

T.C.

NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KARŞILAŞTIRMALI TEKNO-EKONOMİK FİZİBİLİTE ÇALIŞMASINA DAYALI
OLARAK GÜNEŞ ENERJİLİ SU ISITMA SİSTEMLERİNİN OPTİMUM SEÇİMİ

HİLMİ GÜLMEZ

OCAK 2024

T.C.
ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

KARŞILAŞTIRMALI TEKNO-EKONOMİK FİZİBİLİTE ÇALIŞMASINA DAYALI
OLARAK GÜNEŞ ENERJİLİ SU ISITMA SİSTEMLERİNİN OPTİMUM SEÇİMİ

Hilmi GÜLMEZ

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Prof. Dr. Murat GÖKÇEK

Ocak 2024

Hilmi GÜLMEZ tarafından **Prof. Dr. Murat GÖKÇEK** danışmanlığında hazırlanan “**Karşılaştırmalı Tekno-Ekonomik Fizibilite Çalışmasına Dayalı Olarak Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinin Optimum Seçimi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Murat GÖKÇEK, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ömer GENÇ, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali KALLIOĞLU, Batman Üniversitesi

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/....../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/....../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

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

Prof. Dr. Mustafa KARATEPE
MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içerisindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Hilmi GÜLMEZ

ÖZET

KARŞILAŞTIRMALI TEKNO-EKONOMİK FİZİBİLİTE ÇALIŞMASINA DAYALI OLARAK GÜNEŞ ENERJİLİ SU ISITMA SİSTEMLERİNİN OPTİMUM SEÇİMİ

GÜLMEZ, Hilmi

Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışmanı : Prof. Dr. Murat GÖKÇEK

Ocak 2024, 69 sayfa

Güneş enerjisi, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına nazaran daha büyük bir potansiyele sahip ve yaygınlaşma olasılığı daha yüksek olan bir enerji kaynağıdır. Bu sebeple güneş enerjili sistemlerin teknolojilerinin geliştirilmesi ve kullanım alanlarının artırılması önem arz etmektedir. Güneş enerjisi, evlerde sıcak su sağlamak ve endüstriyel süreçlerde faydalanmak için yaygın olarak kullanılan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Evsel sıcak su ve endüstriyel buhar üretiminde güneş enerjisinin kullanımı hem ekonomik hem de çevresel faydalar sağlar. Bu çalışmada F-Chart Yöntemi kullanılarak düzlemsel ve vakum tüplü 8 farklı kollektörün performans analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Aydın, Samsun, Afyonkarahisar, Niğde, Erzurum ve Sivas ili meteorolojik şartlarına göre belirli bir sıcak su talebi için analiz yürütülmüştür. Örnek bir il (Niğde) ve örnek bir kollektör için ekonomik analiz yapılarak geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Çalışmada güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin hava kirliliğinin azaltılması için önemi vurgulanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Enerji, güneş ışıınımı, panel kollektör, su ısıtma, vakum tüplü kollektör

ABSTRACT

OPTIMAL SELECTION OF SOLAR WATER HEATING SYSTEMS BASED ON COMPARATIVE TECHNO-ECONOMIC FEASIBILITY STUDY

GÜLMEZ, Hilmi

Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Professor Murat GÖKÇEK

January 2024, 69 Pages

Solar energy is an energy source with a greater potential and a higher probability of widespread use compared to other renewable energy sources. For this reason, it is important to develop the technologies of solar energy systems and increase their usage areas. Solar energy is a renewable energy source that is widely used to provide hot water in homes and to utilise in industrial processes. The use of solar energy in domestic hot water and industrial steam production provides both economic and environmental benefits. In this study, the performance analysis of 8 different flat plate and vacuum tube collectors was carried out using the F-Chart Method. In the study, the analysis was carried out for a certain hot water demand according to the meteorological conditions of Aydın, Samsun, Afyonkarahisar, Niğde, Erzurum and Sivas provinces. An economic analysis was carried out for a sample province (Niğde) and a sample collector, and the payback period was calculated. In addition, the importance of solar water heating systems for reducing air pollution is emphasised in the study.

Keywords: Energy, solar radiation, panel collector, water heating, vacuum tube collector

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasının asıl amacı fosil kaynaklı yakıt tüketiminin azaltılarak yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin artması noktasında bir farkındalık oluşturabilmektir. Böylece ülkemizin gerek hava kirliliği gerekse enerji noktasında dışa olan bağımlılığının azaltılması ön görülmüştür.

Yüksek lisans tez çalışmamın yürütülmesi esnasında, çalışmalarına yön veren, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Murat GÖKÇEK'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu günlere gelmemde maddi ve manevi hiçbir desteğini esirgemeyen babam Cemal GÜLMEZ ve annem Güllü GÜLMEZ'e, tez çalışmam boyunca her türlü desteği veren eşim Fatma GÜLMEZ'e teşekkür ederim.

Bu tezi biricik kızım Elif Zeynep GÜLMEZ'e ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
BÖLÜM I.....	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM II	8
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	8
BÖLÜM III.....	11
GÜNEŞ ENERJİLİ SICAK SU SİSTEMLERİ.....	11
3.1 Devre Tiplerine Göre Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri	12
3.1.1 Açık Dolaşimli Devre	12
3.1.2 Kapalı Dolaşimli Devre	14
3.2 İşletme Türlerine Göre Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri	15
3.2.1 Doğal Dolaşimli Sistemler	15
3.2.2 Zorlamalı Dolaşimli Sistemler	16
3.2.2.1 Yardımcı Isı Üreticili Sistemler	18
3.3 Depo Yerleşim Şekillerine Göre Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri	18
3.3.1 Yatay Depolu Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri.....	19
3.3.2 Dikey Depolu Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri	19
3.3.3 Çatı tipi güneş enerjili su ısıtma sistemleri	20
3.3.4 Avustralya Tipi Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri.....	21
3.4 Kollektör Tiplerine Göre Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri.....	21
3.4.1 Düzlemsel (Panel) Kollektörlü Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri.....	21
3.4.2 Tüp Kollektörlü Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri	23
3.5 Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinin Karşılaştırılması	27
3.5.1 Doğal Dolaşimli Sistemler	27

3.5.1.1 Avantajları.....	27
3.5.1.2 Dezavantajları.....	28
3.5.2 Pompalı (Zorlama Dolaşım) Sistemler	28
3.5.2.1 Avantajları.....	28
3.5.2.2 Dezavantajları.....	29
3.5.3 Vakum Tüplü Sistemler	29
3.5.3.1 Avantajları.....	29
3.5.3.2 Dezavantajları.....	29
BÖLÜM IV.....	30
MATERYAL VE METHOD	30
4.1 Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinin Projelendirmesi	30
4.2 Güneş Enerjisi Hesaplamaları.....	31
4.2.1 F-Chart Yöntemi	35
4.3 Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinin Ekonomik Analizi	39
4.4 Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinin Geri Ödeme Süresi	39
BÖLÜM V.....	42
SAYISAL SONUÇLAR	42
5.1 Niğde İli Solimpeks - Wunder ALS 2512 Panel Kollektör İçin Ekonomik Analiz..	58
5.2 Niğde İli İçin Tasarlanan Sistemin Geri Ödeme Süresi.....	60
5.3 Niğde İli İçin Tasarlanan Sistemin CO ₂ Salınımı	61
5.4 Niğde İli İçin Tasarlanan Sistemin Farklı Kollektör Açılarındaki Gerekli Olan Kollektör Alan ve Sayıları	61
BÖLÜM VI.....	63
SONUÇLAR.....	63
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	69

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Birincil enerji kaynakları tüketimi.....	1
Şekil 1.2. Türkiye güneşlenme haritası (GEPA).....	6
Şekil 3.1. Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin sınıflandırılması	11
Şekil 3.2. Açık dolaşımli devre.....	13
Şekil 3.3. Kapalı dolaşımli devre.....	14
Şekil 3.4. Doğal dolaşımli sistemler	16
Şekil 3.5. Zorlamalı dolaşımli sistemler	17
Şekil 3.6. Yardımcı ısı üreticili sistemler	18
Şekil 3.7. Yatay depolu güneş enerjili su ısıtma sistemleri	19
Şekil 3.8. Dikey depolu güneş enerjili su ısıtma sistemi	20
Şekil 3.9. Çatı tipi güneş enerjili su ısıtma sistemi	20
Şekil 3.10. Avustralya tipi güneş enerjili su ısıtma sistemi	21
Şekil 3.11. Düzlemsel güneş kollektörü	22
Şekil 3.12. Azimut açısı.....	23
Şekil 3.13. Borosilikat vakum tüp	23
Şekil 3.14. Baryum tutucu	24
Şekil 3.15. Soldaki tüp hatasız, sağdaki tüp hatalı üretilmiş	24
Şekil 3.16. Vakum tüplü güneş kollektörü	25
Şekil 3.17. Isı borulu vakum tüplü güneş enerjili su ısıtma sistemi	26
Şekil 3.18. Bakır ısı borulu vakum tüp	26
Şekil 3.19. U borulu vakum tüplü güneş enerjili su ısıtma sistemi	27
Şekil 4.1. Kollektör performans eğrisi.....	36
Şekil 5.1. Çalışmada incelenen iller.....	42
Şekil 5.2. İncelenen lokasyonlar için aylık ortalama sıcaklık değerleri	44
Şekil 5.3. İncelenen lokasyonlar için aylık ortalama toprak sıcaklıkları	44
Şekil 5.4. Eğik düzleme düşen aylık ortalama günlük güneş ışıınımı	45
Şekil 5.5. Aydın ilinde farklı güneş kollektörleri için faydalanma oranları	47
Şekil 5.6. Samsun ilinde farklı güneş kollektörleri için faydalanma oranları.....	49
Şekil 5.7. Afyonkarahisar ilinde farklı güneş kollektörleri için faydalanma oranları	51
Şekil 5.8. Niğde ilinde farklı güneş kollektörleri için faydalanma oranları	53

Şekil 5.9. Erzurum ilinde farklı güneş kolektörleri için faydalanma oranları	55
Şekil 5.10. Sivas ilinde farklı güneş kolektörleri için faydalanma oranları.....	57
Şekil 5.11. Niğde ili 60 °C de 300 L sıcak su ihtiyacı için gerekli olan enerji miktarı .	59
Şekil 5.12. Niğde ili GESIS 'siz ve GESIS 'li sistemlerinin maliyet sonuçları	60
Şekil 5.13. Niğde İli İçin Tasarlanan Sistemin CO ₂ Salınımı.....	61
Şekil 5.14. Niğde ili için tasarlanan sistemin farklı kolektör açılarındaki gerekli olan kolektör alan ve sayıları.....	62



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 5.1. Çalışmada incelen kollektör özellikleri	43
Tablo 5.2. Sistem için kullanılan malzeme ve maliyetleri.....	58
Tablo 5.3. Elektrik ve doğalgaz değerleri	59
Tablo 5.4. Niğde ili ek enerji kaynağı olarak elektrik enerjisinin tercih edildiği sistemin geri ödeme süresi.	60
Tablo 5.5. Niğde ili ek enerji kaynağı olarak doğalgaz enerjisinin tercih edildiği sistemin geri ödeme süresi.	60

SİMGELER VE KISALTMALAR

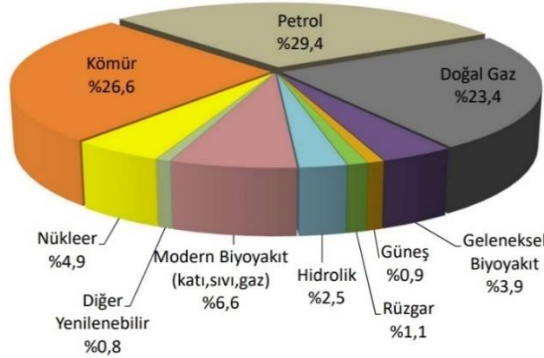
Simgeler	Açıklama
i	Ayı temsil eden gün
n	Oratalama gün
ϕ	Enlem açısı
$\dot{I}_{GS}$	İzafi güneşlenme süresi
G_{sc}	Güneş sabiti
T_a	Ortalama Sıcaklık
T_c	Toprak Sıcaklığı
H_{Gepa}	Global Radyasyon Değerleri
z	Rakım
β	Kollektör açısı
ρ	Yansıyan ışınlam
δ	Deklinasyon açısı
ω_s	Güneş batış saat açısı
ω_{ss}	Güneş ışınlamının eğik yüzey üzerine ilk düşüş saat açısı
H_0	Atmosfer dışında yatay düzleme gelen günlük güneş ışınlamı
a	Konuma bağlı a değeri
b	Konuma bağlı b değeri
H	Yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınlamı
K_T	Berraklık indeksi
H_d	Yayıllı ışınlam
H_b	Yatay düzleme düşen günlük direkt güneş ışınlamı
R_b	Eğik yüzeye düşen günlük ışınlamın yatay düzleme düşen günlük ışınlamına oranı
H_T	Eğik yüzeye düşen günlük toplam ışınlam
Kisaltmalar	Açıklama
TEP	Ton eşdeğer petrol

MMO	Makine Mühendisleri Odası
MÖ	Milattan önce
DEK-TMK	Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi
GEPA	Güneş enerjisi potansiyel atlası
ODTÜ	Ortadoğu Teknik Üniversitesi
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
TUBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu
MBEAE	Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü
UGET-TB	International Solar Energy Society Turkey Branch
DME	Devlet Meteoroloji Enstitüsü
MKE	Makine Kimya Enstitüsü
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
LPG	Sıvılaştırılmış petrol gazı
TS 3817	Güneş enerjili su ısıtma sistemleri yapım, tesis ve işletme standardı
TS 713	Sıcak sulu ısıtma tesisleri standardı
TS 2192	Kalorifer tesisatı yerleşim standardı
TS 3680	Güneş enerjisi toplayıcıları-düz standardı
TS 301	Borular (dikişsiz ve dikişli) vida dişi açılabilir, vidalı çelik standardı
TS 302	Borular (hassas, dikişsiz, çelik) standardı
TS 11	Boru bağlantı parçaları standardı
TS14	Borular, bağlantı parçaları ve kapakları standardı
TS 931	Boru bağlantı parçaları standardı
TS 274	Plastik borular (kullanma ve içme suyu) standardı
TS 3391	Boru şebekelerinde işletme sıcaklığına ve basıncına bağlı olarak malzeme ve anma basıncı seçim standardı
TS 825	Binalarda ısı yalıtım standardı

BÖLÜM I

GİRİŞ

İnsanlığın ve medeniyetin devamlılığı kullanılabilir enerjinin varlığına bağlıdır. Artan dünya nüfusu ve gelişen teknoloji ile gün geçtikçe ihtiyaç duyulan enerji miktarı artış göstermektedir. Enerji, ilk çağlardan bu yana insanlık tarihinin en önemli konusu olmuş ve günümüzde de medeniyetimizin en önemli konusu olmaya devam etmektedir. Ülkelerin sosyal ve ekonomik gelişmişliklerini ve dolayısıyla refah derecelerini belirleyen faktör enerjidir. Enerji kaynaklarına sahip, öneminin farkında ve etkin olarak kullanan ülkeler gerek sosyal açıdan gerekse ekonomik açıdan gelişmiş ülkelerdir. Karanlık çağı yaşayan Avrupa kömürün bulunması ile sanayi devrimini gerçekleştirmiş ve refah seviyesini günümüz standartlarına çıkarmayı başarmıştır. Geleneksel olarak enerji kaynakları; kaynağından çıktığı gibi tüketilen yani birincil enerji kaynakları ve birincil enerji kaynaklarının dönüşümünden elde edilen ikincil enerji kaynakları olarak ikiye ayrılmaktadır. Dünya üzerinde yaklaşık olarak 14.406 Milyon TEP enerji tüketilmekte ve bu enerji miktarının yaklaşık %80'i fosil yakıtlardan karşılanmaktadır (MMO, 2021: 9).



Şekil 1.1. Birincil enerji kaynakları tüketimi

Fosil yakıtlar sınırlı enerji kaynaklarıdır. Fosil yakıtlardan enerji üretimi yanma teknolojileri ile gerçekleştirilmektedir. Yanma olayları sonucu atmosferdeki karbondioksit (CO_2) oranı artmaktadır. Son yüzyıl içerisinde bu oran 1,3 kat artmış ve gelecek 50 yıl içerisinde 1,4 kat daha artması ön görülmektedir. Artan CO_2 oranı ile sera etkileri oluşmaktadır. Oluşan sera etkileri ile son yüzyıl içerisinde sıcaklıkta $0,7\text{ }^{\circ}C$ artış görülmüştür. Sıcaklık değerinin $1\text{ }^{\circ}C$ artması iklim değişikliklerine, $3\text{ }^{\circ}C$ 'ye varan artışlar

buzullarda erimeye, deniz seviyelerinde yükselmelere ve kuraklıklara sebep olacaktır (Ültanır, 1996: 50-55). Fosil yakıt tüketimi küresel ısınma, asit yağmurları ve nükleer radyasyon gibi çevresel sorunlara sebebiyet vermektedir. Bunun sonucu olarak fosil yakıt tüketimi yeryüzündeki yaşamı ciddi anlamda tehdit etmektedir (Akova, 2003: 49).

Ülkeler, artan enerji ihtiyaçlarını karşılamak için alternatif enerji kaynaklarına eğilim göstermektedirler. Atomun parçalanması ile nükleer enerjiye bir eğilim olmuştur. Lakin nükleer atıklar ve yaşanan kazalar atom enerjisinin kullanılmasını da sınırlandırmıştır. Dünyanın enerji ihtiyacını karşılamak için temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç vardır. Bu kaynakların, ülkelerin dışa bağımlılığını azaltması ve sürdürülebilir olması gerekmektedir. Ülkeler enerji politikalarını yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yöneltmekte ve bu doğrultuda çalışmalar gerçekleştirmektedirler. İkincil veya yenilenebilir enerji bu noktada önem kazanmaktadır. Petrol, doğalgaz ve kömür vb. fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olması ve her geçen gün tükenmesi insanlığın önünde büyük bir problem olarak durmaktadır. 1973-1974 yıllarında meydana gelen enerji krizinden sonra yenilenebilir enerji kaynaklarına olan eğilim ile birlikte güneş enerjili sistemlere ülkelerin yaptığı ve yapacağı yatırım miktarları da artış göstermektedir (Pipe, 2013: 3-22).

Güvenilirlik, süreklilik ve temiz enerji olması yenilenebilir enerji kaynaklarının genel politikasını oluşturmaktadır. Güneş enerjisi, sürdürülebilir ve ulaşılabilir olmasından dolayı yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde ön plana çıkmaktadır. Gün geçtikçe enerji ihtiyacının artması, çevre dostu ve mevcut enerji ihtiyacının on beş katı enerji potansiyeli ile güneş enerjisinin kıymetini de artırmaktadır. Çevre dostu enerji olarak elektrik enerjisi üretiminde de tercih edilmeye başlamıştır (Avinç, 1997: 20).

Güneş, bilinen en eski birincil enerji kaynağıdır ve tüm enerji türlerinin oluşumunda dolaylı olarak veya doğrudan etkilidir. Bu özelliği ile yaşamın en temel kaynağı durumundadır. Yenilenebilir enerji olmasının yanında çevre dostu temiz enerji kaynağıdır. Ekonomik ve sürdürülebilir olması açısından dünyanın birçok bölgesinde kullanım için uygundur (Akova, 2008, 33). Fosil yakıtların sebep olduğu olumsuz çevresel faktörlerin çoğu güneş enerjisi üretiminde bulunmaz. Bunun sonucu olarak güneş enerjisi çevre dostu temiz bir enerji kaynağı olarak öne çıkar (Kaplukan, 2014: 101-109). Dünya üzerine düşen güneş enerjisi miktarı bugüne kadar tespit edilebilmiş olan

toplam fosil yakıt rezervinin 160 katıdır. Güneş; fosil yakıtlardan, nükleer ve hidrolik santrallerden bir yılda elde edilecek toplam enerjinin 15.000 katı enerjiyi dünya üzerine göndermektedir. Bu sebeple güneş enerjisi sınırsız bir enerji kaynağıdır (Ültanır, 1996: 50-55; Şen, 1996: 32).

Güneş enerjisi, kaynağını güneşteki füzyon tepkimelerinden alan temiz bir enerji kaynağıdır. Füzyon tepkimesi; iki atom çekirdeğinin birleşerek daha ağır bir atom çekirdeği oluşturduğu tepkimedir (H. Karakoç, N. Karakoç, Erbay ve Aras, 2012: 8). Güneş kütleinde saniyede 5 milyon tonluk kısmı füzyon olayı ile ısı ve ışığa dönüşmektedir. Oluşan ışığın 1.010 MW 'lık kısmı yeryüzüne ulaşmaktadır ve geliştirilen güneş enerji sistemleri vasıtasıyla belli bir kısmı enerjiye dönüştürülebilmektedir (Akova, 2008: 33).

Güneş ışıkları dünyaya ışınlama ile ulaşmaktadır. Işınım foton olarak adlandırılan taşıdığı enerji miktarı farklılık gösteren milyonlarca yüksek enerjili parçacıktan oluşmaktadır. Güneş spektrumu güneşten gelen ışınlamanın tamamını tanımlamakta ve dalga boylarına göre kategorize edilmektedir. Farklı güneş göze ve kollektörleri güneş spektrumunun farklı kısımlarını kullanmaktadır (Hankins, 2010: 13-14). Güneş enerjisi Dünya atmosferinin dışına yaklaşık 1360 W/m²'lik bir yoğunlukta ulaşmaktadır. Atmosfer bu ışınlamanın bir kısmını emmekte ve yansıtmakta dolayısıyla yeryüzüne ulaşan kısım en fazla 1000-1100 W/m² olmaktadır (Messenger ve Ven Tre, 2010: 26; Hankins, 2010: 14; Livatyalı, 2011: 7).

Güneş enerjisi yeryüzüne yayınık olarak gelmektedir. Bu sebeple yüksek sıcaklık derecelerine ulaşabilmek için yoğunlaştırılması gerekmektedir. Güneş enerjisini mekanik ve elektrik enerjisine dönüştürülebileceği gibi, aynı zamanda fotosentetik ve fotokimyasal tepkimeleri başlatabilecek özellikleri de bünyesinde bulundurmaktadır. Yarı iletkenlerde fotoelektrik ve termoelektrik etkileri kullanarak direkt olarak güneş enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir (Akova, 2008: 33).

