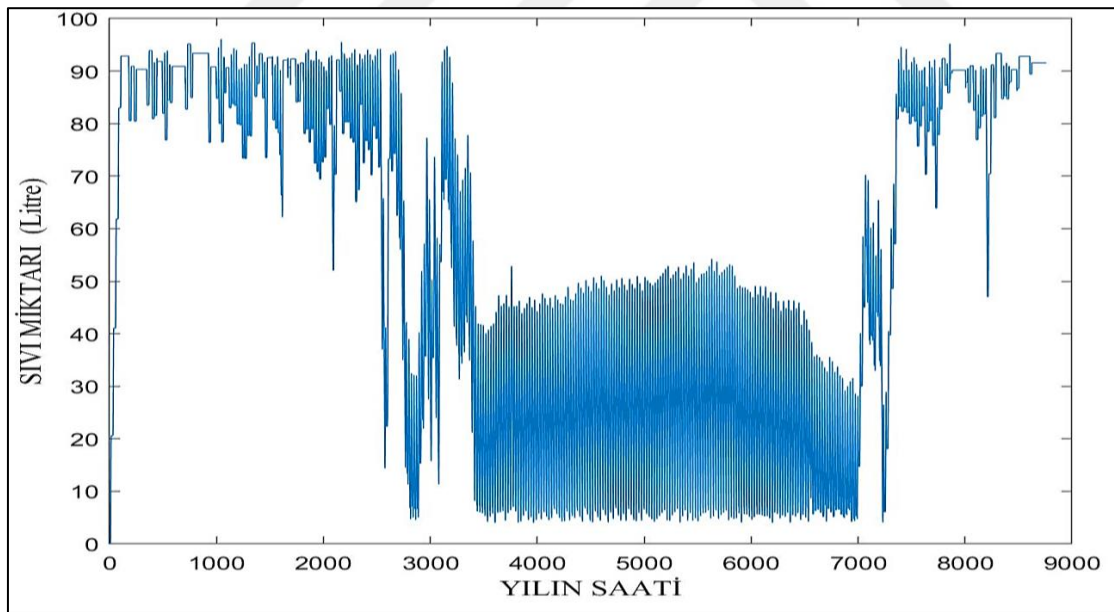
Soğutucu depolama tankı

Sistemde kullanılan soğutucu sıvı için depolama tank hacmi 90 litre olarak hesaplanmıştır. Sistemde güneş ışınımının yeterli olduğu zaman diliminde üretilen soğutucu sıvı miktarı sistemin soğutulması için gereken soğutucu sıvı miktardan fazladır. Bu fazlalığın sebebi ise güneş ışınımının olmadığı sürede soğutma işlemi için soğutma sıvısının kullanımıdır. Sistem tarafından üretilen sıvı miktarının zamana bağlı olarak değişim grafiği Şekil 7.46'da gösterilmiştir. Özellikle yaz aylarında güneşlenme süresinin uzun olması ve güneş ışınımı şiddetinin fazla olması sebebiyle saatlik üretilen soğutucu akışkanım miktarı artmaktadır.



Şekil 7.46. Üretilen soğutucu akışkanın zamana bağlı olarak değişimi

Soğutucu sıvı deposunda bulunan sıvı kütlesinin değişim grafiği Şekil 7.47' de verilmiştir.

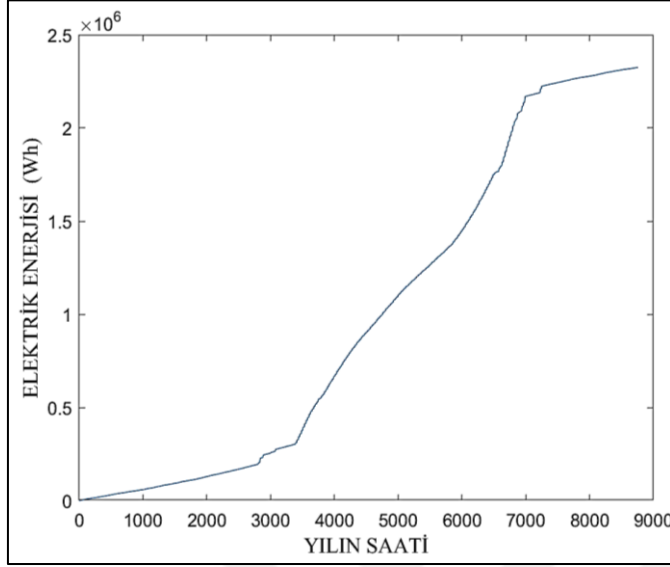


Şekil 7.47. Soğutucu sıvı deposundaki sıvının zamana bağlı değişimi

Harcanan elektrik enerjisi miktarı

Elektrik enerjisi hesaplamasında soğurmalı soğutma sistemi çalışırken 150W civarında güç tükettiği hesaplanmıştır. Bu tüketimin 50W gücünde miktarı fancoil tarafından harcanmakta

geriye kalan 100W sistemin pompası ve güneş kolektörünün pompası tarafından harcanmaktadır.



Şekil 7.48. Tasarlanan soğutma sisteminin harcadığı elektrik miktarı

Ayrıca güneş kolektörünce yeterli ısı enerjisi üretimi olmadığı ve soğurmalı soğutma sisteminin çalışması gerektiği zamanda kaynatıcı içerisinde bulunan rezistans yardımıyla soğutma sistemi çalışır halde tutulmaktadır. Dış hava sıcaklığı 18°C altında olması durumunda serbest soğutma sistemi devreye girecektir.

Maliyet hesabı

Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi sürekli çalıştığından dolayı pratikte 5 yılda bir yenilenmektedir. Soğurmalı soğutma sisteminde korozyonlar nedeniyle cihaz ömrü yaklaşık 20 yıl olmaktadır [56]. Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi ile güneş destekli soğurmalı soğutma sistemi ve serbest soğutma sisteminin kurulum maliyetleri Çizelge 7.8’de verilmiştir. Ayrıca fan pervanesi yüzeyine yapışan tozların pervanenin balansının bozulacağı dolayısıyla fan sisteminin bozulacağı göz önüne alınarak 2 yılda bir fan sisteminin değişimi maliyeti hesaplamaya eklenmiştir.

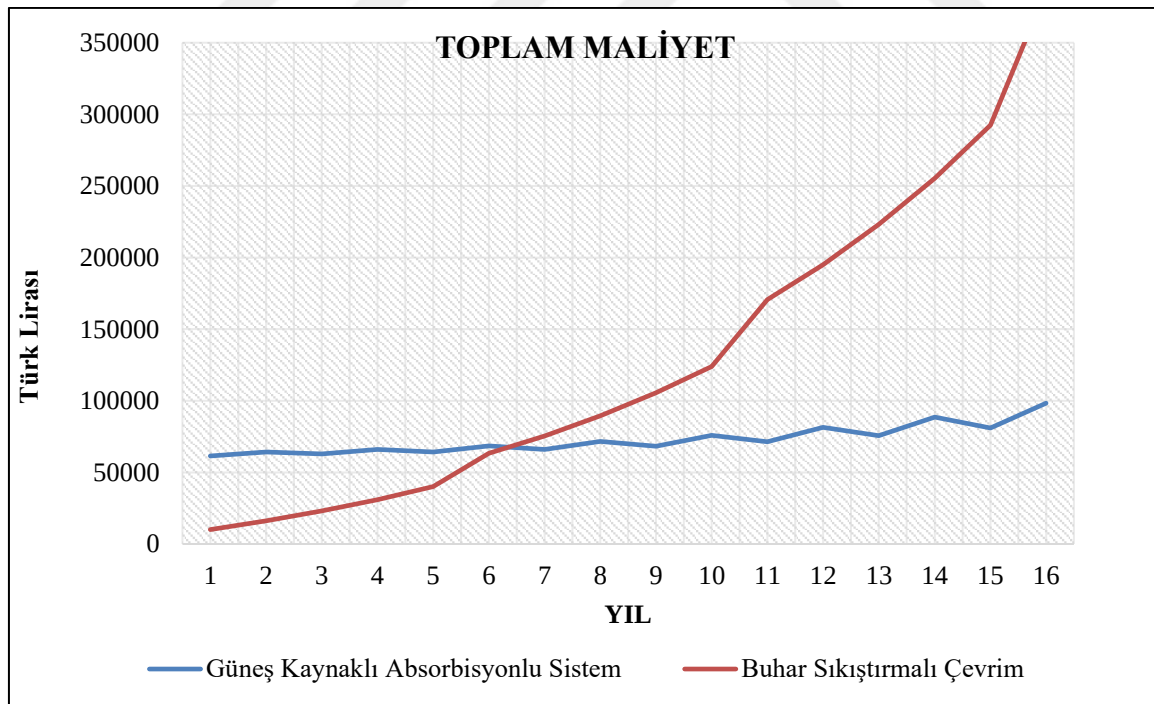
LiBr-H₂O karışımı kullanan soğurmalı soğutma sisteminin korozyon sorunlarından dolayı yaklaşık 20 yıl çalışacağı tahmin edilmektedir [56][91]. Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma

sistemi ile güneş destekli soğurmalı soğutma sistemi ve serbest soğutma sisteminin kurulum maliyetleri 2021 yılı Mart ayı fiyatlarına göre hesaplanmış ve Çizelge 7.14'te verilmiştir.