Sokrat MÖ 400 yılında, inşa edilen evlerin kuzey yönlerindeki duvarların yüksek yapılarak rüzgarı engellemesi; güney cephesine büyük pencereler yapılarak güneş ışığının ev içine daha fazla girmesi gerektiğini savunmuştur ve güneş enerjisinden tarihte ilk yararlanan olarak kayıtlara geçmiştir. MÖ 215 yılında Arşimet, Syracuse'yı kuşatan

gemileri güneşi odaklayarak yakmayı başarmıştır (Akova, 2003: 57; Altuntop ve Erdemir, 2013: 70).

Güneş enerjisi, eski çağlardan beri kullanılmakta olup bugün ki anlamıyla kullanımı 18. Yüzyıla dayanmaktadır. 17. yüzyılda güneş enerjisinden faydalanabilme çalışmaları Galile'nin merceği icat etmesiyle başlamıştır (Akova, 2008: 34). 1767 yılında Horace'de İsviçreli bilim insanı Saussure tarafından ilk güneş kollektörü icat edilmiş ve 1830'larda Güney Afrika seferine çıkan Sir John Herschel tarafından yemek pişirmek için kullanılmıştır. 27 Eylül 1816'da İskoç bilim insanı Robert Stirling bir makine icat etmiş ve patent başvurusunda bulunmuştur. Robert Stirling'in makinesi Çanak/Stirling Sistemi adı verilen güneşin ısı enerjisini yoğunlaştırarak elektrik üreten güneş ısı elektrik teknolojisinde kullanılmıştır. 1839'da Fransız Fizikçi Alexandre Edmund Becquerel iki metal plaka arasındaki elektrik akımı şiddetini gözlemleme yoluyla ışık şiddetini ölçebilen bir cihaz icat etmiş ve böylece fotovoltaiik etkiyi keşfetmiştir (DEK-TMK, 2009: 10).

1860 yılında Fransız bilim insanı Auguste Mouchout, dünyanın ilk güneş enerjisiyle çalışan makinesini icat etmiştir. Makine vasıtasıyla suyu kaynatmış ve açığa çıkan buhar ile bir buhar türbinini çalıştırmıştır. 1861'de makinesinin patentini alan Mouchout, 1865 yılında makinesine çanak şeklinde bir reflektör entegre ederek bir buhar türbini çalıştırmaya başarmıştır (DEK-TMK, 2009: 10).

Fransız mühendis Charles Tellier güneş üzerine yapmış olduğu çalışmalar sonucunda ilk yoğunlaştırmasız ve yansıtmasız güneş makinesini icat etmiştir. Tellier'den sonra güneş enerjisi çalışmaları Avrupa'dan Amerika'ya taşınmış ve ilk ticari uygulamaları ABD'de başlamıştır. 1892 yılında güneş makinesi deneylerine başlayan Boston'lu Aubrey Eneas, 1900 yılında dünyanın ilk güneş enerjisi şirketini olan The Solar Motor Corporation'ı kurarak çalışmalarını 1905'e kadar sürdürmüştür.

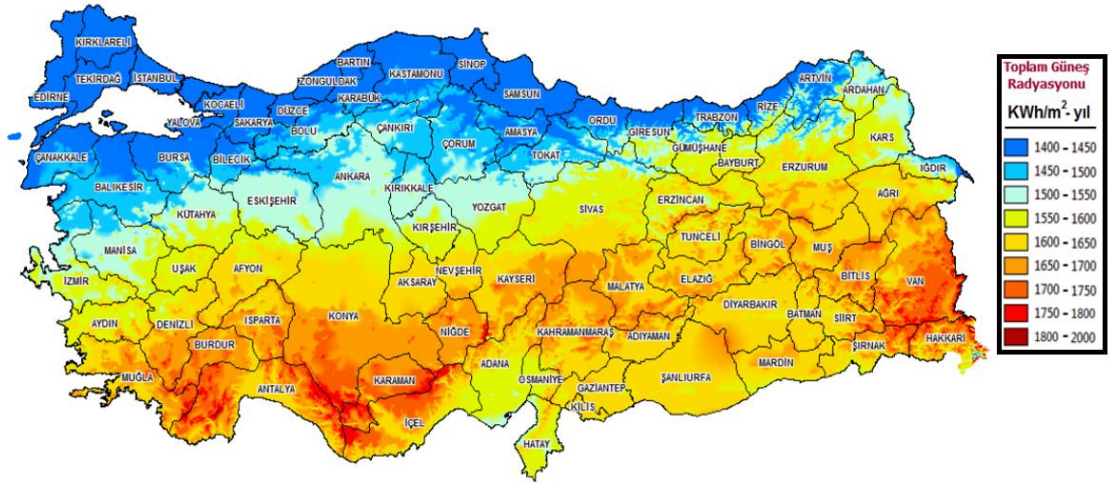
1920 ve 1930'lu yıllarda ABD'de California ve Florida gibi güneşli eyaletlerde düz levha kollektörlü güneş enerji sistemleri kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Global kömür ve petrol şirketleri, sağlamış oldukları arz düzeyi sayesinde 1914 yılından sonra güneş enerjisi çalışmalarında 50 yıllık bir duraklama yaşanmasına sebep olmuşlardır.

1950 yılında Florida Miami’de 50.000, 1955 yılında Japonya’da 30.000 güneş enerjili su ısıtma sistemi kullanımına başlamış ve bu yıllar güneş enerjisi kullanımının yaygınlaştığı yıllar olarak dikkat çekmiştir. Fakat, güneş enerjisi teknolojisi, ilk yatırım maliyetinin yüksek oluşundan dolayı, petrol ve doğalgaz ile rekabet edememiştir (Akova, 2008: 35).

1970’li yıllarda yaşanan petrol krizi; uygulanan ambargo ile fosil yakıt tüketiminden kaynaklı küresel ısınma ve nükleer kirlilik tekrar gündeme gelmiş, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin daha da artmasına neden olmuştur (DEK-TMK, 2009: 16).

Türkiye’de enerji ihtiyacındaki artış tam olarak tespit edilememiş ve buna bağlı olarak üretim planlaması da sağlıklı yapılamamıştır. Bazı dönemlerde yapılan fazla üretimle enerji fazlalığı oluşurken bazı dönemlerde üretim, enerji ihtiyacını karşılayamamıştır. Enerji açığı başlıca petrol ve doğalgaz olmak üzere ithalat yoluyla kapatılmaya çalışılmıştır. Bunun sonucu olarak enerji üretiminde dışa olan bağımlılık artmıştır. Yüksek fiyatlı enerji alım anlaşmaları Türkiye’nin diğer ülkelere nazaran daha yüksek fiyatlarda enerji tüketmesine yol açmaktadır (Maç, 2006: 4).

36°-42° kuzey enlemi ve 26°-45° doğu boylamları arasında yer alan Türkiye, yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Türkiye’nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saatken günlük toplam güneşlenme süresi 7,2 saattir. Karadeniz bölgesi güneş enerjisi potansiyeli en düşük bölgedir. Karadeniz bölgesi dışında kalan alanlarda 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeli ve yıllık birim metre kareden 1100 kWh’lik enerji üretilebilme imkanı ortaya çıkmaktadır. Yeryüzüne saniyede yaklaşık olarak 170 milyon MW güneş enerjisi gelmektedir ve Türkiye’nin yıllık enerji üretimi 100 milyon MW’tır. Saniyede yeryüzüne gelen güneş enerji miktarı Türkiye’nin üretmiş olduğu bir yıllık enerji miktarının 1,7 katıdır. Güneş Enerjisi potansiyeli 380 milyar kWh/yıl olarak hesaplanmaktadır. Ortalama toplam ışınım şiddeti ise 1.311 kWh/m²yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²)’a ulaşmaktadır (Topçu ve Yünsel 2012: 32; Koç ve Şenel, 2013: 39; Öztürk ve Küçükerdem, 2016: 12-16; Taşkın ve Korucu, 2014: 13).



Şekil 1.2. Türkiye güneşlenme haritası (GEPA)

Türkiye, en fazla güneşlenme süresine temmuz ayında, en az güneşlenme süresine aralık ayında sahiptir. Bölgesel olarak da Güneydoğu Anadolu, Akdeniz Bölgesi, İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgeleri güneşlenme süreleri bakımından sıralanmaktadır. Türkiye’de güneş enerjisinin alternatif enerji kaynağı olduğu 1960’ların başında anlaşılmıştır ve üniversitelerde verilen araştırma tezleri ile ilk çalışmalar başlamıştır. 1970’lerin ortalarına gelindiğinde, dünyada gelişen güneş enerjisi teknolojisine paralel olarak Türkiye’de de özellikle ısı uygulamaları olmak üzere güneş enerjisi çalışmalar hız kazanmıştır (Selçuk, 1975: 103-109). Güneş enerjisi konusundaki ilk ulusal kongre 1975 yılında İzmir’de gerçekleştirilmiştir ve ilk pasif güneş enerjisi uygulaması ODTÜ bünyesinde 1975 yılında oluşturulmuştur (Eryıldız ve Demirbilek, 2000: 245-254). Türkiye’de güneş enerjisi üzerine çalışmalar ağırlıklı olarak ODTU, İTÜ, Yıldız ve Ege Üniversiteleri tarafından yapılmakla beraber, Türkiye’deki tek Güneş Enerjisi Enstitüsü 1978 yılında Ege Üniversitesi bünyesinde kurulmuş ve halen faaliyet göstermektedir.

1980’lerin sonuna gelindiğinde güneş enerjisi üzerine yapılan çalışmalar, TUBİTAK bünyesinde kurulan Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü ’nde yürütülmeye başlanmıştır. MBEAE güneş enerjisi düşük sıcaklık uygulamaları ve Türk endüstrisinin ısı enerji ihtiyacının modellenmesi konusundaki projeleri 1977-1985 yılları arasında ağırlıklı olarak desteklemiştir.

1992 yılından itibaren Türk devletinin izniyle Uluslararası Güneş Enerjisi Derneği Türkiye Şubesi (UGET-TB) aktif olarak çalışmaya başlamıştır (Hepbaşlı, 2004: 107-

118). Devlet Meteoroloji Enstitüsü geçen yüzyılın başından itibaren kurmuş olduğu istasyonlar vasıtasıyla iklimsel verileri kayıt altına almakta ve bu verilerin değerlendirilmesi ve dağıtımını sağlamaktadır. DME güneş enerjili su ve alan ısıtma üzerine yapılan çalışmalara imkan sağlarken, 1982 yılından itibaren yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi görevini üstlenmiştir. MKE kurumu ise düzlemsel ve silindirik parabolik toplayıcıların üretim, test ve pazarlanma konusundaki çalışmaları kısa süreli olarak gerçekleştirmiştir.

Türkiye’de güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin üretimine ilk olarak 1975 yılında İzmir’de başlanmıştır. Türk halkı tarafından kabul gören bu sistem, zamanla çeşitli firmalar tarafından da üretimine başlanmıştır (Eskin, 2006: 77). Türkiye, güneş enerjisinden sıcak su elde etmek için kullanılan güneş kolektörleri üretiminde Çin’den sonra 2. sırada yer almaktadır. Türkiye’nin yıllık güneş kolektörü üretimi 27 041 636 m²’dir (Weiss ve Spörk-Dür, 2023: 59).

Türkiye’de güneş enerjisi uygulamaları açısından TSE tarafından geliştirilmiş iki standart bulunmaktadır. Bunlar, Güneş Enerjisi Düz Toplayıcıları ve Güneş Enerjili Isıtma Sistemleri Tesis ve İşletmesi (Eskin, 2006: 78) standartlarıdır.

Bu çalışmada, araştırma lokasyonları olarak farklı derece-gün bölgelerinde bulunan 6 farklı il seçilmiştir. Seçilen her il için ayrı ayrı 6 farklı güneş kolektörü (panel ve vakum tüplü) belirlenerek gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Örnek bir il ve kolektör için ekonomik analiz yapılarak geri ödeme süresi hesaplanmıştır. CO₂ salınımı hesaplamaları yapılarak sistemin hava kirliliğinin azaltılmasına olan katkısı vurgulanmıştır.

BÖLÜM II

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde güneş enerjisi ile su ısıtma sistemleri konusunda yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Aste vd. (2012: 86) güneş enerjili sıcak su sistemlerinin hızlı, teknik ve ekonomik değerlendirmesi için f-Chart yöntemi kullanılarak nomograf çalışması yapmışlardır. Sunulan nomograf ile, performans değerlendirmesi açısından oldukça güvenilir, mevcut diğer daha karmaşık araçlarla uyumlu, tüm kullanıcılar tarafından teknik ve ekonomik bilgileri hızlı bir şekilde okunabileceği ortaya konulmuştur.

Gautam vd. (2017: 68) güneş enerjili su ısıtma sisteminin teknik gelişmeleri, ekonomik fizibilitesi ve dünya senaryosu üzerine bir inceleme gerçekleştirmişlerdir. Güneş enerjili sıcak su sistemlerinin verimliliğinin ve güvenilirliğinin artması için araştırmacıların odak noktasının sistem performanslarının iyileştirilmesi olması gerektiği sonucuna varmışlardır.

Mohd Rosli ve Jamil (2019: 57) evsel su ısıtma uygulaması için fotovoltaiik-termal kolektörün fizibilitesini belirlemek amacı ile F-Chart yöntemini kullanarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Fotovoltaiik termal toplayıcı, özellikle su ısıtma uygulaması için evsel enerji tüketimini azaltmada büyük potansiyele sahip ve hibrit özelliği aynı anda hem elektrik hem de termal enerji üreterek evlerin enerji ihtiyacını karşılamaya uygun oluşu sonucuna ulaşmışlardır. Bununla birlikte, hibrit tasarımın tek başına ısıtma uygulaması için çalıştırılması, fotovoltaiik-termal toplayıcının alan/enerji oranının düşük olması nedeniyle pratik görünmediğini tespit etmişlerdir.

Tunc ve Camdali (2017: 7) güneş enerjisi kullanarak optimal mekan ve su ısıtma sisteminin yapılabilirliğini niceliksel olarak ortaya koymak için bir çalışma yapmışlardır ve toplam enerji talebinin %92'sinin güneş enerjisiyle karşılanabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Abd-ur-Rehman ve Al-Sulaiman (2016: 62) Suudi Arabistan'ın yerel sektörü için karşılaştırmalı teknoekonomik fizibilite çalışmasına dayalı olarak güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin optimum seçimi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Toplayıcı sayısının daha yüksek başlangıç maliyetinin hakim olacağı ve projenin ekonomik uygulanabilirliğini azaltacağı bir sınıra kadar artırılmadığı sürece daha fazla sayıda konut sakininin daha düşük bir geri ödeme süresi ve daha yüksek bir fayda/maliyet oranı sağladığını savunmuşlardır.

Singh vd. (2020: 3) RETScreen temiz enerji yönetimi yazılımı aracılığıyla Hindistan'ın konut, ticari ve endüstriyel sektörlerindeki güneş enerjili su ısıtma sistemi uygulamalarının tekno-ekonomik ve çevresel uygulanabilirliğini değerlendirmişlerdir. Yapılan simülasyon modellerinin Hindistan'ın konut, ticari ve endüstriyel sektörleri için güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin uygulanabilir olduğu ve zenginleştirilmiş miktarda sera gazı azaltım potansiyelini gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

Akova (2003: 11) endüstriyel ve sosyal hayatta yenilenebilir enerji kaynakları üzerine bir çalışma yapmıştır. Sanayileşmede ve insan hayatının refah seviyesinin artırılması için yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanmak gerektiği sonucuna ulaşmıştır.

Altuntop ve Erdemir (2013: 54) güneş enerjisi ile alakalı olarak dünya ve ülkemizdeki meydana gelişmeler üzerine yaptıkları çalışmada gerek yasal düzenlemelerin yapılması gerekse akredite laboratuvarları ve uluslararası belgelendirme birimlerinin kurulması ile güneş enerjisinden elektrik üretiminde artış olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Eskin (2006: 91) tarafından güneş enerjili sistemlerin özel ve tüzel kuruluşlar eliyle daha da geliştirilmesi amacı ile Türkiye'de yapılan çalışmalar derlenmiştir.

Kapluhan (2014: 29) güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten sistemlerin dünya ve Türkiye'deki uygulamaları hakkında genel bilgi vermek amacı ile bir çalışma gerçekleştirmiştir.

Kılıç (1993: 1) yapmış olduğu çalışmada genel olarak güneş enerjili sıcak su sistemlerinin dolaşım şekillerini araştırmış, ısı transfer akışkanı üzerine bir inceleme çalışması yapmıştır.

Koç ve Şenel (2013: 54) yaptıkları çalışma ile Dünya ve Türkiye'deki enerji durumlarını incelemişlerdir. Konvansiyonel ve yenilenebilir enerji kaynakları için durum tespiti yapmışlardır.

Sarkınç ve Şerefhanoglu Sözen (2010: 5) güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin mimari açıdan değerlendirildiği ve Mersin ili için iyileştirmeler noktasında çözüm önerilerinde bulunduğu bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda yaşanan sıkıntıların çözümü olarak gerekli düzenlemeler ve yaptırımların uygulamaya geçirilmesi; projenin belirli ölçütler çerçevesinde tasarlanması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır.

Taşkın ve Korucu (2014: 17) Kahramanmaraş ili ve ilçelerinin güneşlenme süreleri üzerine yaptıkları çalışmalarında, il merkezinin yıllık güneşlenme süresinin 2918 saat ve ısıtım şiddetinin 1608 kWh/m² olarak tespit etmişlerdir. Ayrıca en fazla güneşlenme süresine sahip olan ilçenin Pazarcık ve en fazla ısıtım şiddetine sahip olan ilçenin ise Nurhak olduğunu tespit etmişlerdir.

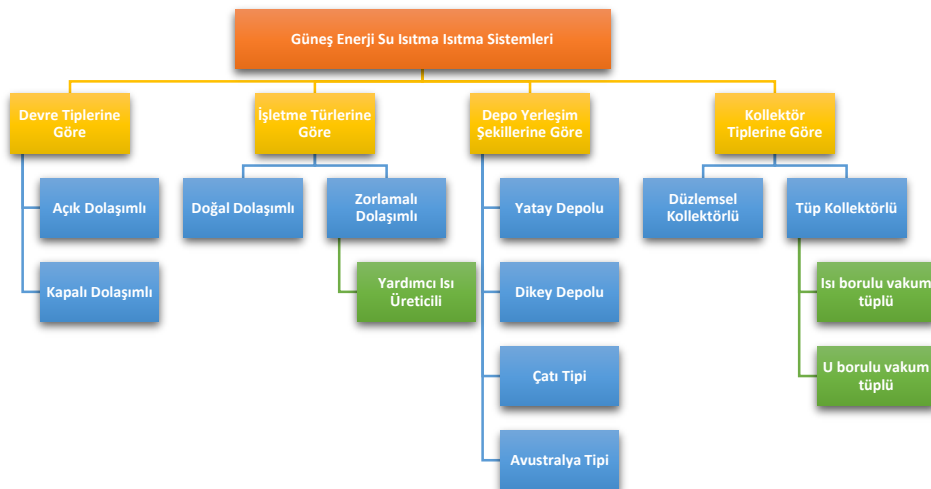
Uzunoğlu vd. (2001) güneş enerjisinin dolaylı veya direkt olarak kullanım alanları üzerine yapmış oldukları çalışma neticesinde güneş enerjisi kullanımına olan ilginin giderek artacağı görüşüne varmışlardır.

BÖLÜM III

GÜNEŞ ENERJİLİ SU ISITMA SİSTEMLERİ

Güneş enerjili sıcak su sistemleri güneş enerjisinin düşük sıcaklık uygulamalarındandır. Yüksek sıcaklıklara gerek duyulmaması güneş takibi ihtiyacını ortadan kaldırır. Bunun yanı sıra parabolik veya heliostat gibi pahalı kollektörler yerine düz kollektörlerin kullanabilmesi ve kolay uygulanabilir olması yönünden dünyada ve ülkemizde kullanım alanı oldukça geniştir.

Güneş enerjisi, su ve hava gibi akışkanları ısıtmak için yaygın olarak kullanılan bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjili ısıtma sistemleri, sıcak su, yüzme havuzları, endüstriyel uygulamalar ve hatta ev ısıtması gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Ülkemizde, güneş enerjili ısıtma sistemleri, sıcak su ihtiyacının karşılanmasında en yaygın kullanılan uygulamadır. Üretilen sıcak suyun kullanım yeri ve kullanım amacına göre güneş enerjili sıcak su sistemleri değişiklik gösterir (Uyarel ve Öz, 1987: 239). Güneş enerjili sıcak su ısıtma sistemleri, güneş ışınlarını alan kollektörler, ısıtılmış suyun biriktirildiği depo, depo ve kollektörler arasındaki yalıtımlı bağlantı boruları, otomatik kontrol cihazı ve pompa gibi sistemi tamamlayan elemanlardan oluşmaktadır. Güneş enerjili su ısıtma sistemleri Şekil 2.1’de gösterildiği gibi devre şekillerine göre, işletme türlerine, depo yerleşim şekline ve kollektör tipine göre gruplara ayrılırlar.