Çizelge 7.14. Sistem kurulum yaklaşık maliyetleri

Cihaz	Yaklaşık Maliyet (Türk Lirası)
Soğurmalı Soğutma Sistemi (Chiller+Güneş Kolektörü+ Fan Coil)	58725 TL
Serbest Soğutma	1500 TL
Toplam Maliyet	60225TL
Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma Sistemi	5500TL

LiBr-H₂O karışımı kullanan soğurmalı soğutma sisteminin korozyon sorunlarından dolayı yaklaşık 20 yıl çalışacağı tahmin edilmektedir [56][91] . Şekil 7.48 de görüleceği üzere serbest soğutma destekli güneş kaynaklı Soğurmalı soğutma sistemi ile mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi kıyaslandığında yaklaşık 6,3 yıl gibi bir süre sonunda yatırım maliyetleri ve işletme maliyetleri eşitlenmektedir.



Şekil 7.49. Soğutma sistemlerinin toplam giderlerinin kıyaslaması



8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Telekomünikasyon baz istasyonu çeşitlerinden biri olan makro baz istasyonlarının güneş kaynaklı soğurmalı soğutma sistemi ile soğutulması benzetimi yapılmıştır. Benzetim TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardına göre; 3. Derece gün bölgesi olan Ankara ili, 2. Derece-gün bölgesi illerinden İstanbul ili ve 1. Derece gün gölgesi illerinden olan ve değişik enlemlerde bulunan İzmir ve Adana illerinin bir yıllık meteorolojik veriler (dış hava sıcaklığı, rüzgâr hızı) kullanılarak yapılmıştır.

Soğutucu akışkan depolamalı soğutma sistemin ile ısı depolamalı soğutma sistemi karşılaştırıldığında; ısı depolamalı sürekli çalışan soğurmalı soğutma sisteminin, soğutucu akışkan depolamalı sürekli çalışan soğurmalı soğutma sistemine göre hem sistem elemanları kapasiteleri hem de ısı deposunun ilk yatırım maliyetinin çok yüksek olacağından toplam maliyete etkisinin yüksek olduğu görülmüştür. Bu sebeple sürekli çalışan güneş kaynaklı soğurmalı soğutma sistemi olarak soğutucu akışkan depolamalı soğutma sistemi kullanılmıştır.

Tasarım aşamasında El-Shaarawi ve ark. tarafından patenti alınan sürekli çalışan soğutucu akışkan depolamalı soğurmalı soğutma sistemi incelenmiş olup mevcut sistem üzerinde üzerinde bazı değişiklikler yapılarak (kaynatici bölümüne elektrikli ısıtıcı eklenerek) yeni bir sistem tasarlanmıştır. Kaynaticiya içine eklenen elektrikli ısıtıcı soğurmalı soğutma sistemi için yedek enerji kaynağı olmakta ve soğutma sisteminin çalışması için gerekli ısı gücünün herhangi bir ısı değiştirici ile verimi düşürülmeden elde edilen ısı enerjisinin kaynatici içerisindeki karışıma verilmiştir.

Telekomünikasyon baz istasyonları gibi sürekli çalışan ve yoğun atık ısı enerjisinin açığa çıktığı yapılarda, mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi yerine sadece güneş kaynaklı tek kademeli soğurmalı soğutma sisteminin uygulanmasının herhangi bir avantajı bulunmamaktadır. Bu durumun nedeni ise özellikle kış aylarında güneş ışınlam süresinin kısa olması ve bu süre zarfında güneş kolektörlerinin gerekli ısı enerjisi toplaması mümkün olmamakla beraber soğurmalı soğutma sistemi için yedek enerji elektrikli ısıtıcının fazla çalışmasına bağlı olarak işletme maliyeti çok yüksek olmaktadır. Bu sorunun çözümünde içeride toplanan ısı enerjisinin atmosfere atılması prensibi ile çalışan serbest soğutma soğutma sistemi mevcut sisteme eklenmiş ve soğutma sistemi için çalışma algoritması

tasarlanmıştır. Bu algoritmaya göre 2014 yılı için; Ankara ilinde bulunan telekomünikasyon baz istasyonu kabinin 6046 saat serbest soğutma sistemi ile soğutulmakta, İstanbul ilinde bulunan telekomünikasyon baz istasyonu kabinin 5388 saat serbest soğutma sistemi ile soğutulmakta, İzmir ilinde bulunan telekomünikasyon baz istasyonu kabinin 4353 saat serbest soğutma sistemi ile soğutulmakta, Adana ilinde bulunan telekomünikasyon baz istasyonu kabinin 3480 saat serbest soğutma sistemi ile soğutulmaktadır. Serbest soğutma sisteminin çalışması durumunda; Ankara ili için %88, İstanbul ili için %85, İzmir ili için %86 ve Adana ili için %85 elektrik enerjisinden tasarruf edileceği hesaplanmıştır.

Sistem tasarımında vakum tüplü güneş kolektörü kullanması öngörülmüştür. Ankara gibi dış hava sıcaklığının celsius ölçeğine göre eksi değerleri aldığı şehirlerde kolektörlerin zarar görmemesi ve kolektörler tarafından toplanan ısı enerjisinin suyun kaynama sıcaklığını aşarak sisteme zarar vermemesi için kolektör sisteminde ısı transfer akışkanı olan Therminol 66 kullanılmıştır.

Güneş kaynaklı serbest soğutma destekli soğurmalı soğutma sistemi için vakum tüplü güneş kolektör alanları Ankara ili için 17 m², İstanbul ili için 20 m², İzmir ili için 18 m² ve Adana ili için 20 m² kolektör alanı kullanılmıştır. Ankara ve Adana ili kıyaslandığında, Adana ilinin güneş ışınlamı değerinin Ankara ilinden yüksek olduğu durumda bile Ankara ilinde daha düşük kolektör alanı yeterli olmaktadır. Bu durumun sebebi ise Ankara ilinde serbest soğutma sisteminin daha fazla çalışabilmesidir.

Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi ile güneş kaynaklı serbest soğutma destekli soğurmalı soğutma sisteminin (2021 yılı Mart ayı fiyatları üzerinden hesaplanan ilk kurulum maliyeti ve yıllık %15 sabit enflasyon oranı ile artan işletme maliyeti) toplam maliyetleri kıyaslandığında ise iki sistemin Ankara ili için 6,5 yıl, İstanbul ili için 6,3 yıl, İzmir ili için 6,2 yıl ve Adana ili için 6,3 yılda eşitlendiği görülmüştür.

Güneş kaynaklı serbest soğutma destekli soğurmalı soğutma sisteminin oluşturulan algoritma ile makro tip baz istasyonlarında teorik olarak kullanılabilir olduğu görülmüştür. Güneş kaynaklı serbest soğutma destekli soğurmalı soğutma sistemi, COP_{sm} değeri 4 olan mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemine göre yıllık; Ankara ilinde 2110 kWh, İstanbul ilinde 2130 kWh, İzmir ilinde 2130 kWh ve Adana ilinde 2099 kWh lik elektrik enerjisi tasarrufu sağlamıştır. Ülkemizde nihai elektirik enerjisinin çevreye etkisi 0,555 kWh/CO₂

olduğu bildirilmiştir [92]. Bu değere göre bir yıllık süre zarfında tasarlanan soğutma sisteminin bir telekomikasyon baz istasyonu için; Ankara ilinde uygulanmasıyla 1589 kg CO₂ salınımını azalttığı, İstanbul ilinde uygulanmasıyla 1559 kg CO₂ salınımını azalttığı, İzmir ilinde uygulanmasıyla 1390 kg CO₂ salınımını azalttığı, Adana ilinde uygulanmasıyla 1482 kg CO₂ salınımını azalttığı hesaplanmıştır.

Sistem tek kademeli soğurmalı soğutma sistemi olarak tasarlanmıştır. Tek kademeli soğurmalı soğutma sisteminin COP değeri 0,8 civarında olup bu sistem yerine COP değeri yaklaşık 1,1 olan iki kademeli soğurmalı soğutma sistemi kullanılması durumunda sistem verimi artacağı düşünülmektedir.

Telekomünikasyon baz istasyonu kabini üzerinde yapılacak yapısal değişiklikler (izolasyon malzemesi kalınlığı değişimi...vb) kullanılarak soğutma sisteminin verimi artırılabilceği değerlendirilmektedir.

Ayrıca serbest soğutma sisteminde faz değıştiren maddeler kullanımı ile verimin artırılabilceği öngörülmektedir.