Şekil 3.1. Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin sınıflandırılması

Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin tamamının ana elemanı, güneş ışınlarını toplayarak ısı enerjisine dönüştüren kolektörlerdir. Kullanılan sisteme göre, depo, pompa, kontrol ünitesi, ısı değiştiricisi gibi sistem elemanlarına da sahip olabilmektedirler. Kolektörlerde ısıyan su, seçilen sistem tipine göre kullanıma hazırlanmakta ve aynı şekilde sistemin dolaşım tipine göre kullanılacak alana taşınmaktadır. Güneş enerjili su ısıtma sistem tipleri, ilk yatırım maliyeti ve sistemin genel verimi üzerinde doğrudan etkilidir. Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde, suyun kolektörler ile depo arasındaki dolaşımını sağlıklı ve daimi olarak devam ettirebilmesi, sistemin güvenilirliği ve verimi açısından en önemli konudur (Sarkınç ve Şerefhanoglu Sözen, 2010: 2). Konutlarda ihtiyaç duyulan sıcak su miktarının önemli bir kısmı güneş enerjili su ısıtma sistemlerinden karşılanabilmektedir. Öncelikle güneş enerjisinin kullanılabilmesi için toplanması gerekir. Basitlik ve ucuzluk gibi sebeplerden dolayı ısı toplama işlemi tercih edilmektedir (Uzunoglu, Yüksel ve Ok, 2001: 89-95). Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin işletme problemlerini aşırı ısınma, donma, kireçlenme ve korozyon olarak sıralayabiliriz. Öngörülen bu problemler için seçilen sistem ve kurulum yapılacak bölgenin özelliklerine göre farklı tedbirler alınabilir. İşletme problemlerinin giderilmesi noktasında atılacak adımlar, sistemin geri ödeme süresinin kısalmasına doğrudan etki edecektir. İşletme maliyetleri göz ardı edildiğinde ilk kurulum maliyeti diğer su ısıtma sistemleri ile yakın maliyettedir. Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin en büyük avantajı yakıt olarak güneş enerjisini kullanmasıdır (Kılıç, 1993: 30-37). Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin seçiminde meteorolojik koşullara, suyun özelliklerine, binanın konumuna ve yapının kullanım şekline dikkat edilmelidir.

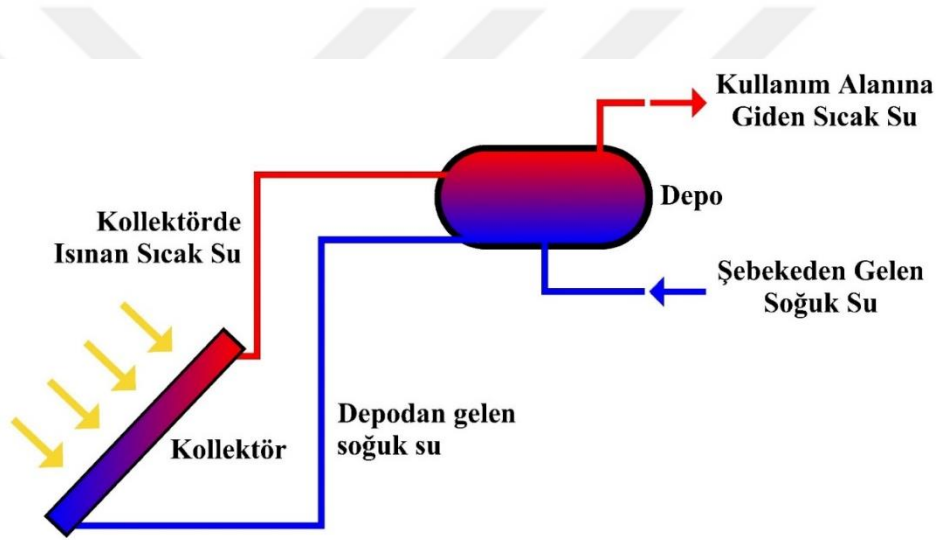
3.1 Devre Tiplerine Göre Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri

Güneş enerjili su ısıtma sistemleri devre tipine göre açık devre ve kapalı devre olmak üzere ikiye ayrılır.

3.1.1 Açık Dolaşımli Devre

Açık devre sistemlerde kullanım suyu ile sistem içerisinde dolaşan su aynıdır. Açık devre sistemler suyun kireçsiz ve donma olayının yaşanmadığı bölgelerde kullanılmaktadır. Kapalı sistemlere nazaran ilk kurulum maliyetleri ucuz ve sistem verimleri yüksektir.

Açık devre sistemlerde, soğuk su kollektör içerisinde kollektör tarafından soğurulan güneş enerjisi ile ısıtılır ve kullanım alanına gönderilir. Isıtılan ve kullanılan su aynı olduğu için ek maliyet içermez. Bu sistemlerde ısı kullanım suyuna direkt olarak aktarıldığı için verim oranı artarken, sistemin suyun yapısına ve doğa koşullarına karşı korunumu azalır. Düşük sıcaklıklarda donan kullanım suyu sisteme zarar verebileceği gibi yüksek sıcaklıklarda kaynayan suyunun buharı kollektör üzerinde birikerek güneş enerjisinden yararlanma oranını azaltacak ve kollektör verimini düşürecektir. Yine kullanım suyunun korozyif etkisi ile sistem elemanlarında aşınmalar meydana gelerek sistem ömrünü azaltmaktadır. Ülkemizde de şebeke suları yoğun içeriğe sahip olduğu için bu sistemlerin kullanımı problemlere sebep olmaktadır. Ayrıca dayanıksız yapısı gereği yaygın olarak kullanılmasının da önüne geçmektedir.

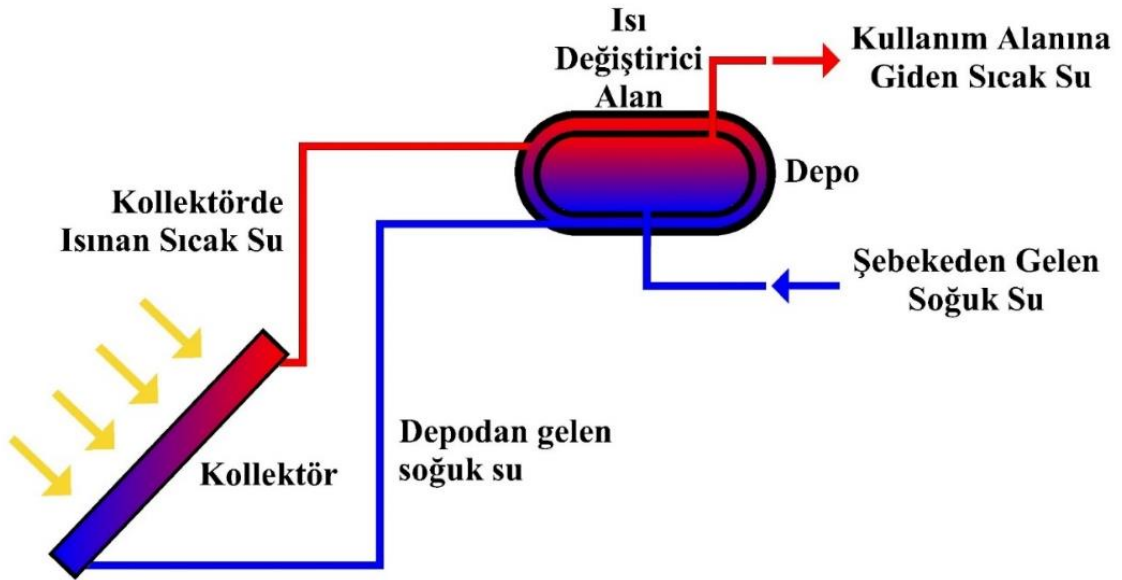


Şekil 3.2. Açık dolaşimli devre

Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde, kollektörlerde ısınan su, depoya aktarılır. Depo hem ısınan suyu depolar hem de sistemin ısı dengesini sağlar. Sistemin etkili çalışması için, kollektör ve depo arasındaki yükseklik farkının 600 milimetre olması yeterlidir. Çok uzun veya çok dar borular kullanmak, suyun sirkülasyonunda gecikmelere neden olabilir. Depoya soğuk su girişi, deponun alt kısmından yapılır. Bu, soğuk su ile ısıtılmış su arasındaki sıcaklık etkileşimini azaltır. Ancak, kollektör verimi, kollektör girişindeki su sıcaklığının düşüklüğüne bağlıdır.

3.1.2 Kapalı Dolaşım Devre

Güneş enerjili su ısıtma sistemindeki ısıtma suyu ile kullanım suyu farklı olan iki devreli sistemdir. Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde, kolektörlerde ısınan su, ısı eşanjöründen geçerek depodaki suya ısısını aktarır. Bu sayede, depodaki su da ısınır ve kullanıma hazır hale gelir. Bu sistemde dolaylı olarak eşanjör vasıtası ile ısıtma yapıldığı için açık dolaşımli sistemlere nazaran verimi düşüktür. Maliyet olarak açık dolaşımli sistemlerden daha yüksektir. Ancak zamanla kullanım suyundan kaynaklı olarak meydana gelebilecek olan donma ve kireçlenme gibi olumsuz olaylara bu sistemde rastlanmaz. Isıtma suyuna antifriz eklenebilmesi sistemi avantajlı konuma getirmektedir. Kolektör üst su seviyesi ile depo alt su seviyesi arasındaki yükseklik farkı en az 450 mm olmalıdır (Uyarel ve Öz,1987: 239).



Şekil 3.3. Kapalı dolaşımli devre

Kapalı devre sistemlerde kolektör devresi belli bir basınç altında kapalı olarak üretilmektedir. Güneşten alınan ısı bir eşanjör vasıtası ile depo içindeki kullanım suyuna aktarılmaktadır. Bu tür sistemlerde ısıtma suyu ile kullanım suyu birbirine karışmaz. Bu sebeple ısıtma suyuna antifriz ve korozyon önleyici kimyasal maddeler eklenebilir ya da farklı ısıtma akışkanları kullanılabilir. Kapalı devre sistemler donma gibi riskleri ortadan kaldırdığı için yaz ve kış aylarında kullanılabilir. Kapalı devre sistemlerde 2 farklı akışkan çevrimi gerçekleşmektedir. Birinci çevrim kolektör

akışkanının bulunduğu, ikinci çevrim kullanım suyunun bulunduğu çevrimdir. Kollektörlerde ısınan ısı transfer akışkanı su deposu içerisindeki eşanjörlerden geçerek kullanım suyuna taşınmış olduğu ısıyı aktarır. Açık sistemlere göre daha fazla sistem elemanına sahip olmasından dolayı ilk kurulum maliyeti daha yüksektir. Fakat, sistem kullanım suyundan bağımsız olduğu için ısı transfer akışkanında meydana gelebilecek donma, kireçlenme ya da korozyon gibi sorunlardan korunmuş olacaktır. Seçilen antifriz özellikli ısı transfer akışkanı sayesinde, yüksek sıcaklıklarda kollektör üzerinde buhar oluşması ya da düşük sıcaklıklarda donma riski ortadan kaldırılmış olmaktadır.

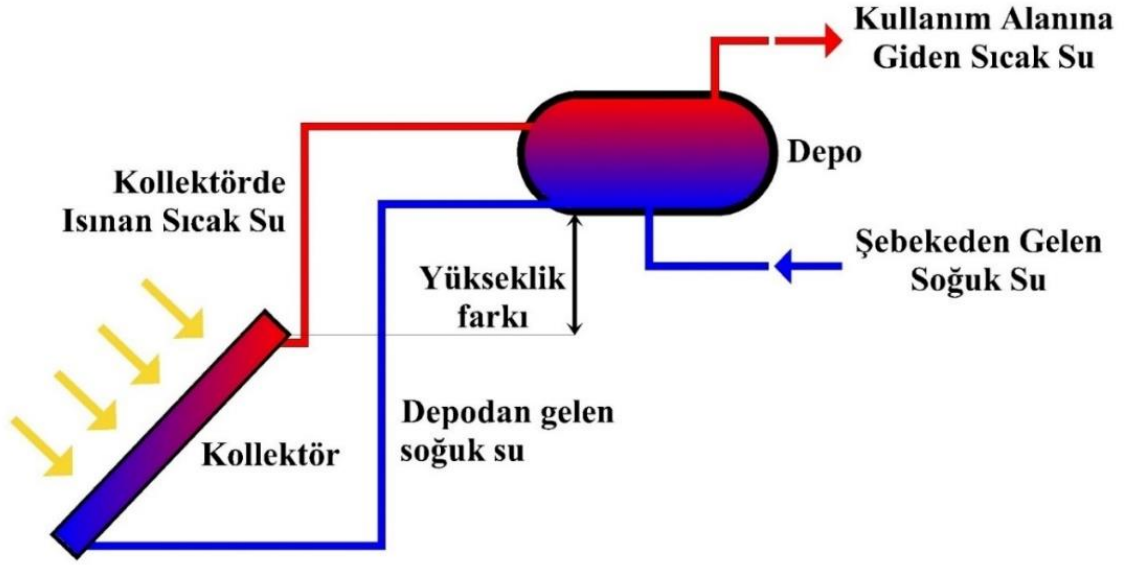
3.2 İşletme Türlerine Göre Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri

Güneş enerjili su ısıtma sistemleri işletme dolaşım şekline göre doğal dolaşimli ve zorlanmış dolaşimli olmak üzere ikiye ayrılır.

3.2.1 Doğal Dolaşimli Sistemler

Doğal dolaşimli sistemlerde ısı transfer akışkanı devre içerisinde kendiliğinden dolaşmaktadır. Kollektörlerde ısınan ısı transfer akışkanının yoğunluğunda meydana gelen değişim ile dolaşım gerçekleşmektedir. Doğal dolaşimli sistemlerde kollektör üst akışkan seviyesi ile depo alt su seviyesi arasındaki fark en az 450 mm olmalıdır. Deponun alt seviyesinde bulunun soğuk su kollektörlerde ısınarak yoğunluğu azalır ve deponun üst kısmına doğru hareket eder. Bu işlem gün boyu kendini tekrar eder ve depodaki su ısınmış olur. Doğal dolaşimli sistemler ihtiyaç duyulan su miktarının daha az olduğu uygulamalar için tercih edilir. Deponun üst kısımda bulunma mecburiyetinden dolayı büyük sistemlerde uygulanamazlar. Pompa ve otomatik kontrol sistemine ihtiyaç duyulmadığı için maliyeti daha düşüktür. Doğal dolaşimli sistemlerde açık ve kapalı devre sistemler olarak ikiye ayrılırlar (Uyarel ve Öz, 1987: 239). Doğal dolaşimli sistemlerde kollektörlerde ısınan suyun, ısıya dayalı pasif taşınım yöntemi ile kollektörden transferi gerçekleşir. Kollektörün alt kısmından giriş yapan soğuk su, kollektör içerisinde ısınır ve yoğunluğunda azalma meydana gelir. Yoğunluğu azalan su yükselerek kollektörün üst kısmından çıkış yapar. Kullanılan sistem tipine göre direkt olarak kullanıma veya su deposu içerisindeki eşanjöre aktarılır. Doğal dolaşimli sistemlerde ısınan suyun sirkülasyonu doğal akış ile gerçekleştiği için depo ile kollektör arasındaki mesafe yakın olmalıdır. Bu sebeple de depo kollektörün üzerinde bulunmaktadır. Doğal dolaşimli

sistemler, basit yapıli sistemlerdir. Pompa ve otomatik kontrol sistemi gibi sistem elemanlarına ihtiyaç duyulmamasından dolayı ilk kurulum maliyeti daha düşük; bakım ve ek enerji maliyeti yoktur. Bu ve benzeri sebeplerden dolayı ülkemizde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat bu sistemler, aşırı ısınma ve donma olaylarına karşı daha hassas sistemlerdir. Bu nedenle günümüzde yerini yavaş yavaş zorlanmış dolaşımli sistemlere bırakılmaktadırlar.



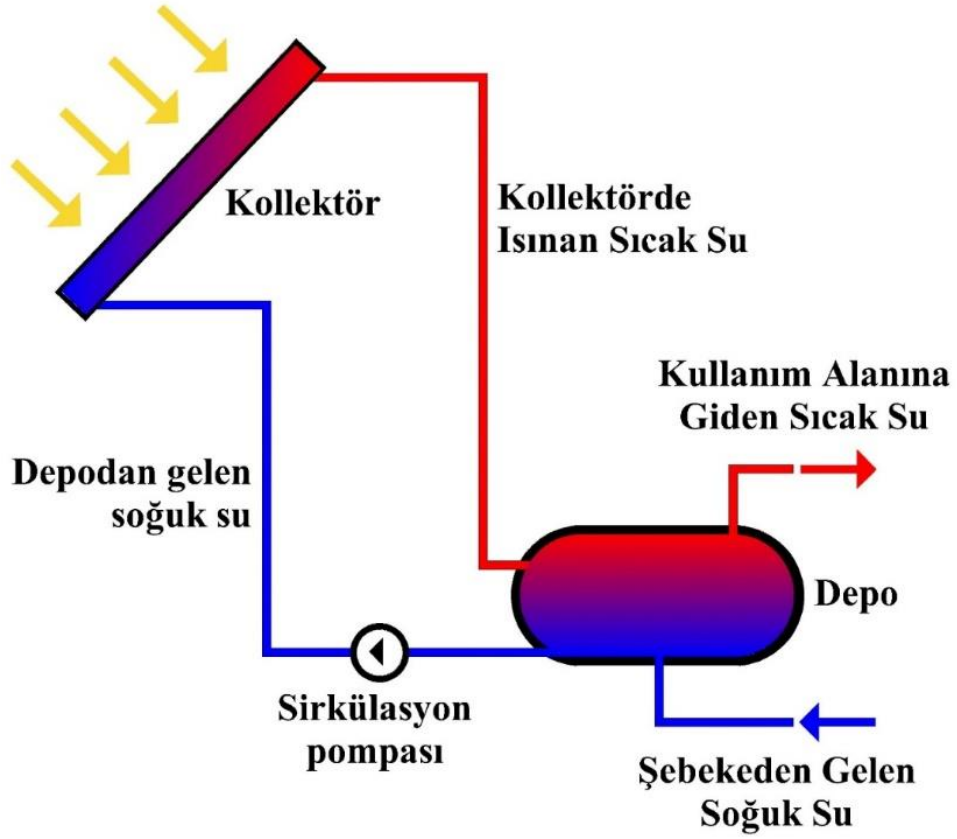
Şekil 3.4. Doğal dolaşımli sistemler

3.2.2 Zorlamalı Dolaşımli Sistemler

Zorlamalı dolaşımli sistemlerde ısı transfer akışkanını bir pompa vasıtası ile dolaşımı sağlanmaktadır. Bu tür sistemlerde deponun konumunun bir önemi yoktur. Büyük sistemlerde ısı transfer akışkanının direnci artar ve doğal dolaşım sağlanamadığı ve büyük su depolarının kollektörler üzerine konumlandırılmadığı için pompa kullanım zorunluluğu doğmuştur.

Zorlamalı dolaşımli sistemlerde pompa otomatik kontrol devresi ile birlikte çalışmaktadır. Kollektör çıkışına ve depo tabanına yerleştirilmiş olan diferansiyel termostatin sensörleri, kollektördeki akışkanının depodaki sudan 10 °C daha sıcak olduğu anda pompayı çalıştırır ve sıcaklık farkı 3 °C'ye düştüğünde pompayı kapatır. Böylece kollektörlerde ısınan su depoya taşınmış olur. Zorlamalı dolaşımli sistemlerde pompa ve

otomatik kontrol devresinin dönem dönem arıza yapması sebebiyle doğal dolaşımli sistemlere göre işletme zorluğu ortaya çıkar.



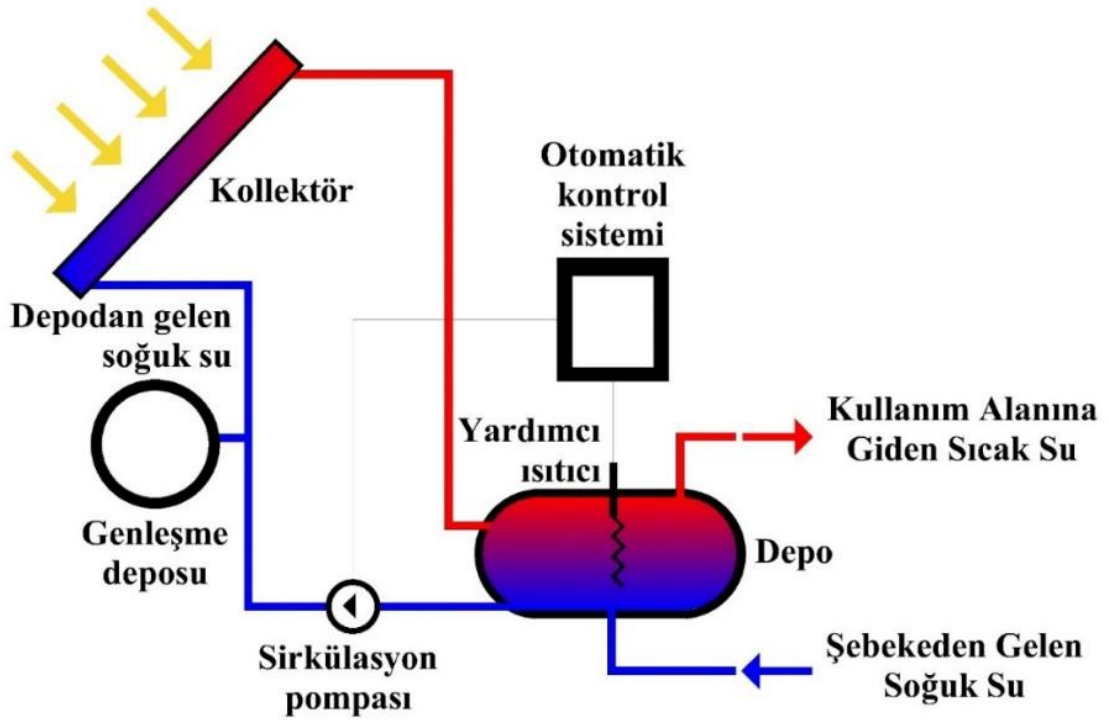
Şekil 3.5. Zorlamalı dolaşımli sistemler

Zorlamalı dolaşımli sistemlerde, su kollektörlerde ısıtılır ve zorlanmış taşınım prensibiyle depo alanına transfer edilir. Bu işlem bir sirkülasyon pompası vasıtasıyla gerçekleştirilir. Bu nedenle zorlamalı dolaşımli sistemlerde ek bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulur. Sistem içerisinde pompa olması deponun kollektörden bağımsız olarak konumlandırılmasına imkan sağlar. Bu sayede sıcak su ihtiyacının yoğun olduğu alanlarda depo çatı yerine aşağı kısımlara yerleştirilebilir. Ayrıca depo iklim şartlarına göre izole edilerek ısı kaybının da önüne geçilebilir. Zorlamalı dolaşımli sistemler mevcutta kullanılan ısıtma sistemleri ile entegre edilebilirler. Mevsim şartları nedeniyle güneş ışınımının yetersiz kaldığı zamanlarda elektrik veya doğalgaz gibi dış kaynaklar ile desteklenebilirler. Zorlamalı dolaşımli sistemlerin en belirgin özelliği ek bir ısı kaynağı ile desteklenebilmesidir. Gelişen teknoloji ile birlikte zorlamalı dolaşımli sistemlere otomatik kontrol devreleri entegre edilmiştir. Bu sayede pompa daha verimli kullanılabilmekte ve kendi içerisinde güvenlik önlemleri alınabilmektedir. Ayrıca kombi

ve kazan gibi ek ısı kaynakları ile desteklenebilir hale gelmiştir. Böylece elde edilen sıcak su ile kullanım suyu dışında ısıtma sistemine de destek olarak kullanılabilir.