KAYNAKLAR

1. Çengel, Y.A., Boles, M.A., Kanoğlu, M. (2019). *Thermodynamics: An Engineering Approach*. (Ninth Edition). New York: McGraw-Hill Education, 52
2. Hossain, M. S. and Rahman, M. F. (2020). Hybrid solar PV/Biomass powered energy efficient remote cellular base stations. *International Journal of Renewable Energy Research*, 10(1), 329–342.
3. Ahmed, F., Naeem, M., Ejaz, W., Iqbal, M. and Anpalagan, A. (2018). Resource management in cellular base stations powered by renewable energy sources. *Journal of Network and Computer Applications*, 112, 1–17.
4. Tu, R., Liu, X.-H. H., Li, Z. and Jiang, Y. (2011). Energy performance analysis on telecommunication base station. *Energy and Buildings*, 43(2–3), 315–325.
5. Vetromile, C., Spagnuolo, A., Petraglia, A., Masiello, A., di Cicco, M. R. and Lubritto, C. (2021). Pre- and post-operam comparison of the energy consumption of a radio base station under energy efficiency actions. *Energy and Buildings*, 236, 110772.
6. Zhu, D. D., Yan, D. and Li, Z. (2013). Modelling and applications of annual energy-using simulation module of separated heat pipe heat exchanger. *Energy and Buildings*, 57(2013), 26–33.
7. Zhou, F., Chen, J., Ma, G. and Liu, Z. (2013). Energy-saving analysis of telecommunication base station with thermosyphon heat exchanger. *Energy and Buildings*, 66(2013), 537–544.
8. Petraglia, A., Spagnuolo, A., Vetromile, C., D’Onofrio, A. and Lubritto, C. (2015). Heat flows and energetic behavior of a telecommunication radio base station. *Energy*, 89, 75–83.
9. Yantong, L., Quan, Z., Xiaoqin, S., Yaxing, D. and Shuguang, L. (2015). Optimization on Performance of the Latent Heat Storage Unit (LHSU) in Telecommunications Base Stations (TBSs) in China. *Energy Procedia*, 75, 2119–2124.
10. Chen, Y., Zhang, Y. and Meng, Q. (2012). Study of ventilation cooling technology for telecommunication base stations: Control strategy and application strategy. *Energy and Buildings*, 50(7), 212–218.
11. Zhang, Hengyu, Sun, X., Zhang, Q., Liao, S. and He, Y. (2015). Estimating the Adaptability of Phase Change Material Board on Building Envelope of Telecommunications Base Stations. *Procedia Engineering*, 121, 1665–1673.
12. Beckers, K. F., Aguirre, G. A. and Tester, J. W. (2018). Hybrid ground-source heat pump systems for cooling-dominated applications: Experimental and numerical case-study of cooling for cellular tower shelters. *Energy and Buildings*, 177, 341–350.
13. Martínez, P. J., Martínez, J. C. and Lucas, M. (2012). Design and test results of a low-capacity solar cooling system in Alicante (Spain). *Solar Energy*, 86(10), 2950–2960.

14. Wang, J., Zhang, Q. and Yu, Y. (2016). An advanced control of hybrid cooling technology for telecommunication base stations. *Energy and Buildings*, 133, 172–184.
15. Sundaram, A. S., Seeniraj, R. V. and Velraj, R. (2010). An experimental investigation on passive cooling system comprising phase change material and two-phase closed thermosyphon for telecom shelters in tropical and desert regions. *Energy and Buildings*, 42(10), 1726–1735.
16. Wu, G., Zeng, F. and Zhu, G. (2017). Research on ventilation cooling system of communication base stations for energy saving and emission reduction. *Energy and Buildings*, 147, 67–76.
17. Yang, T.-J., Zhang, Y.-J., Tang, S. and Zhang, J. (2016). How to assess and manage energy performance of numerous telecommunication base stations: Evidence in China. *Applied Energy*, 164, 436–445.
18. Zhang, Y., Chen, Y., Wu, J. and Meng, Q. (2008). Study on energy efficient envelope design for telecommunication base station in Guangzhou. *Energy and Buildings*, 40(10), 1895–1900.
19. Sun, X., Zhang, Q., Medina, M. A., Liu, Y. and Liao, S. (2014). A study on the use of phase change materials (PCMs) in combination with a natural cold source for space cooling in telecommunications base stations (TBSs) in China. *Applied Energy*, 117, 95–103.
20. Zhang, L., Liu, Y., Liu, X., Meng, X., Guo, X. and Zhang, L. (2015). Experimental Investigation of Gravity Heat Pipe Exchanger Applied in Communication Base Station. *Procedia Engineering*, 121, 1326–1333.
21. Han, L., Shi, W., Wang, B., Zhang, P. and Li, X. (2013). Development of an integrated air conditioner with thermosyphon and the application in mobile phone base station. *International Journal of Refrigeration*, 36(1), 58–69.
22. İnternet: Guglielmo Marconi. URL: https://tr.wikipedia.org/wiki/Guglielmo_Marconi, Son Erişim Tarihi: 01.02.2021.
23. Dikici, Ü. D. (2009). *Mobil Telekomünikasyon Sektöründe Bayilere Uygulanan Satış Geliştirme Çabalarının Değerlendirilmesi*, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 19.
24. Özer, G. (2013). *Baz İstasyonlarının İnsanlar Üzerindeki Sağlık, Sosyal ve Psikolojik Etkileri Üzerine Bir Araştırma*, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurum, İdari Uzmanlık Tezi, Mersin, 6-11.
25. Milli Eğitim Bakanlığı. (2011). *Elektrik Elektronik Teknolojisi Kablosuz Ağ Sistemleri*. Ankara: Milli Eğitim Bakanlığı, 38-42.
26. İnternet: Makro Baz İstasyonu. <https://www.orjantatilsitesi.com/bazistasyon.htm>, Son Erişim Tarihi: 02.02.2021.
27. Ünvar, S. ve Menlik, T. (2020). Güneş Kolektörlerinde Nanoakışkanların Kullanılmasının Etkileri. *Journal of Polytechnic*, 0900, 0–3.

28. Karellas, T., Roumpedakis C., Tzouganatos, N., Braimakis, K. (2019). *Solar Cooling Technologies*, (First Edition). Boca Raton: CRC Press, 3-428
29. Kalogirou, S. A. (2004). Solar Thermal Collectors And Applications. *Progress in Energy and Combustion Science*, 30(3), 231–295.
30. Kalogirou, S. A. (2014). *Solar Energy Engineering: Processes and Systems* (Second Edition). New York: Elsevier Inc., 154.
31. Yıldız, A. (2009). *Hava Akışkanlı Güneş Kolektörlerinin Enerji Ve Ekserji Analizi İle Modellenmesi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, İzmir, 23-28.
32. Yiğit, A. ve Atmaca, İ. (2010). *Güneş Enerjisi* (1. Baskı.). Bursa: Alfa Aktüel Yayınevi, 22-43.
33. Uyarel, A. Y. ve Öz, E. S. (1987). *Güneş Enerjisi ve Uygulamaları*. Ankara: Birsan Yayınevi, 12.
34. İnternet: Viessmann VITOSOL Planlama Kılavuzu. https://www.viessmann.com.tr/content/dam/vi-brands/TR/Brosur/TumUrunler/GunesEnerjiSistemleri/200906_PK_Vitosol_5870440.pdf/jcr_content/renditions/original./200906_PK_Vitosol_5870440.pdf, Son Erişim Tarihi: 01.02.2021.
35. Iqbal, M. (1983). *An Introduction to Solar Radiation. An Introduction to Solar Radiation*. New York: Academic Press, 2-10,
36. Duffie (Deceased), J. A., Beckman, W. A. and Blair, N. (2020). *Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind* (Fifth Edition). New Jersey: Wiley, 5-100.
37. Cooper, P. I. I. (1969). The absorption of radiation in solar stills. *Solar Energy*, 12(3), 333–346.
38. Wang, F., Feng, H., Zhao, J., Li, W., Zhang, F. and Liu, R. (2015). Performance Assessment of Solar Assisted Absorption Heat Pump System with Parabolic Trough Collectors. *Energy Procedia*, 70, 529–536.
39. İnternet: Collector Orientation. URL: <https://www.e-education.psu.edu/eme810/node/576>, Son Erişim Tarihi: 01.03.2021.
40. İnternet: Azimuth Angles of Building Surfaces. URL: <https://energy-models.com/azimuth-angles-building-surfaces>, Son Erişim Tarihi: 01.03.2021.
41. İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü Güneşten Gelen Işınlara Atmosferin Etkisi URL: <https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojiyegir.aspx?s=7>, Son Erişim Tarihi: 01.03.2021.
42. Yang, K. and Koike, T. (2005). A general model to estimate hourly and daily solar radiation for hydrological studies. *Water Resources Research*, 41(10), 1–13.