3.2.2.1 Yardımcı Isı Üreticili Sistemler

Yardımcı ısı üreticili sistemler, tek başına güneş enerjisinin yeterli olmadığı şartlarda tercih edilen sistemlerdir. Yardımcı ısıtıcı için elektrik, LPG ya da doğalgaz ile çalışan sistemler kullanılabilir. Genel olarak kapalı zorlamalı tip güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde kullanılırlar. Otomatik kontrol devresi ihtiyaç duyulan sıcaklık için yardımcı ısıtıcı sistemini devreye sokar ve istenilen sıcaklık seviyesine ulaşıldığında sistemi kapatır. Güneş enerjili su ısıtma sistemleri, güneş ışınlarının yoğun olduğu zamanlarda suyu ısıtarak, güneş ışınlarının az olduğu zamanlarda depodaki suyu kullanır. Ancak, güneş ışınlarının yeterli olmadığı zamanlarda, depodaki su yeterince ısınmayabilir. Bu durumda, termostatlı rezistans devreye girer ve depodaki suyu ısıtır.



Şekil 3.6. Yardımcı ısı üreticili sistemler

3.3 Depo Yerleşim Şekillerine Göre Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri

Güneş enerjili su ısıtma sistemleri depo şekillerine göre dikey depolu, yatay depolu, çatı tipi ve Avustralya tipi olmak üzere dörde ayrılır.

3.3.1 Yatay Depolu Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri

Soğuk ve sıcak su depolarının yatay konumda olduğu güneş enerjili su ısıtma sistemleridir. Devre tipine göre kapalı devre sistemlerde sıcak su deposu ile kollektörler arasındaki yükseklik farkı en az 450 mm olmalıdır ve sıcak su deposu kollektörlerin üzerinde olmalıdır. Devre tipine göre açık ve kapalı sistemlerde; dolaşım şekline göre doğal ve zorlanmış dolaşimli sistemlerde yatay depo kullanılabilir.



Şekil 3.7. Yatay depolu güneş enerjili su ısıtma sistemleri

3.3.2 Dikey Depolu Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri

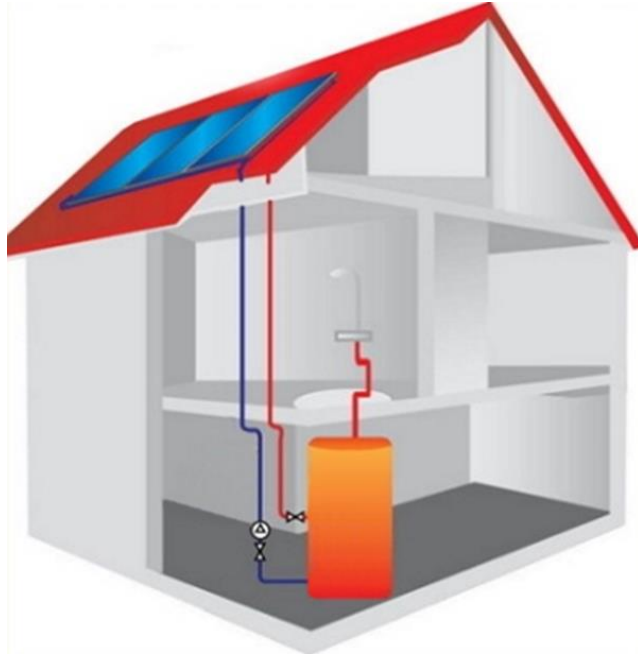
Dikey depolu güneş enerjili su ısıtma sistemleri, sadece bir sıcak su deposundan oluşur. Bu depo, dikey olarak konumlandırılmıştır. Su sirkülasyonu, doğal taşınım ile gerçekleşir. Bu nedenle, sisteme pompa gerekmez. Bu sistemler, devre tipine göre kapalı devreli sistemlerdir. Üretim maliyetleri, yatay depolu sistemlere göre daha düşüktür. Dışarıdan bakıldığında tek bir depo gibi görünse de sistemin iç gövdesi iki bölüme ayrılır. Sisteme soğuk su girişi bir şamandıra vasıtasıyla sağlanır. Soğuk su alt bölümde sıcak su üst bölümde depolanır. Sıcak su kullanımı ile şamandıra devreye girer ve şebekeden gelen soğuk su sisteme giriş yapar. Böylece ısıtma işlemi tekrar başlamış olur. Devamlı şebeke suyunun bulunduğu bölgelerde yaygın olarak kullanılır. Soğuk su deposunun küçük olmasından dolayı su kesintilerinin fazla olduğu bölgelerde verimli çalışma sağlanamaz.



Şekil 3.8. Dikey depolu güneş enerjili su ısıtma sistemi

3.3.3 Çatı tipi güneş enerjili su ısıtma sistemleri

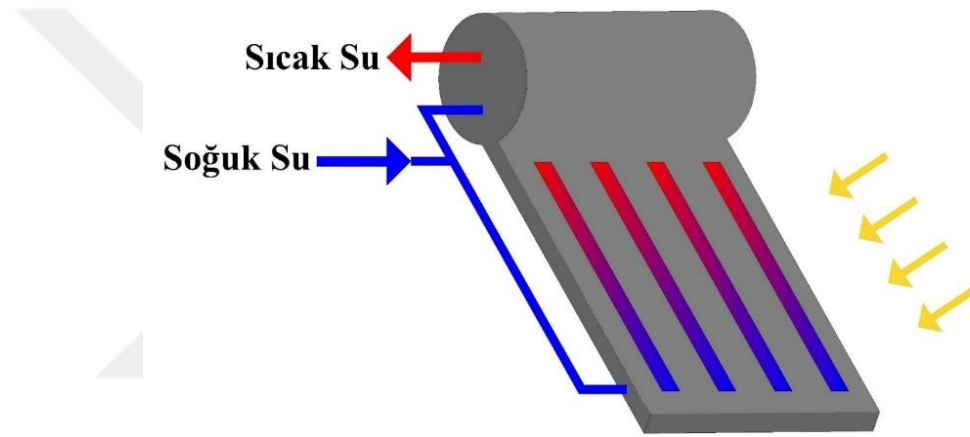
Çatı tipi güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde çatı üzerine sıcak veya soğuk su deposu bulunmaz. Depolar çatının alt kısmına konumlandırılmıştır. Dolaşım şekline göre zorlamalı akışlı sistem tercih edilmişse depo daha aşağıda bir bölgeye de konumlandırılabilir. Sistem içerisinde sirkülasyon bir pompa vasıtasıyla gerçekleştirilir. Sistemde otomatik kontrol sistemi bulunmaktadır.



Şekil 3.9. Çatı tipi güneş enerjili su ısıtma sistemi

3.3.4 Avustralya Tipi Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri

Bu tür sistemler Avustralya’da yaygın olarak üretilir ve kullanılır. Bu sebeple ismini buradan almaktadır. Bu toplayıcılar, genellikle siyaha boyanmış metal levhalardan oluşur. Bu sayede, toplayıcılar, güneş ışınlarını daha fazla emer. Toplayıcı ve sıcak su deposu tek parça olarak üretilmektedir. Bu sistemlerde panel tip kollektörler de kullanılabilir. Kollektörün alt kısmında bulunan soğuk su ısıtarak yukarı doğru hareket eder ve sıcak su deposuna girer. Kollektörün ve deponun tek parça olması, güneş ışınımının olmadığı zamanlarda depoda bulunan sıcak suyun sistem içerisinde dolaşım yapmasından dolayı soğumasına sebep olabilmektedir (Uyarel ve Öz, 1987: 239).



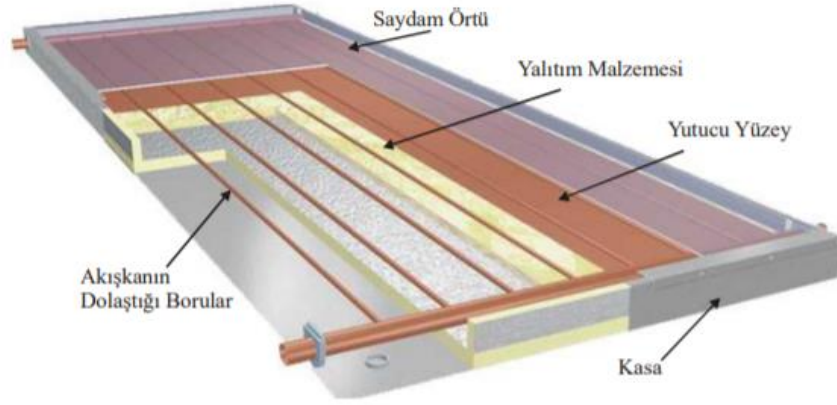
Şekil 3.10. Avustralya tipi güneş enerjili su ısıtma sistemi

3.4 Kollektör Tiplerine Göre Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri

Kollektör tiplerine göre güneş enerjili su ısıtma sistemleri düzlemsel ve vakum tüplü olmak üzere ikiye ayrılırlar.

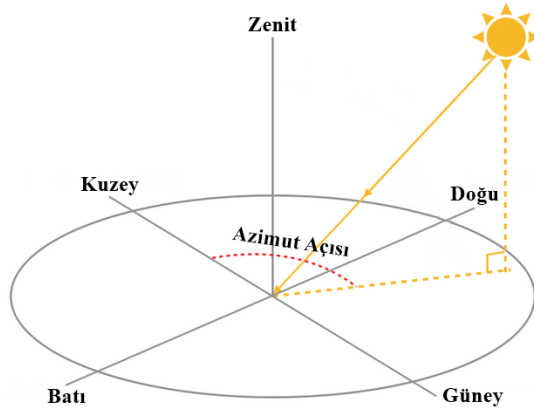
3.4.1 Düzlemsel (Panel) Kollektörlü Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri

Düzlemsel güneş kollektörleri absorbe ettikleri güneş enerjisini ısı olarak akışkanına aktaran toplayıcılar. Düzlemsel güneş kollektörleri genel olarak camdan yapılan üst örtü, cam örtü ile absorban plaka arasında boşluk, akışkan boruları, metal veya plastik malzemeden yapılmış absorban plaka, yalıtım ve kollektör kasasından oluşmaktadır.



Şekil 3.11. Düzlemsel güneş kollektörü

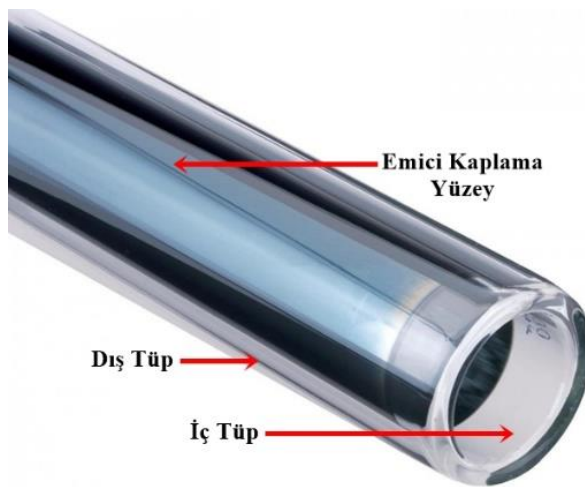
Cam örtünün ana amacı absorban plakayı korumak olduğu gibi ısı kaybının da önüne geçmektir. Cam veya plastik malzemelerden üretilebilir. Güneş ışınlarını geçirgen yapıdadırlar. Cam örtü altında absorban plaka bulunmaktadır. Absorban plaka yüzeyi genel olarak seçiciliği artıran bir madde ile kaplanmaktadır. Güneş ışınlarının bir kısmı cam örtü üzerinden yansırken bir kısmı emilerek absorban plaka üzerine gelir. Absorban plaka tarafından toplanan güneş enerjisi ısı olarak akışkan borularına aktarılır. Absorban plaka bakır ya da alüminyum malzemeden yapılabilir. Bakırın alüminyuma göre iletkenliği daha yüksek olduğu için bakır borular kollektör verimini artırır. Ortam ile ısınan kollektör arasından oluşan sıcaklık farkından dolayı ısı kayıpları oluşabilmektedir. Yalıtımın başlıca görevi ısı kayıplarının engelleyerek kollektör verimini artırmaktır. Akışkan boruları absorban plakadan gelen ısıyı içerisinde bulunan akışkana aktararak akışkanın ısınmasını sağlar. Kollektör kasasının temel görevi kollektör elemanlarını bir arada tutmak ve muhafaza etmektir. Kollektör kasası alüminyum, paslanmaz çelik, galvanizli çelik veya plastik malzemelerden üretilebilir. Kollektörler, güneş ışınımından azami olarak yararlanmak amacıyla kurulum yapılacak bölgenin enlemine göre sabit açı ile konumlandırılırlar. Kurulum açısı belirlenirken eğim açısı ve azimut açısından faydalanılır. Eğim açısı, kurulum yapılacak yatay düzlem ile kollektör arasındaki açıdır. Eğilimli çatı uygulamalarında açı, çatı eğimine göre belirlenir. Daha önce yapılan çalışmalardan 30° ile 45° arası eğim açılarının ideal eğim açıları olarak bilinmektedir. Azimut açısı, kollektörün güney yönü ile yapmış olduğu açı olarak tarif edilebilir. Güney yönüne bakan bir kollektörün azimut açısı 0° derece olarak kabul edilirken uygulamalarda 45° 'ye kadar olan sapmalara müsaade edilmektedir.



Şekil 3.12. Azimut açısı

3.4.2 Tüp Kollektörlü Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri

Her vakum tüp, iç içe geçirilmiş iki ayrı tüpten meydana gelmektedir. Tüpler şeffaf borosilikat camdan imal edilirler. Dışarıdan gelebilecek darbelere ve iç hacmin doluluk baskına karşı dayanıklılık gösterirler. İç tüpün dış yüzeyi yüksek absorbe özelliğine ve düşük yansıtma özelliğine sahip özel bir selektif malzeme (Al-N/Al) ile kaplanır. Bu sayede güneş ışınlarının %93'ü yüksek verimle absorbe edilirken geri yansıma oranı da %7'ye indirgenmektedir. İki tüp arasındaki hava iletim ve taşınım olaylarından kaynaklı olarak meydana gelen ısı kayıplarını en düşük seviyeye indirmek için vakumlanmaktadır. Cam tüpler arasındaki vakum ortamı baryum tutucular vasıtasıyla sağlanmaktadır.



Şekil 3.13. Borosilikat vakum tüp



Şekil 3.14. Baryum tutucu

Üretim esnasında bu tutucular yüksek derecelere kadar ısıtılarak tüpün alt kısmında saf baryum tabakası oluşturulur. Aktif işlem esnasında tüp içerisinde açığa çıkan CO, CO₂, N₂, O₂, H₂O ve H₂ gibi gazları baryum tabakası tarafından absorbe edilerek iki tüp arasının vakumlanması sağlanır. Baryum tabakası aynı zamanda vakum tüpün vakum durumu hakkında bilgi verir. Tüpler arasında vakum sağlıklı bir şekilde gerçekleşmiş ise baryum tabakanın rengi gümüş rengindedir. Herhangi bir nedenle tüpler arasında vakum kaybı meydana gelmesi durumunda baryum tabakanın rengi gümüş renginden beyaza döner. Buradan tüpün hatalı olduğu anlaşılabilir.



Şekil 3.15. Soldaki tüp hatasız, sağdaki tüp hatalı üretilmiş

Tüpler arasındaki vakum vasıtasıyla oluşturulan izolasyon sayesinde vakum tüplü kollektörler yaygın gelen güneş ışınımını absorbe edebilmektedirler. Vakum tüplü güneş kollektörleri düzlemsel güneş kollektörlerine kıyasla olumsuz hava şartlarında dahi yüksek verimli sonuçlar vermektedir. Vakum tüpler silindirik yüzeye sahiptir. Bu sayede

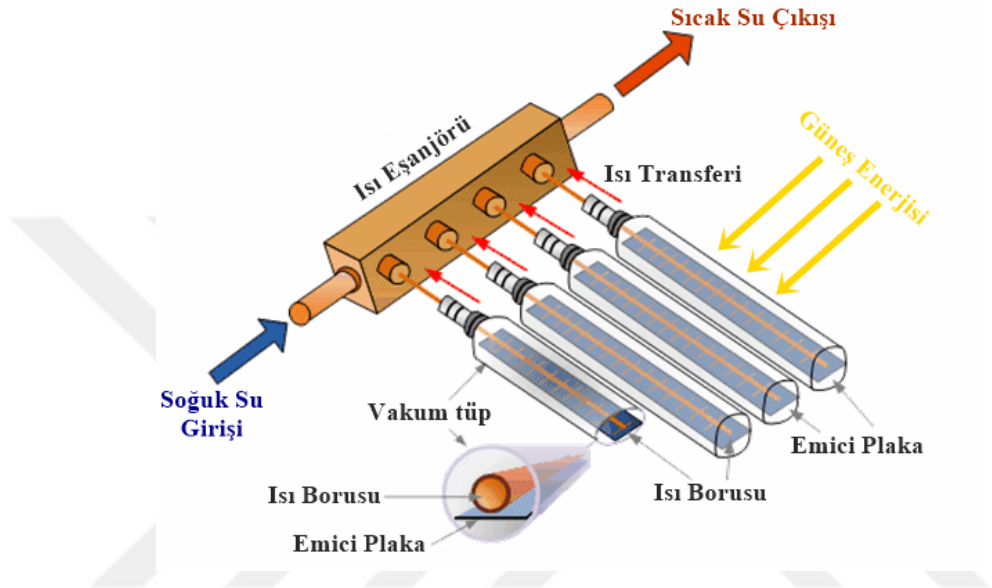
tüp üzerinde kırılma en düşük seviyeye indirgenmiş olur. Gün içerisinde güneş ışınımı olduğu sürece ışınlamalar tüp üzerine dik olarak gelir. Böylece absorbe süresi ve oranı artmış olur. Isıtma sistemlerinde kullanılan cam vakum tüpler, birbirlerine paralel olarak ve uygulama bölgesinin enlem derecesine göre belirlenen açıyla monte edilir. Bu, tüplerin güneş ışınlarını daha etkin bir şekilde yakalamasını sağlar.



Şekil 3.16. Vakum tüplü güneş kolektörü

Isı borulu vakum tüplü güneş enerjili su ısıtma sistemleri devre tipine göre kapalı devre sistemlerdir. Isı borusunun içerisindeki ısı transfer akışkanı buharlaşma (evaporator) bölgesinde ısınarak buharlaşır ve yoğunlaşma (kondensör) bölgesine doğru hareket eder. Soğuk bölge buharlaşma bölgesi sıcak bölge ise yoğunlaşma bölgesi olarak da isimlendirilir. Buharlaşma ve yoğunlaşma bölgeleri arasında ısı alışverişinin olmadığı izole edilmiş adyabatik bölge yer almaktadır. Isı transfer akışkanı yoğunlaşma bölgesinde soğuyarak sıvı hale geçer ve yerçekimi ve fitilin kapilarite etkisi ile tekrar buharlaşma bölgesine gelir. Absorbe edici izole alan yüzeyi selektif malzeme ile kaplıdır. Kullanılan toplayıcılar, absorbe edici plakaya monte edilmiş tasarımlar veya kanatlı borular şeklinde yapılan dizaynlar şeklinde olabilir. Isı borularının salt silindirik olma mecburiyeti yoktur. Bu sebeple birkaç mm kalınlığında ve geniş yüzeyli zarf biçiminde tasarımlar yapılabilmektedir. Bu tarz dizaynlarda da absorbe edici alan buharlaşma bölgesini kaplamaktadır. İnorganik akışkanlı ısı borulu su ısıtma sistemleri, güneş ışınlarını ısıya dönüştüren cam vakum tüpleri ve bu tüplerin içinde yer alan bakır ısı borularından oluşur. Bakır ısı borusu içerisinde ısı transfer akışkanı bulunmaktadır. Bu akışkan zehirli olmayan inorganik bir akışkandır. Cam tüp ile bakır ısı borusu arası vakumlu ve basınç

4×10^{-6} Pa olduğu için 25 °C ile 30 °C arasında inorganik akışkan rahatlıkla buharlaşabilmektedir. Bakır ısı borusu içerisinde ısınan inorganik akışkan buharlaşarak ısı borusunun tepe noktasında bulunan ısı değiştiricisine gelir. Burada inorganik akışkan ısısını ısı değiştiricisi üzerinden geçmekte olan akışkana aktarır. Soğuyan inorganik akışkan sıvı hale geçerek ısı borusunun alt kısmına gelir. İnorganik akışkan tekrar ısınarak ısı borusunun tepe noktasına hareket eder ve ısı transfer çevrimi tekrarlanır.