43. Page, J. K. (1961). The estimation of monthly mean values of daily total short wave radiation on vertical and inclined surfaces from sunshine records for latitudes 40N-40S. UN Conference on New Sources of Energy içinde (1-6 ss) Rome : UN.
44. Tiris, M., Tiris, Ç. and Türe, I. E. (1996). Correlations of monthly-average daily global, diffuse and beam radiations with hours of bright sunshine in Gebze, Turkey. *Energy Conversion and Management*, 37(9), 1417–1421.
45. Tiris, M. and Tiris, C. (1997). Analysis of solar radiation data for Gebze, Turkey. *Energy Conversion and Management*, 38(2), 179–186.
46. Collares-Pereira, M. and Rabl, A. (1979). The average distribution of solar radiation-correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values. *Solar Energy*, 22(2), 155–164.
47. Tuller, S. E. (1976). The relationship between diffuse, total and extra terrestrial solar radiation. *Solar Energy*, 18(3), 259–263.
48. Çengel, Y., Ghajar, A.J., (2019). *Heat Transfer: A Practical Approach* (Sixth Edition). New York: McGraw Hill Education, 99.
49. İnternet: Kingspan Corp. (2019). Kingspan External coating. <https://www.kingspan.com/gb/en-gb/products/insulated-panel-systems/downloads/kingspan-colour-coating-brochure>, Son Erişim Tarihi: 03.02.2021.
50. Kırmacı, V. ve Özdemir, M. B. (2005). Soğuk Depolar İçin R-404a Alternatif Soğutucu Akışkanlı Buhar Sıkıştırma Soğutma Sistem Eleman Kapasitelerinin Bilgisayar Programıyla Belirlenmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2), 66–76.
51. Dincer, I. (2017). *Refrigeration Systems and Applications* (Third Edition). Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 80,128-132.
52. Neuburger, A. (1930). The Technical Arts and Sciences of the Ancients. *Nature*, 126(3190), 949–950.
53. Özdemir, M. B. (2011). *R407C Soğutucu Akışkan Kullanılan Düşey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Performansının Deneysel İncelenmesi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Ankara, 96-101.
54. Labus, J. M., Bruno, C. C. and Coronas, A. (2013). Review on absorption technology with emphasis on small capacity absorption machines. *Thermal Science*, 17(3), 739–762.
55. Özbaş, E. (2009). *Yayınimli Soğurmalı Soğutma Sistemi Tasarımı İmali, Deneysel Ve Teorik Analizi ile Performans İyileştirilmesi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Ankara, 11.
56. Florides, G. A., Kalogirou, S. A., Tassou, S. A. and Wrobel, L. C. (2003). Design and construction of a LiBr-water absorption machine. *Energy Conversion and Management*, 44(15), 2483–2508.

57. Halıcı, F. (2003). Absorbisyonlu Soğutma Sistemleri ile Klasik Sistemlerin Karşılaştırılması. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 1–8.
58. Menlik, T. (2005). *Alternatif akışkanlı iki kademeli soğutma sisteminin tasarımı, imali ve performans deneyleri*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Ankara, 35.
59. ASHRAE. (2017). *Handbook of Fundamentals, I-P edition*. ATLANTA: ASHRAE, 868-871.
60. Altamirano, A., Pierrès, N. Le and Stutz, B. (2019). Review of small-capacity single-stage continuous absorption systems operating on binary working fluids for cooling: Theoretical, experimental and commercial cycles. *International Journal of Refrigeration*, 106, 350–373.6
61. Srihirin, P., Aphornratana, S., & Chungpaibulpatana, S. (2001). A review of absorption refrigeration technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 5(4), 343–372.
62. Şahin, Ö. (2018). *Difüzyonlu Absorbsiyonlu Soğutma Sistemlerinde Termal Kompresördeki Isı Değiştiricisinin Sayısal Analizi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Ankara, 28-29.
63. Kamienski, C. W., McDonald, D. P., Stark, M. W. and Papcun, J. R. (2004). Lithium and Lithium Compounds. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 15, 1-40.
64. Herold, K. E., Radermacher, R., & Klein, S. A. (2016). *Applications of Absorption Chillers and Heat Pumps. Absorption Chillers and Heat Pumps* (Second Edition). Boca Raton: CRC Press, 110.
65. Said, S. A. M., El-Shaarawi, M. A. I. and Siddiqui, M. U. (2012). Alternative designs for a 24-h operating solar-powered absorption refrigeration technology. *International Journal of Refrigeration*, 35(7), 1967–1977.
66. Lazzarin, Renato M. (2007). Solar cooling plants: How to arrange solar collectors, absorption chillers and the load. *International Journal of Low Carbon Technologies*, 2(4), 376–390.
67. Al-Ugla, A. A. (2015). *Development Of A Solar Air- Conditioning System In Saudi Arabia*, King Fahd University of Petroleum & Minerals, Doctoral Dissertation, Dhahran, 78.
68. Kumar, V., Pandya, B., Patel, J. and Matawala, V. (2018). Vapor absorption system powered by different solar collectors types: Cooling performance, optimization, and economic comparison. *Science and Technology for the Built Environment*, 24(6), 612–625.
69. Pintaldi, S., Perfumo, C., Sethuvenkatraman, S., White, S. and Rosengarten, G. (2015). A review of thermal energy storage technologies and control approaches for solar cooling. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 975–995.

70. Al-Ugla, A. A., El-Shaarawi, M. A. I. and Said, S. A. M. (2015). Alternative designs for a 24-hours operating solar-powered LiBr–water absorption air-conditioning technology. *International Journal of Refrigeration*, 53, 90–100.
71. Al-Ugla, A. A., El-Shaarawi, M. A. I., Said, S. A. M. and Al-Qutub, A. M. (2016). Techno-economic analysis of solar-assisted air-conditioning systems for commercial buildings in Saudi Arabia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1301–1310.
72. Özalp, M. (2004). *Alternatif Çalışma Akışkanları ile Çalışan Ejektörlü-Absorbsiyon Soğutma Sisteminin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Termodinamik Analizi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Ankara, 53.
73. Sözen, A., Arcaklıoğlu, E., Özalp, M. and Çağlar, N. (2005). Forecasting based on neural network approach of solar potential in Turkey. *Renewable Energy*, 30(7), 1075–1090.
74. Chakraverty, S. and Mall, S. (2017). *Artificial neural networks for engineers and scientists: Solving ordinary differential equations*. Boca Raton: CRC Press, 1-3.
75. İnternet: Sinir Hücresi İstanbul Üniversitesi, URL: https://cdn-acikogretim.istanbul.edu.tr/auzecontent/19_20_Guz/psikolojiye_giris_1/4/index.html#konu-3, Erişim Tarihi:04.03.2021.
76. İnternet: Saxena, A. Building a Simple Neural Network from Scratch, URL: <https://towardsdatascience.com/building-a-simple-neural-network-from-scratch-a5c6b2eb0c34>, Erişim Tarihi: 04.04.2021.
77. İnternet: Ved, M. Specifics of Artificial Neural Networks (ANN's) from Algorithm to Applications, URL: <https://medium.com/@mehulved1503/specifics-of-artificial-neural-networks-anns-from-algorithm-to-applications-da6d0408519a>, Son Erişim Tarihi: 03.06.2021.
78. Öztemel, E. (2006). *Yapay Sinir Ağları* (2. Baskı.). İstanbul: Papatya Yayıncılık, 57,77.
79. Gürses, C. (2012). *GSM Baz İstasyonlarında Enerji Verimliliği Amaçlı Isıl Modelleme ve DeneySEL Analizi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 7-16.
80. İnternet: MatWeb, URL: <http://www.matweb.com>, Erişim Tarihi: 01.01.2021.
81. ASHRAE Technical Committee 9.9. (2014). *Thermal Guidelines for Data Processing Environments* (Fifth Edition). Atlanta:ASHRAE, 8.
82. European Telecommunications Standard Institute. (2018). *Environmental Engineering; Metrics and Measurement Method for Energy Efficiency of Wireless Access Network Equipment Part 2 : Energy Efficiency - dynamic measurement method*. Cedex:ETSI, 12.
83. Zhang, Hainan, Shao, S., Xu, H., Zou, H. and Tian, C. (2014). Free cooling of data centers: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 171–182.
84. Lazzarin, R. M. and Noro, M. (2018). Past, present, future of solar cooling: Technical and economical considerations. *Solar Energy*, 172(December 2017), 2–13.

85. Kaynaklı, Ö. ve Yamankaradeniz, R. (2003). H₂O-LiBr ve NH₃-H₂O Eriyiği Kullanan Tek Kademeli Soğurmalı Soğutma Sistemlerinin Karşılaştırılması. *DEÜ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(2), 73–87.
86. Yağcıoğlu, K. Ç. ve Özen, D. N. (2019). LiBr-H₂O Akışkan Çiftini Kullanan Bir Absorbisyonlu Soğutma Sistemi İçin Termodinamik Ve Ekserji Analizi. *Selcuk University Journal of Engineering ,Science and Technology*, 7(1), 135–145.
87. İrvasa, M. Ü. ve Özdemir, M. B. (2021). Using Solar Assisted Absorption Cooling System In The Telecommunication Base Station Cooling Ankara Province Application. *3rd International African Conference On Current Studies*, 309–319.
88. İnternet: El-Shaarawi, M. A. I., Al-Ugla, A. A. and Said, S. A. M. (2016). *System and Method for Continuously Operating A Solar-Powered Air Conditioner* (U.S. Patent No. 10,634,400 B2). U.S. Patent and Trademark Office. <https://patents.google.com/patent/US10634400B2/en?q=U.S.+Patent+No.+10%2c634%2c400+>.
89. İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü Türkiye Güneş Radyasyon Dağılımı, URL: https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx, Erişim Tarihi: 03.03.2021.
90. İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü Resmi İstatistikler URL:<https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx>, Erişim Tarihi: 03.03.2021.
91. Yattara, A., Zhu, Y. and Ali, M. M. (2003). Comparison between solar single-effect and single-effect double-lift absorption machines (Part I). *Applied Thermal Engineering*, 23(15), 1981–1992.
92. İnternet: Türkiye Cumhuriyeti Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2020). Elektrik Enerjisinin Birincil Enerji Ve Sera Gazı Salımı Katsayıları, URL: <https://meslekihizmetler.csb.gov.tr/elektrik-enerjisinin-birincil-enerji-ve-sera-gazi-salimi-katsayilari-2021-yilindan-itibaren-kullanilmak-uzere-guncellenmistir-duyuru-411795>, Erişim Tarihi: 18.12.2021.



GAZİ GELECEKTİR..