Şekil 3.17. Isı borulu vakum tüplü güneş enerjili su ısıtma sistemi

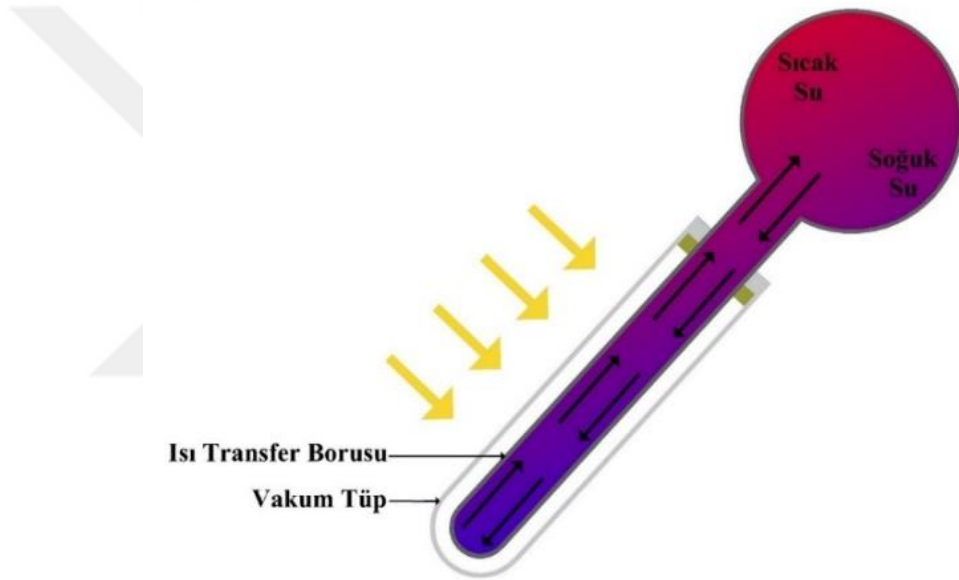


Şekil 3.18. Bakır ısı borulu vakum tüp

U borulu vakum tüplü güneş enerjili su ısıtma sistemler devre tipine göre açık devre sistemlerdir. Vakum tüpün içerisinde akışkan boruları yerleştirilmiştir. Düzlemsel kollektörlü güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde ısı kayıpları tam olarak

engellenememektedir. Isı kayıplarını azaltmak için, selektif yüzeyli absorbe edici plaka ile cam örtü arasında bulunan boşluktaki hava vakumlanır. Bu sayede, ısı kaybı azalır ve sistemin verimi artar. Lakin düzlemsel kollektörlerde bunu yapmak oldukça zor olduğundan absorbe edicinin vakum tüp içerisine alınarak vakum borulu kollektörler geliştirilmiştir.

U borulu vakum tüplü güneş kollektörlerinde güneş ışınimleri cam tüp içine absorbe edilir ve ısıya dönüştürülür. Isı akışkan borusu içerisinden geçen suya aktarılır. Isınarak yoğunluğu azalan su sıcak su deposuna doğru hareket eder ve yerini yoğunluğu daha fazla olan soğuk suya bırakır.



Şekil 3.19. U borulu vakum tüplü güneş enerjili su ısıtma sistemi

3.5 Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinin Karşılaştırılması

3.5.1 Doğal Dolaşımli Sistemler

3.5.1.1 Avantajları

- Basit tasarımlı sistemlerdir.
- Akışkan sirkülasyonu için pompaya ihtiyaç yoktur.
- Otomatik kontrol sistemine ihtiyaç yoktur. Kullanılsa dahi basit düzenekler kullanılır.

- Isı toplama devresine ihtiyaç yoktur.
- Sisteme ısı değiştirici koymaya gerek yoktur.
- Düşük maliyetlidir.

3.5.1.2 Dezavantajları

- Donma riskinin olmadığı veya çok az olduğu bölgelerde tercih edilebilir.
- Şebeke suyunun özelliklerine göre sistem elemanları içerisinde çökelme ve kabuklaşma gerçekleşebilir.
- Su deposunun kollektörden daha yüksek bir konuma yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu sebeple deponun sağlamlaştırılması için ek takviyeler yapılması gerekmektedir.
- Sıcak su üretim kapasitesi düşüktür.
- Kollektörlerde sirkülasyon yavaştır ve bu nedenle verim daha düşüktür.

Akışkan borusu yüzeyi ile akışkan arasındaki sürtünmeden dolayı kayıplar meydana gelir. En fazla kayıp kollektörlerde oluşur. Bu sebeple kollektör boru çapı 20 mm'den küçük olmamasına dikkat edilmelidir. Aksi takdirde sirkülasyon yavaşlar ve sıcak su üretiminde düşüş yaşanır.

3.5.2 Pompalı (Zorlama Dolaşım) Sistemler

3.5.2.1 Avantajları

- Sirkülasyon bir pompa ve otomatik kontrol sistemi ile sağlanır. Bu sayede, dolaşım, sistemin ihtiyacına göre otomatik olarak düzenlenir, sürtünmeden dolayı oluşacak kayıplar en aza indirgenir ve sistem verimi artar.
- Kapalı devreli sistemlerde ısı transfer akışkanına eklenen antifiriz ile kış aylarında oluşabilecek donma riskinin önüne geçilebilmektedir. Böylece sistemin kullanım ömrü de artırılabilir.

3.5.2.2 Dezavantajları

- Sistemde kullanılan pompa ve otomatik kontrol sistemi maliyeti artırmaktadır.
- Sistemde ısı değiştirici kullanıldığı için ısı transferi sırasında oluşan ısı kaybından dolayı verim düşük olabilmektedir.

3.5.3 Vakum Tüplü Sistemler

3.5.3.1 Avantajları

- Tüpler arasındaki boşluk vakumlanarak boşaltıldığı için ısı kaybı azaltılmıştır.
- Borosilikat malzemeden yapılan dış tüp sayesinde dıştan gelebilecek tehlikelere karşı sistem korunur.
- Güneş ışınlarını en iyi şekilde absorbe etmek için iç tüpün yüzeyi selektif bir malzeme ile kaplanmıştır.

3.5.3.2 Dezavantajları

- Maliyeti düzlemsel kollektörlere nazaran fazladır.
- U borulu vakum tüplerde sirkülasyonun doğal dolaşımla olması verimi düşürmektedir.

BÖLÜM IV

MATERYAL VE METHOD

4.1 Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinin Projelendirmesi

Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin boyutlandırılması ve projelendirilmesi için temel kurallar TS 3817/Aralık 1994 standardında yer almaktadır. Bu standart, sistemlerin bileşenleri hakkında da bilgi vermektedir. Yüksek verim ve güvenli kullanım için aşağıdaki standartlara uygun üretim ve montaj uygulamaları yapılmalıdır:

- Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde depo hacmi, kullanılan alanın toplam ısıtma miktarına göre belirlenir. Kollektör net alanının her metrekaresi için en az 40 litre depo hacmi olmalıdır. Açık devreli zorlamalı sistemlerde ise bu miktar 75 litreyi geçemez.
- Doğal dolaşimli güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde, deponun alt su seviyesi ile kollektör üst su seviyesinin en az aynı yükseklikte olması gerekir. Bu, depo ile kollektör arasında doğal dolaşımın sağlanmasını ve ters dolaşımın oluşmasını engellemeyi sağlar.
- Kapalı devre güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde, genişleme deposu hacmi, sistemin toplam su hacmi, sıcaklık farkı ve ısı transfer akışkanının genişleme kat sayısına göre hesaplanır.
- Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde depo hacmi, TS 713 standardında verilen değerlerle karşılaştırılır. Hesaplanan değere en yakın olan üst değer, depo hacmi olarak seçilir.
- Açık genişleme depolarının açık hava ile teması, TS 2192'ye uygun olmalıdır.
- Açık genişleme depolarında, ısı transfer akışkanının buharlaşması nedeniyle ısı kayıpları meydana gelir. Bu kayıplar, ciddi boyutlara ulaşabilir. Bu nedenle, depodaki akışkan seviyesinin düzenli olarak kontrol edilmesi gerekir.
- Doğal dolaşimli güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde, depo ve kollektör soğuk su bağlantıları deponun alt kısmından, sıcak su bağlantıları ise deponun üst kısmından yapılmalıdır.

- Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde, depo ile kollektörler arasındaki sıcak su bağlantısı, deponun alt kısmından 2/3 yüksekliğe kadar yapılmalıdır. Depo sıcak su çıkışı ise deponun en üst noktasına yerleştirilmelidir. Bu şekilde, depodaki sıcak suyun 2/3'ü her zaman kullanıma hazır olur.
- Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde, soğuk su girişi deponun en alt kısmına yapılır. Bu, depodaki sıcak suyun tabakalaşmasını sağlar. Depoya bir şapka yerleştirilerek, soğuk suyun deponun üst kısmına hızlı bir şekilde yükselmesi ve tabakalaşmayı bozması önlenebilir.
- Kollektörler, TS 3680; depo, TS 713; galvanizli borular, TS 301 ve TS 302; galvanizli bağlantı elemanları, TS 11, TS14, TS 931 ve plastik elemanlar TS 274 standardına uygun olmalıdırlar.
- Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde, ısı toplama devresindeki suyun akışını kolaylaştırmak için hidrolik direnç mümkün olan en düşük seviyede tutulmalıdır. Bunun için kollektör ile depo arasındaki bağlantıların uzunluğu TS 3391 standardına göre tasarlanmalıdır.

Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin projelendirilmesi ve boyutlandırılmasında genel olarak kollektör yüzey alını tespit yöntemi ve F-Chart olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında yöntem olarak F-Chart yöntemi tercih edilmiştir.

4.2 Güneş Enerjisi Hesaplamaları

Deklinasyon açısı (δ), güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açı olarak tanımlanır. Bu açı dünyanın yörünge düzlemi ile yaptığı $23^{\circ} 27'$ ’lik açıdan kaynaklanır. Deklinasyon açısı aşağıdaki gibi hesaplanır (Yiğit ve Atmaca, 2018; 29).

$$\delta = 23.45 \sin \left(360 \frac{284+n}{365} \right) \quad (4.1)$$

Burada n 1 Ocak’tan itibaren gün sayıdır ve hesaplama yapılan aya bağlı olarak bulunur.

Güneş batış saat açısı (w_s);

$$\cos w_s = -\tan \varphi \tan \delta \quad (4.2)$$

Atmosfer dışında yatay düzleme herhangi bir anda gelen güneş ışıınımı;

$$G_o = G_{on} \cos \theta_z \quad (4.3)$$

$$G_o = G_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \cos \theta_z \quad (4.4)$$

$$G_o = G_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] (\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega) \quad (4.5)$$

Bu ifadede, G_{sc} güneş sabiti, n yılın kaçınıcı günü olduğu ve θ_z zenit açısıdır. Hesaplamalarda çoğunlukla gerekli olan günlük güneş ışıınımıdır. Yukarıdaki eşitliğin gün doğuşundan gün batışına kadar integrasyonu ile atmosfer dışında yatay düzleme gelen günlük güneş ışıınımı (H_o) tespit edilebilir. Güneş sabiti G_{sc} için kullanılan birim olan W/m^2 'nin J/m^2 'ye çevrilmesi ile aşağıdaki denklem elde edilir.

$$H_o = \frac{24 \cdot 3600 \cdot G_{sc}}{\pi} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \left(\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi\omega_s}{360} \sin \varphi \sin \delta \right) \quad (4.6)$$

Burada ω_s güneş batış saat açısıdır ve denklem 2 ile hesaplanır.

Belirli bir bölgede yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük güneş ışıınımının havanın açık olduğu bir günde yatay düzleme gelen güneş ışıınımına oranı ile izafi güneşlenme süresine bağılı olan orijinal Angström regresyonu şu şekildedir.

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_c} = a^1 + b^1 \frac{\bar{n}}{\bar{N}} \quad (4.7)$$

Burada $\bar{H}$ yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük güneş ışıınımı, $\bar{H}_c$ uygulama bölgesinin konumuna veya aya bağılı olarak havanın açık olduğu bir günde ortalama güneş ışıınımı miktarı, a^1 ve b^1 ampirik ifadeler, $\bar{n}$ aylık ortalama günlük güneşlenme süresi, $\bar{N}$ aylık ortalama gün uzunluğu, $\frac{\bar{n}}{\bar{N}}$ izafi güneşlenme süresidir.

Havanın açık olduğu bir günde güneş ışıınının ($\overline{H_c}$) tespiti kısmen de olsa zordur. Havanın açık olduğu bir günde ortalama güneş ışıınıını yerine atmosfer dışında yatay yüzeye gelen güneş ışıınıını kullanmak suretiyle yukarıda verilen eşitlik değiştirilerek literatürde en çok kullanılan ifade;

$$\frac{H}{H_0} = a + b \frac{n}{N} \quad (4.8)$$

Burada, H_0 aynı bölgede aylık ortalama atmosfer dışında yatay düzleme gelen güneş ışıınıını miktarı, a ve b bölgeye bağlı sabitler, $\frac{H}{H_0}$ berraklık indeksi, $\frac{n}{N}$ izafî güneşlenme süresidir. a ve b katsayıları güneş ışıınıını ve izafî güneşlenme süresi ölçümlerine bağlı olarak istatistiksel metotlar ile tespit edilmektedir. a ve b katsayılarının alacağı değerler konuma bağlı olarak değişmektedir. Türkiye için bu değerler enlem açısı, deklinasyon açısı ve konumun deniz seviyesinden yüksekliğine bağlı olarak şu şekilde verilmektedir.

$$a = 0.103 + 0.000017z + 0.198 \cos(\phi - \delta) \quad (4.9)$$

$$b = 0.533 - 0.165 \cos(\phi - \delta) \quad (4.10)$$

Berraklık indeksi, atmosfer içinde yatay düzleme düşen günlük toplam güneş ışıınıının yayılı ve direk kısımlarının tespiti içinde birçok ampirik ifade literatürde mevcuttur. Bu ifadeler genellikle berraklık indeksinin fonksiyonu şeklindedir. Günlük berraklık indeksi yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışıınıının (H) atmosfer dışına düşen günlük toplam güneş ışıınıına (H_0) oranı şeklinde hesaplanabilir.

$$K_T = \frac{H}{H_0} \quad (4.11)$$

Burada yatay yüzeye düşen güneş ışıınıını (H) piranometreler ile ölçülebilir veya denklem 7 ile hesaplanabilir. Elde edilen günlük ışıınıım dataları, yayılı ışıınıımın günlük toplam ışıınııma oranının berraklık indeksine bağlı olduğunu göstermiştir. Tırıs tarafından önerilen korelasyon aşağıda verilmiştir.

$$\frac{H_d}{H} = 0.703 - 0.414K_T - 0.428K_T^2 \quad (4.12)$$

$\frac{H_d}{H}$ oranı Klein tarafından bir polinomla şu şekilde ifade edilmiştir.

$$\frac{H_d}{H} = 1.390 - 4.027K_T - 5.531K_T^2 - 3.108K_T^3 \quad (4.13)$$

Yatay düzleme düşen günlük direkt güneş ışıını;

$$H_b = H - H_d \quad (4.14)$$

Belirli bir eğime sahip kolektörler hem direkt hem yayılı hem de yansıyan ışıını ıutarlar. Eğik yüzeye gelen anlık ve günlük ışıının hesabında yatay yüzeye düşen anlık ve günlük toplam güneş ışıını miktarları ile bunların direkt ve yayılı ışıını kısımlarının miktarlarından yararlanılmaktadır. Güneş enerjili ısıtma sistemleri gibi uygulamalarda eğik düzleme düşen aylık ortalama günlük güneş ışıını miktarları da gerekli olmaktadır. Bu durumda eğik düzleme düşen aylık ortalama günlük ışıının H_T yatay düzleme düşen aylık ortalama günlük toplam ışıına (H) oranını ifade eden R_b değerine ihtiyaç vardır. R_b değeri direkt, yayılı ve yansıyan ışıını bileşenlerinin her birini içerir. R değeri denklem 15 ile hesaplanabilir.

$$R = \frac{H_T}{H} = \left(1 - \frac{H_d}{H}\right) R_b + \frac{H_d}{H} \left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + \rho \left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \quad (4.15)$$

Eğik yüzeye düşen günlük toplam ışıını denklem 16 ile hesaplanır.

$$H_T = H \left(1 - \frac{H_d}{H}\right) R_b + H_d \left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + \rho H \left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \quad (4.16)$$

Burada R_b eğik yüzeye düşen günlük direkt ışıının (H_{bT}) yatay düzleme düşen günlük direkt ışıına (H_b) oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$R_b = \frac{H_{bT}}{H_b} \quad (4.17)$$

Kuzey yarım kürede güneye dönük yüzey ($\gamma = 0^\circ$) için R_b değeri denklem 18 ile hesaplanır.

$$R_b = \frac{\cos(\phi-\beta) \cos \delta \sin \omega_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_s \sin(\phi-\beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_s \sin \phi \sin \delta} \quad (4.18)$$

Burada ω_s hesaplama yapılan ayın ortalama gününde eğik düzlem için güneş ışınlarının eğik yüzey üzerine ilk düşüş saat açısıdır. Yatay düzlemde gün doğuş saat açısı olarak alınır. Eğik düzlemde ise bu farklıdır ve denklem 19 ile hesaplanır. Bu denklemdeki minimum değer alınır.

$$\omega_s = \min \left[a \cos(-\tan \phi \tan \delta) \right. \\ \left. a \cos(-\tan(\phi - \beta) \tan \delta) \right] \quad (4.19)$$

4.2.1 F-Chart Yöntemi

Bir güneş enerjisi sisteminin bileşenlerinin boyutlandırılması, hem öngörülebilir (toplayıcı ve diğer bileşenlerin performans özellikleri) hem de öngörülemeyen (hava durumu verileri) bileşenleri içeren karmaşık bir sorundur. F-Chart yöntemi, ihtiyaç duyulan bir güneş enerjili ısıtma sistemi için toplam ısıtma yükünün güneş enerjisiyle sağlanacak kısmını tahmin etmek için kullanılır. Bu yöntemde birincil tasarım değişkeni kolektör (toplayıcı) alanıdır; ikincil değişkenler kolektör tipi, depolama kapasitesi, sıvı akış oranları, yük ve kolektör ısı eşanjörü boyutlarıdır. Bu yöntem, güneş enerjili ısıtma sistemlerinin termal performans simülasyonunun sonuçlarından elde edilen bir korelasyondur. Ortaya çıkan korelasyonlar, iki boyutsuz parametrenin bir fonksiyonu olarak güneş enerjisi tarafından sağlanan aylık ısıtma yükünün (alan ısıtma ve sıcak su için) fraksiyonu f_{yi} verir. Güneş enerjisi sistemleri ekonomik olması bakımından, hiçbir zaman ihtiyacın tamamını karşılamak amacı ile projelendirilmemelidir. Projelendirme, Mayıs ayında ihtiyacın en az %70'ini karşılayacak ve kişi başına tüketim konutlarda 50 L/gün; otel motel gibi turistik tesislerde 75 L/gün ve hastanelerde 100 L/gün olacak şekilde düzenlenmelidir. Projelendirme, F-Chart yöntemine göre yapıldığında toplayıcıya ait parametreler aşağıda verilen sınırlar içerisinde olmalıdır:

$$0.6 \leq \tau\alpha \leq 0.9$$

$$5 \text{ m}^2 \leq F_R A_c \leq 120 \text{ m}^2$$

$$2.1 \text{ m}^2 \leq U_L \leq 8.3 \text{ W/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$30 \leq \beta \leq 90^\circ$$

F-Chart yöntemi, gelen güneş ışınlamı, ortam sıcaklığı ve yükün verilen aylık değerleri ile depolamalı sıcak su sistemlerinin aylık olarak sağladığı enerji miktarının hesaplanmasını sağlar. f iki boyutsuz değişken olan X ve Y'ye bağlı olarak şu şekilde tanımlanır.

$$f = 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^3 \quad (4.20)$$

Boyutsuz X ve Y değişkenleri;

$$X = \frac{A_c F'_R U_L (T_{ref} - \bar{T}_a) \Delta t}{L} \quad (4.21)$$

$$Y = \frac{A_c F'_R (\tau\alpha) H_T N}{L} \quad (4.22)$$

Veya

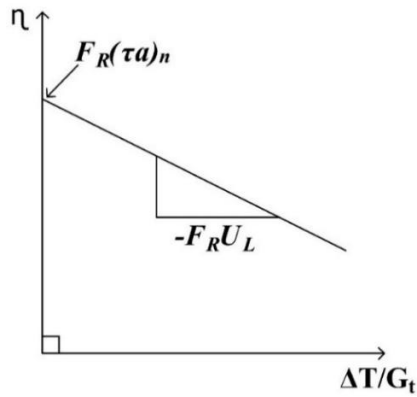
$$X = F_R U_L \frac{F'_R}{F_R} (T_{ref} - \bar{T}_a) \Delta t \frac{A_c}{L} \quad (4.23)$$

$$Y = F_R (\tau\alpha)_n \frac{F'_R}{F_R} \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} H_T N \frac{A_c}{L} \quad (4.24)$$

A_c : Toplayıcı alanı (m^2)

$\frac{F'_R}{F_R}$: Isı değiştiricisi etkinliğine bağlı düzeltme faktörü

$F_R (\tau\alpha)_n$: Kolektörün verim eğrisinin y eksenini kestiği nokta



Şekil 4.1. Kolektör performans eğrisi

$F_R U_L$: Kolektörün verim eğrisinin eğimi

- U_L : Kolektör toplam ısı kayıp katsayısı, $W/m^2 \text{ } ^\circ C$
 F_R : Kolektör ısı kazanç faktörü
 F'_R : Kolektör ısı eşanjörü verim faktörü
 T_{ref} : Ampirik olarak türetilmiş referans sıcaklık değeri, $=100 \text{ } ^\circ C$
 $\overline{T_a}$: Aylık ortalama ortam sıcaklığı, $^\circ C$
 Δt : Bir aylık toplam süre, (s)
 L : Aylık ısıtma yükü veya talebi, (J)
 H_T : Kolektör yüzeyindeki aylık ortalama günlük toplam radyasyon, (J/m^2)
 $\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n}$: Aylık yutma ve geçirme katsayısı
 N : Bir aydaki gün sayısı

Tahmini yük hesabı; gerçek yük, şebeke suyunu belirtilen sıcak su sıcaklığına kadar ısıtmak için gereken enerji olarak hesaplanır. Gerekli su miktarı V_l ve istenilen su sıcaklığı T_h ile gösterilirse gereken enerji miktarı şu şekilde hesaplanır.

$$Q_{load} = V_l \rho C_p (T_h - T_c) \quad (4.25)$$

Burada C_p suyun ısı özgül ısı ($4,200 \text{ (J/kg)/}^\circ C$), ρ suyun yoğunluğu (1 kg/L) ve T_c şebeke suyu sıcaklığıdır. Q_{load} , sistemin kullanıldığı gün sayısı (N) ile orantılıdır. Suyu T_c sıcaklığından T_h sıcaklığına çıkarmak için gerekli olan aylık enerji aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q_{load} = V_l \rho C_p (T_h - T_c) N \quad (4.26)$$

Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde borulardan ve tanktan yetersiz yalıtım nedeniyle çevreye ısı kaybı olmaktadır. Depolu sistemlerde ve deposuz sistemlerde borulama ve güneş enerjisi tankı kayıpları farklı şekilde dikkate alınır. Depolamalı sistemlerde ekstra enerji toplanarak boru ve tank kayıplarını telafi edebilir. Bu nedenle, F-Chart yönteminde kullanılan yük $Q_{load,total}$, boru ve tank kayıplarını içerecek şekilde artırılır:

Aylık toplam ısı yük;

$$Q_{load,total} = Q_{load} (1 + f_{loss}) \quad (4.27)$$

Güneş enerjili sıcak su ısıtma sistemlerinin projelendirilmesinde boyutsuz değişken X için bir düzeltme katsayısı kullanılır. Şebeke suyu sıcaklığı T_c ve istenilen minimum su sıcaklığı T_h güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin performansını etkileyen faktörlerdir. Hem şebeke suyu sıcaklığı hem de istenilen minimum su sıcaklığı sistemin ortalama işletme sıcaklığı seviyesini ve böylece kolektörden olan enerji kayıplarını etkiler. Kolektörden olan enerji kayıpları ile ilişkili olan X boyutsuz sayısı bu etkileri de içerecek şekilde düzeltilmelidir. F-Chart yöntemi, kolektör alanının metrekaresi başına 75 L'lik standart depolama kapasitesi ile geliştirilmiştir. Diğer depolama kapasiteleri için X değeri, aşağıdaki gibi tanımlanan bir düzeltme faktörü $\frac{X_c}{X}$ ile çarpılır.

$$\frac{X_c}{X} = \left(\frac{\text{Gerçek depolama kapasitesi}}{\text{Standart depolama kapasitesi}} \right)^{0.25} \quad (4.28)$$

Bu denklem, 0.5 ile 4 arasındaki gerçek ile standart depolama kapasitelerinin oranları için geçerlidir. Son olarak, besleme (şebeke) su sıcaklığı T_c ve minimum kabul edilebilir sıcak su sıcaklığı T_h 'nin dalgalanmasını hesaba katmak için X , aşağıda tanımlanan bir düzeltme faktörü $\frac{X_{cc}}{X}$ ile çarpılmalıdır.

$$\frac{X_{cc}}{X} = \frac{11.6 + 1.18T_h + 3.88T_c - 2.32T_a}{100 - T_a} \quad (4.29)$$

Burada T_a aylık ortalama ortam sıcaklığıdır. TS 3817 numaralı güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin projelendirilmesinde, uygulanmasında ve işletilmesinde uyulması gereken kurallara ilişkin standartta Mayıs ayında ihtiyacın en az %70'ini karşılayacak ve kişi başına tüketim konutlarda 50 L/gün; otel motel gibi turistik tesislerde 75 L/gün ve hastanelerde 100 L/gün olacak şekilde düzenlenmelidir denilmekte olup tasarım bu değer sağlanacak şekilde yapılmalıdır. Eğer Mayıs ayı için belirlenen değer standartta istenilen değeri karşılayamayacak şekilde ise kolektörün yüzey alanı artırılarak hesaplar tekrarlanır.

4.3 Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinin Ekonomik Analizi

Güneş enerjili su ısıtma sistemleri ile karşılanan sıcak suyun maliyeti sadece kurumlum maliyetinden ibarettir. Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin işletme maliyeti yoktur ve diğer su ısıtma sistemlerine göre bakım maliyeti de oldukça azdır. Güneş enerjili su ısıtma sistemleri ihtiyacın tamamını karşılamak amacı ile tasarlanmaz ve diğer enerji kaynakları ile desteklenirler. Günlük sıcak su ihtiyacı için gerekli enerji Q , bu enerjinin güneş enerjisinden karşılanma oranı f , enerji ihtiyacının güneş enerjisinden karşılanan kısmı Q_G , enerji ihtiyacının güneş enerjisinden karşılanmayan kısmı Q_Y (yakıtle karşılanan kısım) örnek hesaplama olarak yapılacaktır.

Yıllık yakıt miktarı,

$$M_Y = \frac{Q_Y}{H_Y} \quad (4.30)$$

Yıllık yakıt bedeli,

$$F_Y = \frac{M_Y}{\eta} + Y_f \quad (4.31)$$

Q_Y : Yıllık enerji ihtiyacı (kcal/yıl)

H_Y : Yakıt alt ısı değeri (kcal/kg)

η : Yanma verimi

Y_f : Yakıt birim fiyatı (TL)

Yukarıdaki eşitlikler yardımıyla, göz önünde bulundurulan lokasyonlar için bir yıl boyunca 60 °C sıcaklıkta 300 L sıcak su ihtiyacı için gerek duyulan yakıt miktarı ve bedeli; güneş kolektörlerinin kullanılması durumunda gereken ilave yakıt miktarı ve bedeli hesaplanmıştır.

4.4 Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinin Geri Ödeme Süresi

Sistemlerin ekonomik hesabı; projelerin giderleri ve getirileri para cinsinden değerlendirilerek yapılır. Paranın zaman içerisindeki değer değişimi çeşitli yöntemlerle hesaplanabilmektedir (Karakoç, 1997: 123). Genel olarak tercih edilen sistem “Geri

Ödeme Yöntemi” sistemidir. Bu sistemde paranın zaman değeri dikkate alınmaz. Toplam yatırım miktarının net kara bölümünden hesaplanır. Faiz oranlarının ve enflasyonun yüksek olduğu durumlarda geri ödeme yöntemi yetersiz kalmakta ve doğru sonuçlar vermemektedir. Bu durumlarda paranın zamana bağlı değerlerini dikkate alan yöntemler kullanılır (Karakoç, 1997: 123). Bu yöntemler, yıllar boyunca geri ödeme süresine etki edecek etken sayısının oldukça fazla olması ve bu etkenlerin tamamının sayısal bir ifadeye çevrilememesinden dolayı kesin bir sonuç vermezler. Lakin, enflasyon ve faizden dolayı oluşabilecek farklar tahmin edilerek yaklaşık bir geri ödeme süresi hesaplanabilir. Bour ’un geliştirdiği bir yöntemle yatırım maliyetinin p yıl sonraki değeri;

$$Z = C(1 + R)^P \quad (4.32)$$

- Z : Sistemin ilk yatırım maliyetin p yıl sonraki değeri
C : Sistemin ilk yatırım maliyeti
R : Yıllık faiz oranı
n : Faiz periyodu sayısı

Sistemin ilk yatırım maliyetinin yanında işletme maliyeti de hesaplanmalıdır. İşletme maliyeti ilk yatırım maliyetine göre kesri, q ile tanımlanır ve bankaya yatırılması durumunda p yıl sonraki sağlayacağı getiri olarak hesaplanır (Kayalı, 1992: 95-100).

$$B = \frac{(1+R)^P - (1+F)^P}{(R-F)} qC \quad (4.33)$$

- B : İşletme maliyetini p yıl sonraki banka getirisi
F : Genel enflasyon

Sistem için yapılan harcamalara karşı, sistemden elde edilecek gelirin bankaya yatırılması durumunda p yıl sonra sağlayacağı gelir hesaplanır.

$$D = \frac{(1+R)^P - (1+E)^P}{(R-E)} Y \quad (4.34)$$

- D : Sistemden elde edilecek yıllık gelirin p yıl sonraki banka getirisi
E : Enerji fiyatlarında görülen enflasyon

Y : Sistemden elde edilecek yıllık gelir

Sistemin ilk yatırım maliyetinin p yıl sonraki değeri ile işletme maliyetini p yıl sonraki banka getirisinin toplamının, sistemden elde edilecek yıllık gelirin p yıl sonraki banka getirisine eşitlendiği yıl sistem kendini amorti etmiş olur (Kayalı, 1992: 95-100).

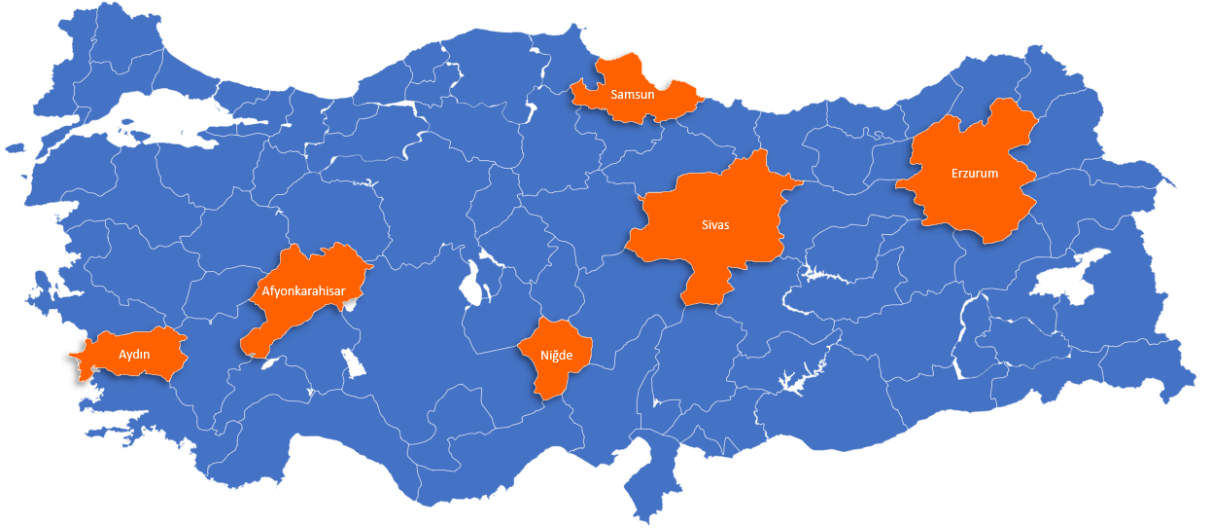
$$D = Z + B \quad (4.35)$$

Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde işletme maliyeti yok denecek kadar az olmasından dolayı B'yi sıfır kabul ederiz. Sonuç olarak sistemin ilk yatırım maliyetinin p yıl sonraki değeri sistemden elde edilecek yıllık gelirin p yıl sonraki banka getirisine eşit olduğu yıl sistem kendini amorti etmiş olur. Göz önünde bulundurulan lokasyonlar için geri ödeme süreleri hesaplanmıştır.

BÖLMÜM V

SAYISAL SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı derece-gün bölgelerinde bulundan Aydın (1. derece gün bölgesi), Samsun (2. derece gün bölgesi), Afyonkarahisar (3. derece gün bölgesi), Niğde (3. derece gün bölgesi), Erzurum (4. derece gün bölgesi) ve Sivas (4. derece gün bölgesi) illeri araştırma lokasyonları olarak seçilmiştir. Şekil 5.1’de analizde incelenen iller görülmektedir.



Şekil 5.1. Çalışmada incelenen iller

Hesaplamalarda F-Chart yöntemi kullanılmış, Mathcad programının deneme sürümü ve Python programı vasıtası ile gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Mathcad programına gerekli formüller ve veriler girilerek eğik yüzeye düşen günlük toplam ışınlam değerleri hesaplanmıştır. Kollektör yerleştirme açısı olarak illerin enlem dereceleri kullanılmıştır. Python programı kullanılarak istenilen sıcak su miktarı için gerekli olan kollektör alanı ve buna bağlı olarak kollektör sayıları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar bu bölümde sunulmuştur. Bu çalışmada kullanılan kollektörlerin özellikleri Tablo 5.1’de verilmiştir (Retscreen Software Database, 2020).

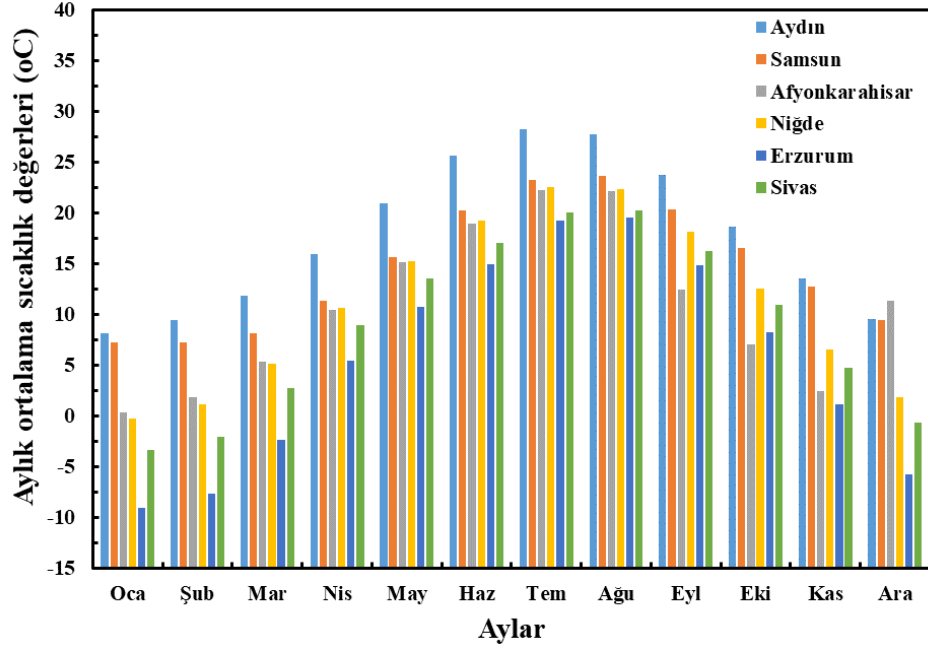
Tablo 5.1. Çalışmada incelen kolektör özellikleri

Kollektör	Brüt Alan	Net Alan	Fr($\tau\alpha$)	FrUL
Alternate Energy / AE-40T	3,69	3,39	0,76	6,22
Agena SA Energies / Azur 6	2,26	2,06	0,74	4,28
Viessmann / VitoSol 200-F	5,26	4,92	0,72	4,16
Baymak / Advanced X	2,01	1,86	0,67	4,43
Solimpeks / Wunder ALS 2512	2,42	2,24	0,73	4,02
AMK Solar Systems / OPC 15 S	2,13	1,71	0,61	1,23
Augusta Solar / AS 100 DF 6	1,54	1,12	0,53	1,21
Solar Supplies UK / Consol DS	2,62	1,54	0,32	1,35

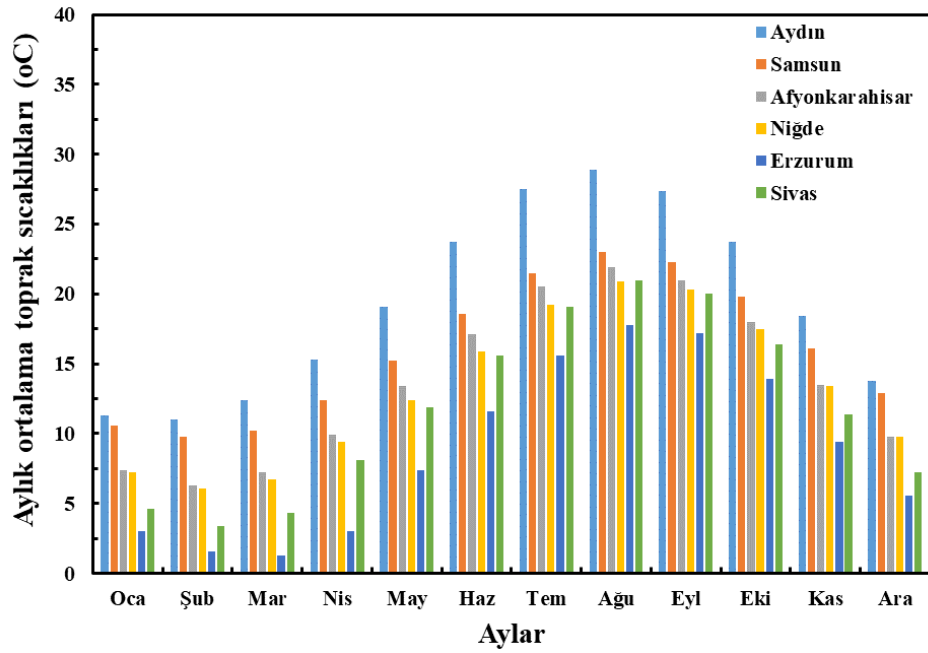
Şekil 5.2’de incelenen lokasyonlar için aylık ortalama sıcaklık değerleri görülmektedir. Aydın ili için yıllık ortalama sıcaklık değeri 17.74 °C olup aylık bazda sıcaklık değerleri 8.1 °C ile 28.2 °C arasında değişmektedir. Samsun ili için aylık ortalama sıcaklık değerleri 7.2 °C ile 23.6 °C arasında değişmekte olup yıllık ortalama sıcaklık değeri 14.6 °C’dir. Afyonkarahisar ili için yıllık ortalama sıcaklık değeri 10.76 °C olup aylık bazda sıcaklık değerleri 0.3 °C ile 22.2 °C arasında değişmektedir. Niğde ili için aylık ortalama sıcaklık değerleri -0.3 °C ile 22.5 °C arasında değişmekte olup yıllık ortalama sıcaklık değeri 11.21 °C’dir. Erzurum ili için aylık ortalama sıcaklık değerleri -9.1 °C ile 19.5 °C arasında değişmekte olup yıllık ortalama sıcaklık değeri 5.73 °C’dir. Sivas ili için yıllık ortalama sıcaklık değeri 8.99 °C olup aylık bazda sıcaklık değerleri -3.4 °C ile 20.2 °C arasında değişmektedir.

Şekil 5.3’te incelenen lokasyonlar için toprak sıcaklıklarının aylık ortalama bazda değişimi görülmektedir. Aydın ilinin yıllık ortalama toprak sıcaklığı değeri 19.37 °C olup, en küçük ortalama toprak sıcaklığı 11 °C ile şubat ayında, en yüksek ortalama toprak sıcaklık değeri ise 28.9 °C ile ağustos ayında ölçülmüştür. Samsun ili için aylık ortalama toprak sıcaklığı değerleri 9.8 °C ile 23 °C arasında değişmekte olup yıllık ortalama sıcaklık değeri 16.03 °C’dir. Afyonkarahisar ili için yıllık ortalama toprak sıcaklığı değeri 13.83 °C olup aylık bazda sıcaklık değerleri 6.3 °C ile 21.9 °C arasında değişmektedir. Niğde ili için aylık ortalama sıcaklık değerleri 6.1 °C ile 20.9 °C arasında değişmekte olup yıllık ortalama sıcaklık değeri 13.23 °C’dir. Erzurum ili için aylık ortalama sıcaklık

değerleri 1.3 °C ile 17.8 °C arasında değişmekte olup yıllık ortalama sıcaklık değeri 8.95 °C'dir. Sivas ili için yıllık ortalama sıcaklık değeri 11.91 °C olup aylık bazda sıcaklık değerleri 3.4 °C ile 21 °C arasında değişmektedir. Toprak sıcaklığı değerleri çalışmada kollektöre giren suyun giriş sıcaklığı değeri olarak kullanılmıştır.

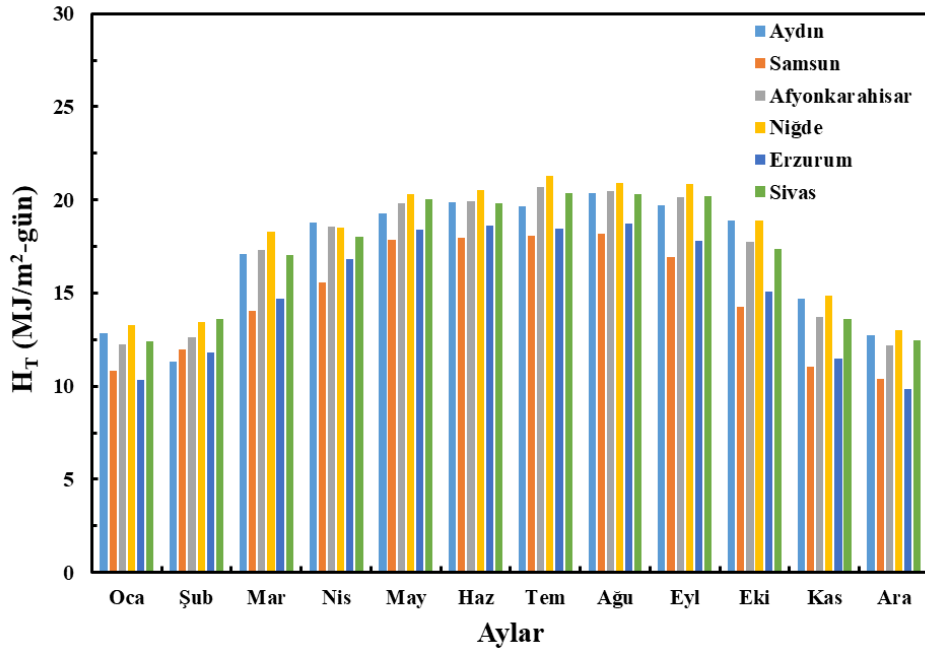


Şekil 5.2. İncelenen lokasyonlar için aylık ortalama sıcaklık değerleri



Şekil 5.3. İncelenen lokasyonlar için aylık ortalama toprak sıcaklıkları

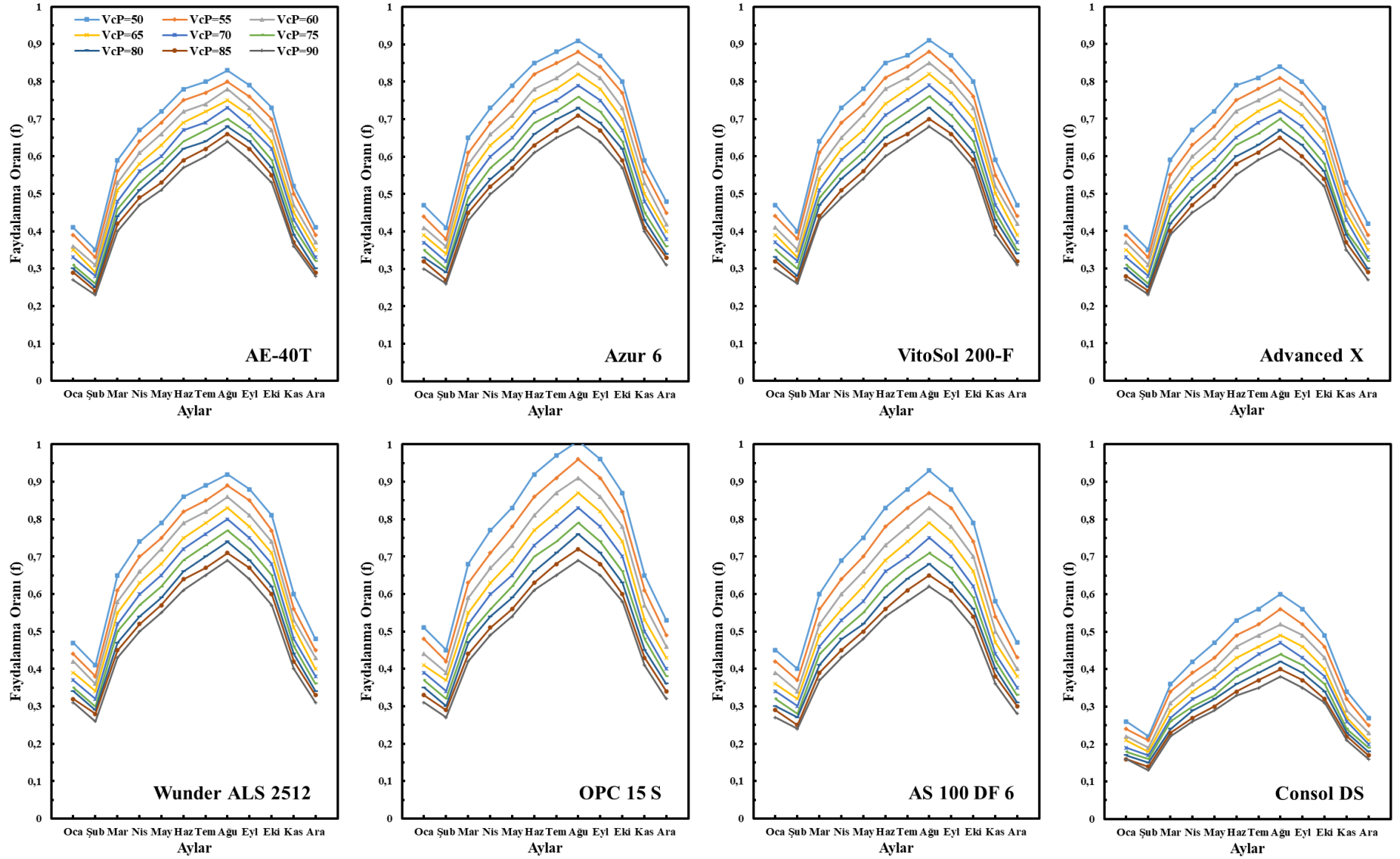
Şekil 5.4'te bu çalışmada göz önünde bulundurulanan lokasyonlar için aylık ortalama günlük güneş ışıını değeri görölmektedir. Aydın için en yüksek aylık ortalama günlük güneş ışıını 20.38 MJ/m²-gün değeri ile ağustos ayında, en düşük ışıını 11.33 MJ/m²-gün değeri ile şubat ayında hesaplanmıştır. Samsun için en yüksek aylık ortalama günlük güneş ışıını 18.19 MJ/m²-gün değeri ile ağustos ayında, en düşük ışıını 10.39 MJ/m²-gün değeri ile aralık ayında hesaplanmıştır. Afyonkarahisar için en yüksek aylık ortalama günlük güneş ışıını 20.68 MJ/m²-gün değeri ile temmuz ayında, en düşük ışıını 12.21 MJ/m²-gün değeri ile aralık ayında hesaplanmıştır. Niğde için en yüksek aylık ortalama günlük güneş ışıını 21.29 MJ/m²-gün değeri ile temmuz ayında, en düşük ışıını 13.03 MJ/m²-gün değeri ile aralık ayında hesaplanmıştır. Erzurum için en yüksek aylık ortalama günlük güneş ışıını 18.72 MJ/m²-gün değeri ile ağustos ayında, en düşük ışıını 9.82 MJ/m²-gün değeri ile aralık ayında hesaplanmıştır. Sivas için en yüksek aylık ortalama günlük güneş ışıını 20.36 MJ/m²-gün değeri ile temmuz ayında, en düşük ışıını 12.39 MJ/m²-gün değeri ile ocak ayında hesaplanmıştır.



Şekil 5.4. Eğik düzleme düşen aylık ortalama günlük güneş ışıını

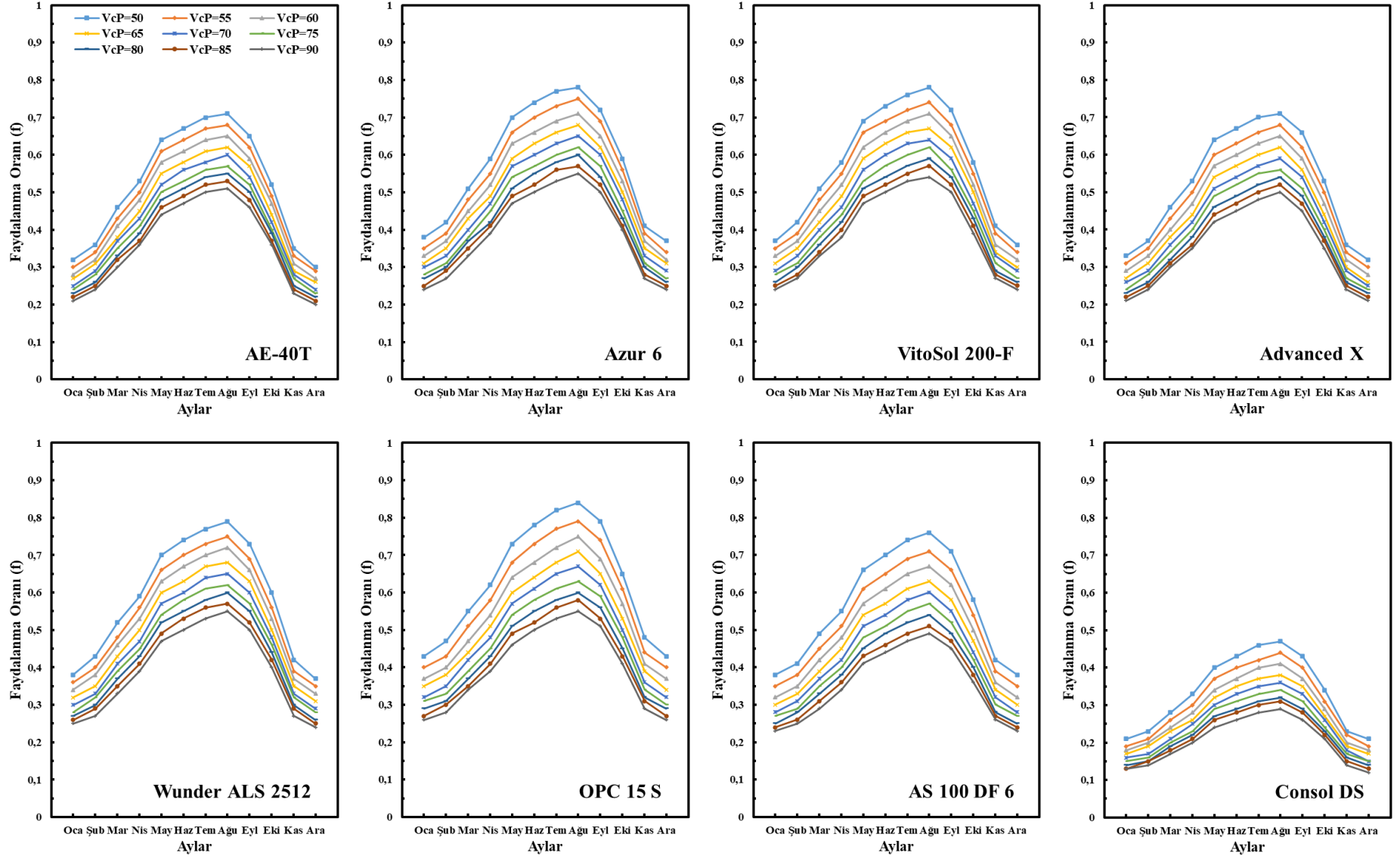
Şekil 5.5'te Aydın ilinde farklı güneş kolektörleri için faydalanma oranları gösterilmektedir. TS 3817 numaralı standart gereği mayıs ayında sıcak su ihtiyacının en az %70'ini karşılaması gerekmektedir. Faydalanma oranı mayıs ayında AE-40T model güneş kolektörü için faydalanma oranı 0.69, Günlük 300 L sıcak su ihtiyacının

karşılanabilmesi için gerekli olan kolektör alanı ise 5,45 m² olarak hesaplanmıştır. Bu duruma göre iki adet kolektör seçilmesi gerekmektedir. Vc değeri 55 olduğunda, AE-40T model güneş kolektörü için faydalanma oranı, 0.33 ile 0.8 arasında değişmektedir. Yine benzer şekilde Azur model güneş kolektörü için faydalanma oranı 0.68 olarak hesaplanmış 4.62 m² kolektör alanı için 2 adet kolektör seçilmesi gerektiği görülmektedir. Vc değerinin 65 olması durumunda aylık faydalanma oranı değerlerinin 0.34 ile 0.82 arasında değiştiği görülmektedir. VitoSol 200-F model güneş kolektörü için faydalanma oranı 0.67, kolektör alanı ise 4,62 m² olarak hesaplanmıştır. Bu durumda seçilmesi gereken kolektör adedi 1'dir. Bu model güneş kolektörü için Vc değerinin 65 olduğu durumda aylık faydalanma oranı değerleri 0.33 ile 0.82 arasında değişmektedir. Aydın ili için Advanced X model güneş kolektörü seçildiğinde faydalanma oranı mayıs ayı için 0.68, kolektör alanı ise 5,45 m² olarak hesaplanmıştır. Gerekli sıcak su ihtiyacının karşılanması için gereken bu model kolektör sayısı 3 adet olarak belirlenmiştir. Vc değeri 55 olduğunda aylık faydalanma değerleri 0.33 ile 0.81 arasında değişmektedir. Wunder ALS 2512 model güneş kolektörü seçildiğinde mayıs ayı için faydalanma oranı 0.68, gerekli olan kolektör alanı 4,62 m² olarak hesaplanmıştır. Günlük 300 L sıcak su ihtiyacının karşılanabilmesi için gerekli olan kolektör sayısı 2 adet olarak belirlenmiştir. Bu model güneş kolektörü seçildiğinde ve Vc değeri 65 olduğunda aylık faydalanma oranı değerleri 0.34 ile 0.83 arasında değişmektedir. OPC 15 S model güneş kolektörü için mayıs ayı faydalanma oranı 0.69 olarak gerekli alan ise 4,62 m² olarak hesaplanmıştır. Bu durumda kullanılması gereken güneş kolektörü sayısı 3 adet olarak belirlenmiştir. Bu durumda Vc 65 değerinde aylık faydalanma oranı 0.37 ile 0.87 arasında değişmektedir. Diğer taraftan AS 100 DF 6 model güneş kolektörü kullandığında mayıs ayı için faydalanma oranı 0.7, gerekli kolektör alanı ise 5,45 m² olarak hesaplanmıştır. Bu model seçildiğinde kullanılması gereken güneş kolektörü sayısı 5 adet olarak belirlenmiştir. AS 100 DF 6 model güneş kolektörü için Vc değerinin 55 olduğu durumda aylık faydalanma oranları 0.37 ile 0.87 değerleri arasında değişmektedir. Consol Ds model güneş kolektörü kullanıldığında mayıs ayı için faydalanma oranı 0.47 olarak hesaplanmıştır. Bu şartlarda ise kolektör alanı 6 m² olup kullanılması gereken kolektör sayısı 6 adet olarak belirlenmiştir. Consol Ds model güneş kolektörü için aylık faydalanma oranı değerleri ise Vc 50 değeri için 0.22 ile 0.6 değerleri arasında değişmektedir.



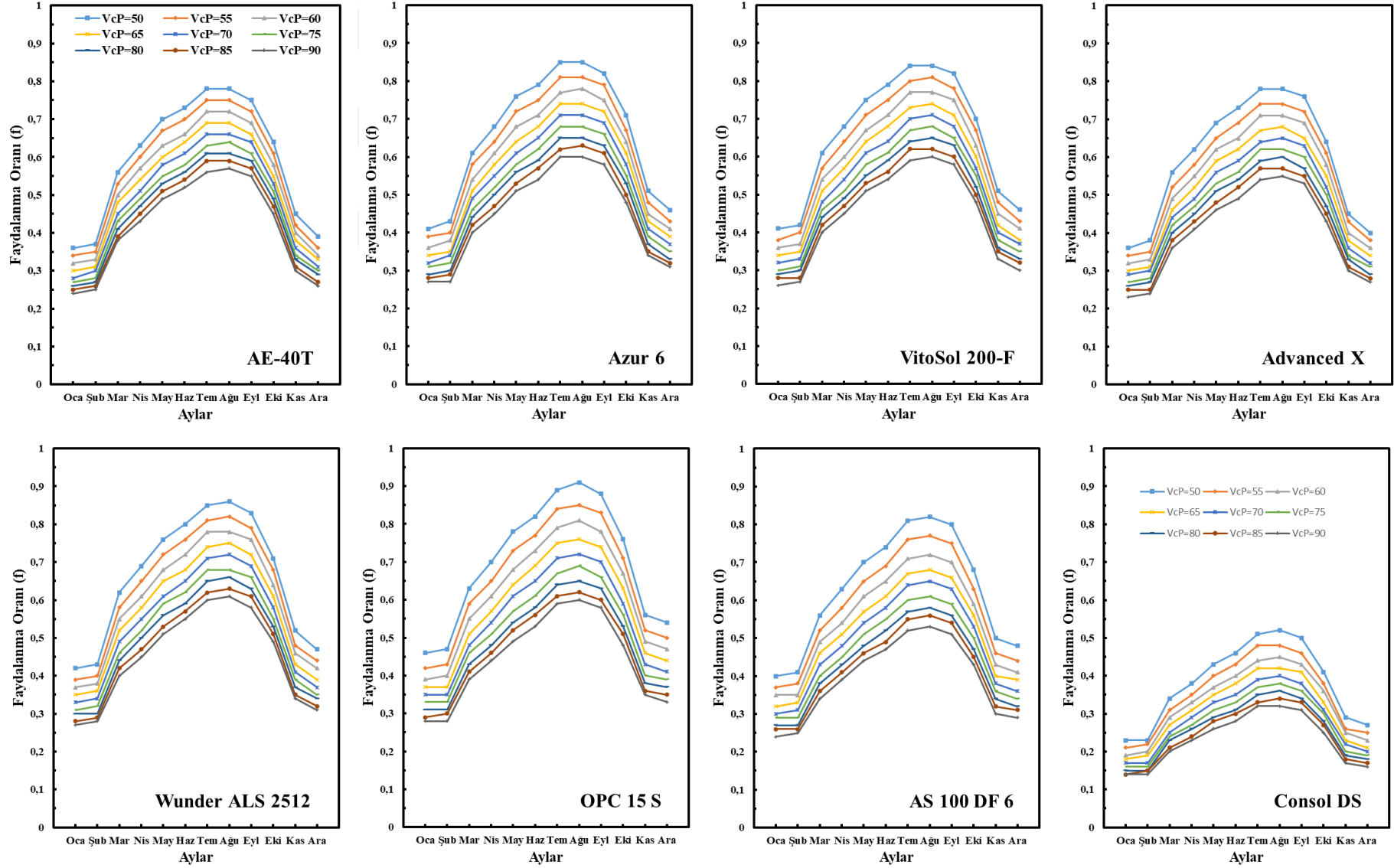
Şekil 5.5. Aydın ilinde farklı güneş kolektörleri için faydalanma oranları

Şekil 5.6'da Samsun ilinde farklı güneş kolektörleri için faydalanma oranları gösterilmektedir. Faydalanma oranı Mayıs ayında AE-40T model güneş kolektörü için faydalanma oranı 0.64, günlük 300 L sıcak su ihtiyacının karşılanabilmesi için gerekli olan kolektör alanı ise 6 m² olarak hesaplanmıştır. Bu duruma göre 2 adet kolektör seçilmesi gerekmektedir. Vc değeri 55 olduğunda, AE-40T model güneş kolektörü için faydalanma oranı, 0.3 ile 0.71 arasında değişmektedir. Yine benzer şekilde Azur model güneş kolektörü için faydalanma oranı 0.7 olarak hesaplanmış 6 m² kolektör alanı için 2 adet kolektör seçilmesi gerektiği görülmektedir. Vc değerinin 50 olması durumunda aylık faydalanma oranı değerlerinin 0.37 ile 0.78 arasında değiştiği görülmektedir. VitoSol 200-F model güneş kolektörü için faydalanma oranı 0.69, kolektör alanı ise 6 m² olarak hesaplanmıştır. Bu durumda seçilmesi gereken kolektör adedi 1'dir. Bu model güneş kolektörü için Vc değerinin 50 olduğu durumda aylık faydalanma oranı değerleri 0.36 ile 0.78 arasında değişmektedir. Samsun ili için Advanced X model güneş kolektörü seçildiğinde faydalanma oranı Mayıs ayı için 0.64, kolektör alanı ise 6 m² olarak hesaplanmıştır. Gerekli sıcak su ihtiyacının karşılanması için gereken bu model kolektör sayısı 3 adet olarak belirlenmiştir. Vc değeri 50 olduğunda aylık faydalanma değerleri 0.32 ile 0.71 arasında değişmektedir. Wunder ALS 2512 model güneş kolektörü seçildiğinde Mayıs ayı için faydalanma oranı 0.7, gerekli olan kolektör alanı 6 m² olarak hesaplanmıştır. Günlük 300 L sıcak su ihtiyacının karşılanabilmesi için gerekli olan kolektör sayısı 3 adet olarak belirlenmiştir. Bu model güneş kolektörü seçildiğinde ve Vc değeri 50 olduğunda aylık faydalanma oranı değerleri 0.37 ile 0.79 arasında değişmektedir. OPC 15 S model güneş kolektörü için Mayıs ayı faydalanma oranı 0.68 olarak gerekli alan ise 5.45 m² olarak hesaplanmıştır. Bu durumda kullanılması gereken güneş kolektörü sayısı 3 adet olarak belirlenmiştir. Bu durumda Vc 55 değerinde aylık faydalanma oranı 0.4 ile 0.79 arasında değişmektedir. Diğer taraftan AS 100 DF 6 model güneş kolektörü kullandığında Mayıs ayı için faydalanma oranı 0.66, gerekli kolektör alanı ise 6 m² olarak hesaplanmıştır. Bu model seçildiğinde kullanılması gereken güneş kolektörü sayısı 5 adet olarak belirlenmiştir. AS 100 DF 6 model güneş kolektörü için Vc değerinin 50 olduğu durumda aylık faydalanma oranları 0.38 ile 0.76 değerleri arasında değişmektedir. Consol Ds model güneş kolektörü kullanıldığında Mayıs ayı için faydalanma oranı 0.4 olarak hesaplanmıştır. Bu şartlarda ise kolektör alanı 6 m² olup kullanılması gereken kolektör sayısı 4 adet olarak belirlenmiştir. Consol Ds model güneş kolektörü için aylık faydalanma oranı değerleri ise Vc 50 değeri için 0.21 ile 0.47 değerleri arasında değişmektedir.



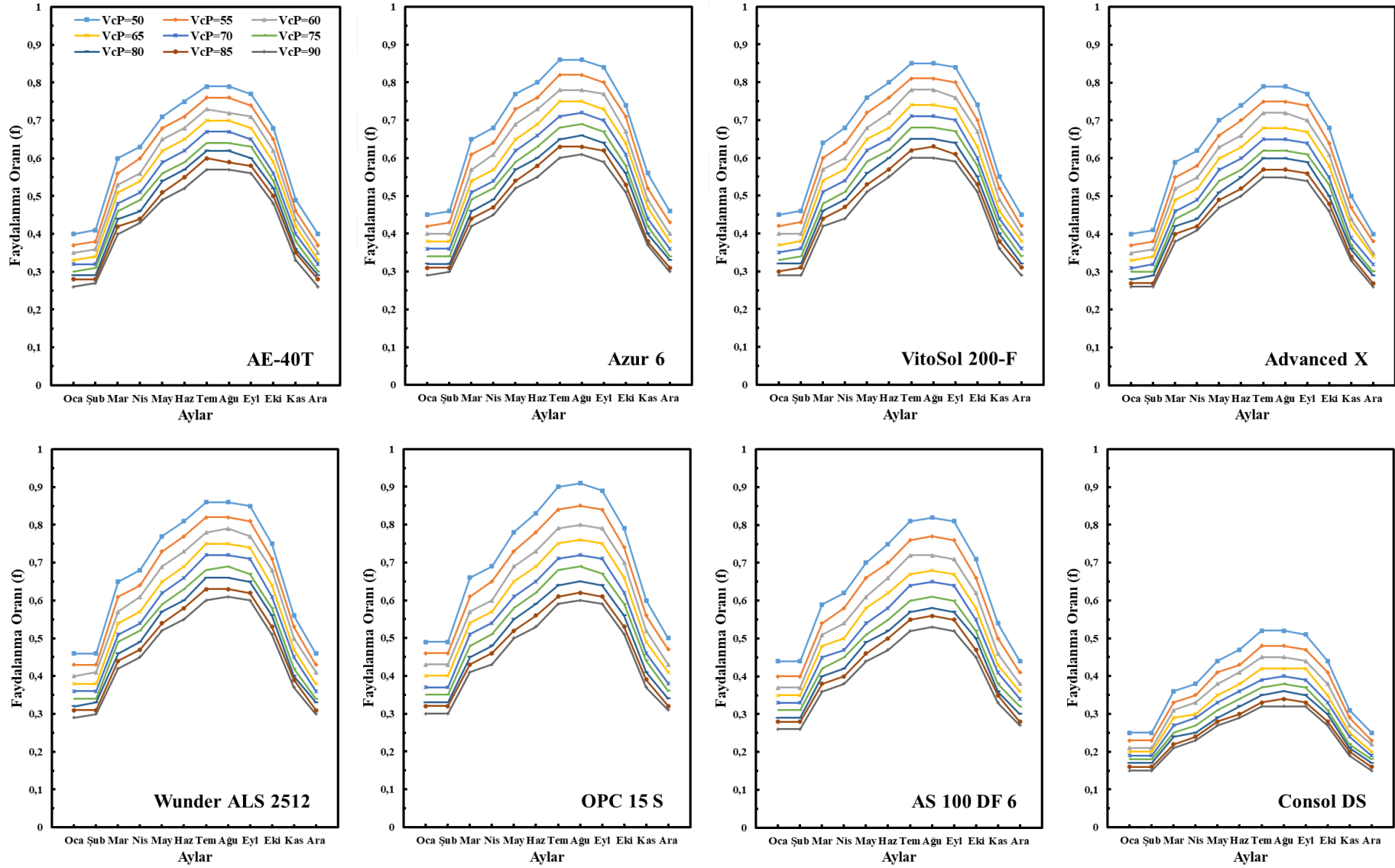
Şekil 5.6. Samsun ilinde farklı güneş kolektörleri için faydalama oranları

Şekil 5.7’de Afyonkarahisar ilinde farklı güneş kolektörleri için faydalanma oranları gösterilmektedir. Faydalanma oranı mayıs ayında AE-40T model güneş kolektörü için faydalanma oranı 0.7, günlük 300 L sıcak su ihtiyacının karşılanabilmesi için gerekli olan kolektör alanı ise 6 m² olarak hesaplanmıştır. Bu duruma göre 2 adet kolektör seçilmesi gerekmektedir. Vc değeri 55 olduğunda, AE-40T model güneş kolektörü için faydalanma oranı, 0.36 ile 0.78 arasında değişmektedir. Yine benzer şekilde Azur model güneş kolektörü için faydalanma oranı 0.68 olarak hesaplanmış 5 m² kolektör alanı için 2 adet kolektör seçilmesi gerektiği görülmektedir. Vc değerinin 60 olması durumunda aylık faydalanma oranı değerlerinin 0.36 ile 0.78 arasında değiştiği görülmektedir. VitoSol 200-F model güneş kolektörü için faydalanma oranı 0.67, kolektör alanı ise 5 m² olarak hesaplanmıştır. Bu durumda seçilmesi gereken kolektör adedi 1’dir. Bu model güneş kolektörü için Vc değerinin 60 olduğu durumda aylık faydalanma oranı değerleri 0.36 ile 0.77 arasında değişmektedir. Afyonkarahisar ili için Advanced X model güneş kolektörü seçildiğinde faydalanma oranı mayıs ayı için 0.69, kolektör alanı ise 6 m² olarak hesaplanmıştır. Gerekli sıcak su ihtiyacının karşılanması için gereken bu model kolektör sayısı 3 adet olarak belirlenmiştir. Vc değeri 50 olduğunda aylık faydalanma değerleri 0.36 ile 0.78 arasında değişmektedir. Wunder ALS 2512 model güneş kolektörü seçildiğinde mayıs ayı için faydalanma oranı 0.68, gerekli olan kolektör alanı 5 m² olarak hesaplanmıştır. Günlük 300 L sıcak su ihtiyacının karşılanabilmesi için gerekli olan kolektör sayısı 2 adet olarak belirlenmiştir. Bu model güneş kolektörü seçildiğinde ve Vc değeri 60 olduğunda aylık faydalanma oranı değerleri 0.37 ile 0.78 arasında değişmektedir. OPC 15 S model güneş kolektörü için mayıs ayı faydalanma oranı 0.68 olarak gerekli alan ise 5 m² olarak hesaplanmıştır. Bu durumda kullanılması gereken güneş kolektörü sayısı 3 adet olarak belirlenmiştir. Bu durumda Vc 60 değerinde aylık faydalanma oranı 0.39 ile 0.81 arasında değişmektedir. Diğer taraftan AS 100 DF 6 model güneş kolektörü kullandığında mayıs ayı için faydalanma oranı 0.7, gerekli kolektör alanı ise 6 m² olarak hesaplanmıştır. Bu model seçildiğinde kullanılması gereken güneş kolektörü sayısı 5 adet olarak belirlenmiştir. AS 100 DF 6 model güneş kolektörü için Vc değerinin 50 olduğu durumda aylık faydalanma oranları 0.4 ile 0.82 değerleri arasında değişmektedir. Consol Ds model güneş kolektörü kullanıldığında mayıs ayı için faydalanma oranı 0.43 olarak hesaplanmıştır. Bu şartlarda ise kolektör alanı 6 m² olup kullanılması gereken kolektör sayısı 4 adet olarak belirlenmiştir. Consol Ds model güneş kolektörü için aylık faydalanma oranı değerleri ise Vc 50 değeri için 0.23 ile 0.52 değerleri arasında değişmektedir.



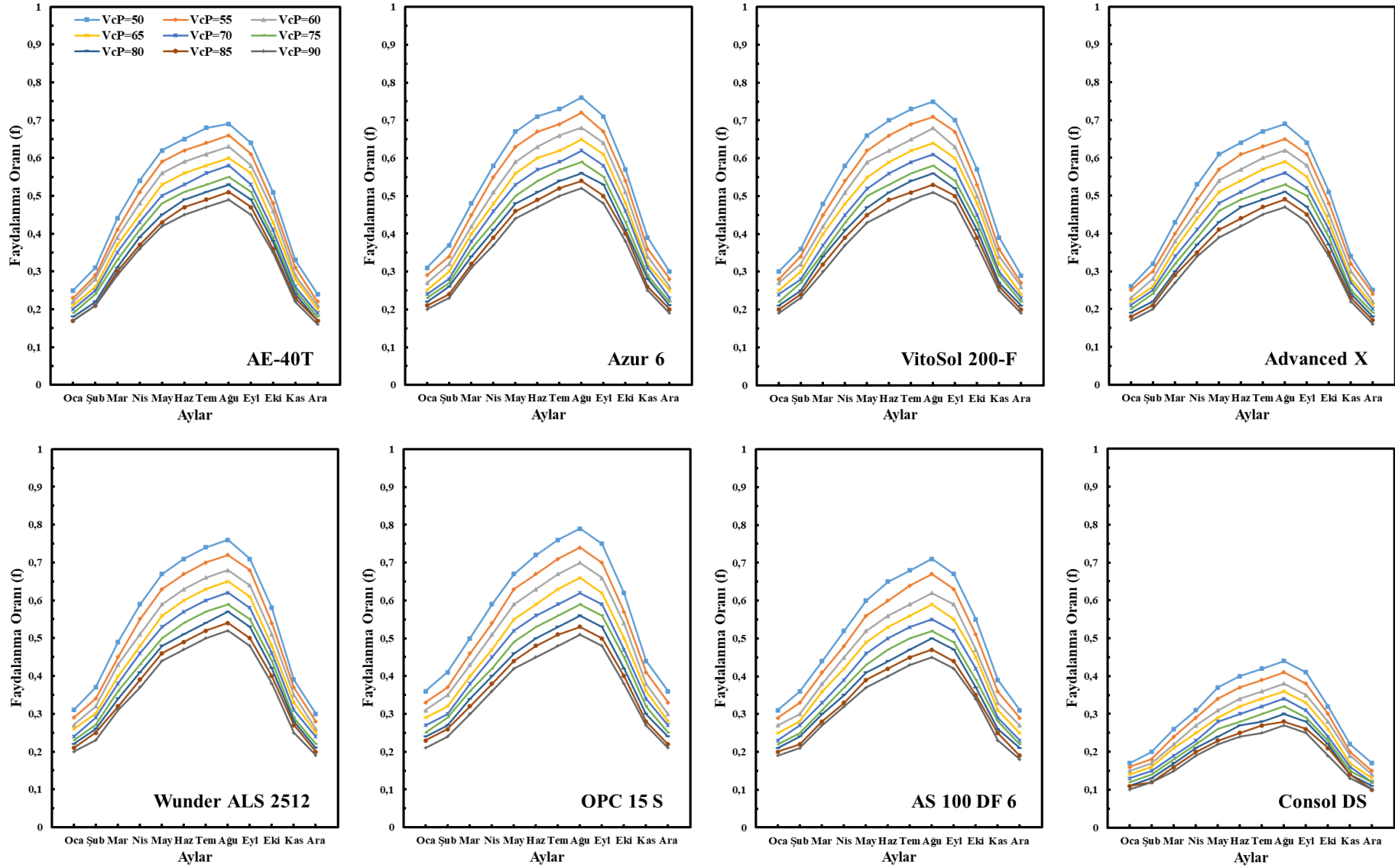
Şekil 5.7. Afyonkarahisar ilinde farklı güneş kolektörleri için faydalama oranları

Şekil 5.8’de Niğde ilinde farklı güneş kolektörleri için faydalanma oranları gösterilmektedir. Faydalanma oranı mayıs ayında AE-40T model güneş kolektörü için faydalanma oranı 0.68, günlük 300 L sıcak su ihtiyacının karşılanabilmesi için gerekli olan kolektör alanı ise 5,45 m² olarak hesaplanmıştır. Bu duruma göre 2 adet kolektör seçilmesi gerekmektedir. Vc değeri 55 olduğunda, AE-40T model güneş kolektörü için faydalanma oranı, 0.37 ile 0.76 arasında değişmektedir. Yine benzer şekilde Azur model güneş kolektörü için faydalanma oranı 0.69 olarak hesaplanmış 5 m² kolektör alanı için 2 adet kolektör seçilmesi gerektiği görülmektedir. Vc değerinin 60 olması durumunda aylık faydalanma oranı değerlerinin 0.4 ile 0.78 arasında değiştiği görülmektedir. VitoSol 200-F model güneş kolektörü için faydalanma oranı 0.68, kolektör alanı ise 5 m² olarak hesaplanmıştır. Bu durumda seçilmesi gereken kolektör adedi 1’dir. Bu model güneş kolektörü için Vc değerinin 60 olduğu durumda aylık faydalanma oranı değerleri 0.4 ile 0.78 arasında değişmektedir. Niğde ili için Advanced X model güneş kolektörü seçildiğinde faydalanma oranı mayıs ayı için 0.7, kolektör alanı ise 6 m² olarak hesaplanmıştır. Gerekli sıcak su ihtiyacının karşılanması için gereken bu model kolektör sayısı 3 adet olarak belirlenmiştir. Vc değeri 50 olduğunda aylık faydalanma değerleri 0.4 ile 0.79 arasında değişmektedir. Wunder ALS 2512 model güneş kolektörü seçildiğinde mayıs ayı için faydalanma oranı 0.69, gerekli olan kolektör alanı 5 m² olarak hesaplanmıştır. Günlük 300 L sıcak su ihtiyacının karşılanabilmesi için gerekli olan kolektör sayısı 2 adet olarak belirlenmiştir. Bu model güneş kolektörü seçildiğinde ve Vc değeri 60 olduğunda aylık faydalanma oranı değerleri 0.4 ile 0.79 arasında değişmektedir. OPC 15 S model güneş kolektörü için mayıs ayı faydalanma oranı 0.69 olarak gerekli alan ise 5 m² olarak hesaplanmıştır. Bu durumda kullanılması gereken güneş kolektörü sayısı 3 adet olarak belirlenmiştir. Bu durumda Vc 60 değerinde aylık faydalanma oranı 0.43 ile 0.8 arasında değişmektedir. Diğer taraftan AS 100 DF 6 model güneş kolektörü kullandığında mayıs ayı için faydalanma oranı 0.7, gerekli kolektör alanı ise 6 m² olarak hesaplanmıştır. Bu model seçildiğinde kullanılması gereken güneş kolektörü sayısı 5 adet olarak belirlenmiştir. AS 100 DF 6 model güneş kolektörü için Vc değerinin 50 olduğu durumda aylık faydalanma oranları 0.44 ile 0.82 değerleri arasında değişmektedir. Consol Ds model güneş kolektörü kullanıldığında mayıs ayı için faydalanma oranı 0.44 olarak hesaplanmıştır. Bu şartlarda ise kolektör alanı 6 m² olup kullanılması gereken kolektör sayısı 4 adet olarak belirlenmiştir. Consol Ds model güneş kolektörü için aylık faydalanma oranı değerleri ise Vc 50 değeri için 0.25 ile 0.52 değerleri arasında değişmektedir.



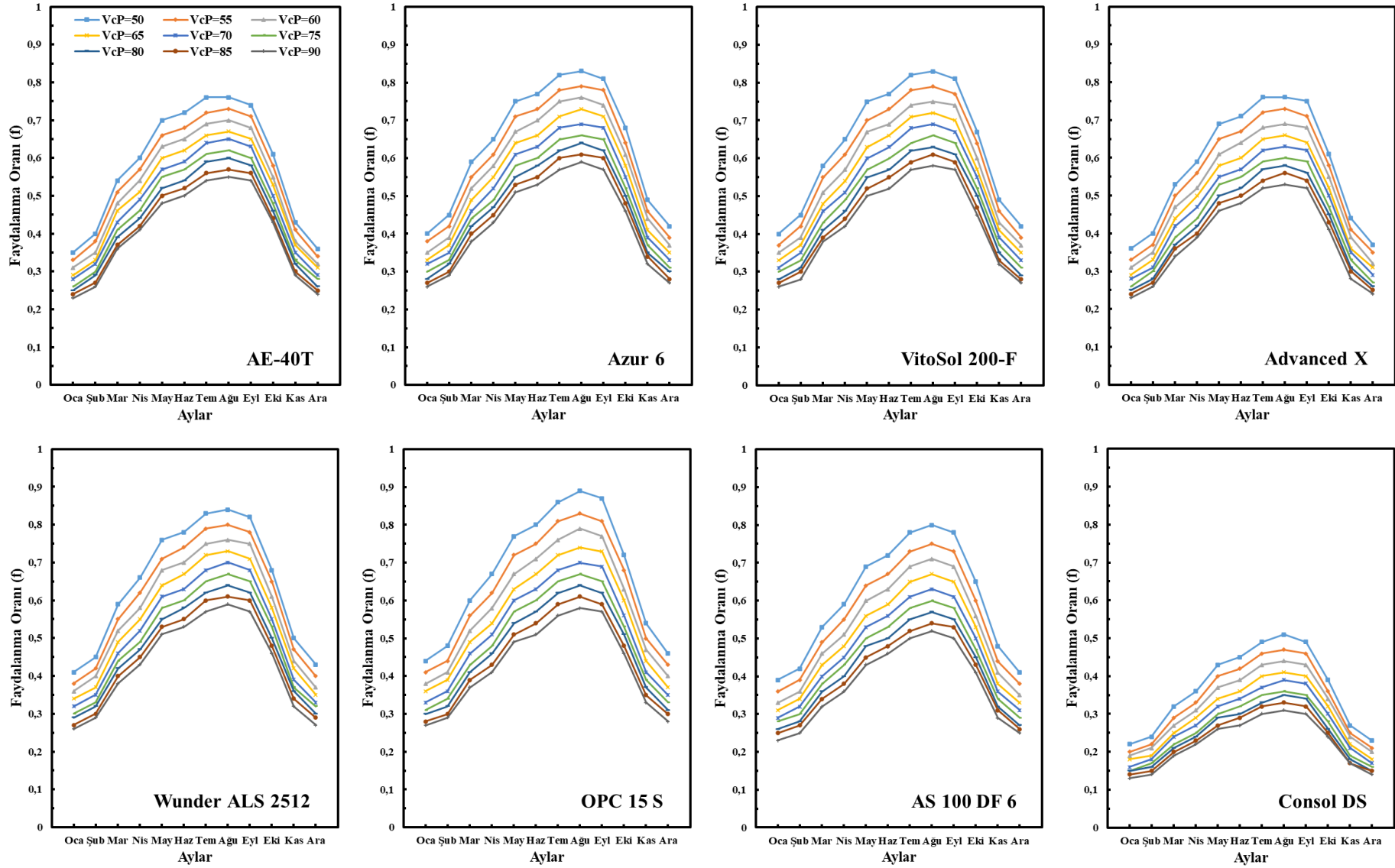
Şekil 5.8. Niğde ilinde farklı güneş kolektörleri için faydalama oranları

Şekil 5.9’de Erzurum ilinde farklı güneş kolektörleri için faydalanma oranları gösterilmektedir. Faydalanma oranı mayıs ayında AE-40T model güneş kolektörü için faydalanma oranı 0.62, günlük 300 L sıcak su ihtiyacının karşılanabilmesi için gerekli olan kolektör alanı ise 6 m² olarak hesaplanmıştır. Bu duruma göre 2 adet kolektör seçilmesi gerekmektedir. Vc değeri 50 olduğunda, AE-40T model güneş kolektörü için faydalanma oranı, 0.24 ile 0.69 arasında değişmektedir. Yine benzer şekilde Azur model güneş kolektörü için faydalanma oranı 0.67 olarak hesaplanmış 6 m² kolektör alanı için 3 adet kolektör seçilmesi gerektiği görülmektedir. Vc değerinin 50 olması durumunda aylık faydalanma oranı değerlerinin 0.3 ile 0.76 arasında değiştiği görülmektedir. VitoSol 200-F model güneş kolektörü için faydalanma oranı 0.66, kolektör alanı ise 6 m² olarak hesaplanmıştır. Bu durumda seçilmesi gereken kolektör adedi 1’dir. Bu model güneş kolektörü için Vc değerinin 50 olduğu durumda aylık faydalanma oranı değerleri 0.29 ile 0.75 arasında değişmektedir. Erzurum ili için Advanced X model güneş kolektörü seçildiğinde faydalanma oranı mayıs ayı için 0.61, kolektör alanı ise 6 m² olarak hesaplanmıştır. Gerekli sıcak su ihtiyacının karşılanması için gereken bu model kolektör sayısı 3 adet olarak belirlenmiştir. Vc değeri 50 olduğunda aylık faydalanma değerleri 0.25 ile 0.69 arasında değişmektedir. Wunder ALS 2512 model güneş kolektörü seçildiğinde mayıs ayı için faydalanma oranı 0.67, gerekli olan kolektör alanı 6 m² olarak hesaplanmıştır. Günlük 300 L sıcak su ihtiyacının karşılanabilmesi için gerekli olan kolektör sayısı 3 adet olarak belirlenmiştir. Bu model güneş kolektörü seçildiğinde ve Vc değeri 50 olduğunda aylık faydalanma oranı değerleri 0.3 ile 0.76 arasında değişmektedir. OPC 15 S model güneş kolektörü için mayıs ayı faydalanma oranı 0.67 olarak gerekli alan ise 6 m² olarak hesaplanmıştır. Bu durumda kullanılması gereken güneş kolektörü sayısı 4 adet olarak belirlenmiştir. Bu durumda Vc 50 değerinde aylık faydalanma oranı 0.36 ile 0.79 arasında değişmektedir. Diğer taraftan AS 100 DF 6 model güneş kolektörü kullandığında mayıs ayı için faydalanma oranı 0.6, gerekli kolektör alanı ise 6 m² olarak hesaplanmıştır. Bu model seçildiğinde kullanılması gereken güneş kolektörü sayısı 5 adet olarak belirlenmiştir. AS 100 DF 6 model güneş kolektörü için Vc değerinin 50 olduğu durumda aylık faydalanma oranları 0.31 ile 0.71 değerleri arasında değişmektedir. Consol Ds model güneş kolektörü kullanıldığında mayıs ayı için faydalanma oranı 0.37 olarak hesaplanmıştır. Bu şartlarda ise kolektör alanı 6 m² olup kullanılması gereken kolektör sayısı 4 adet olarak belirlenmiştir. Consol Ds model güneş kolektörü için aylık faydalanma oranı değerleri ise Vc 50 değeri için 0.17 ile 0.44 değerleri arasında değişmektedir



Şekil 5.9. Erzurum ilinde farklı güneş kolektörleri için faydalama oranları

Şekil 5.10'da Sivas ilinde farklı güneş kolektörleri için faydalanma oranları gösterilmektedir. Faydalanma oranı mayıs ayında AE-40T model güneş kolektörü için faydalanma oranı 0.7, günlük 300 L sıcak su ihtiyacının karşılanabilmesi için gerekli olan kolektör alanı ise 6 m² olarak hesaplanmıştır. Bu duruma göre 2 adet kolektör seçilmesi gerekmektedir. Vc değeri 50 olduğunda, AE-40T model güneş kolektörü için faydalanma oranı, 0.35 ile 0.76 arasında değişmektedir. Yine benzer şekilde Azur model güneş kolektörü için faydalanma oranı 0.67 olarak hesaplanmış 5 m² kolektör alanı için 2 adet kolektör seçilmesi gerektiği görülmektedir. Vc değerinin 60 olması durumunda aylık faydalanma oranı değerlerinin 0.35 ile 0.76 arasında değiştiği görülmektedir. VitoSol 200-F model güneş kolektörü için faydalanma oranı 0.7, kolektör alanı ise 5.45 m² olarak hesaplanmıştır. Bu durumda seçilmesi gereken kolektör adedi 1'dir. Bu model güneş kolektörü için Vc değerinin 55 olduğu durumda aylık faydalanma oranı değerleri 0.37 ile 0.79 arasında değişmektedir. Sivas ili için Advanced X model güneş kolektörü seçildiğinde faydalanma oranı mayıs ayı için 0.69, kolektör alanı ise 5.45 m² olarak hesaplanmıştır. Gerekli sıcak su ihtiyacının karşılanması için gereken bu model kolektör sayısı 3 adet olarak belirlenmiştir. Vc değeri 50 olduğunda aylık faydalanma değerleri 0.36 ile 0.76 arasında değişmektedir. Wunder ALS 2512 model güneş kolektörü seçildiğinde mayıs ayı için faydalanma oranı 0.68, gerekli olan kolektör alanı 5 m² olarak hesaplanmıştır. Günlük 300 L sıcak su ihtiyacının karşılanabilmesi için gerekli olan kolektör sayısı 2 adet olarak belirlenmiştir. Bu model güneş kolektörü seçildiğinde ve Vc değeri 60 olduğunda aylık faydalanma oranı değerleri 0.36 ile 0.76 arasında değişmektedir. OPC 15 S model güneş kolektörü için mayıs ayı faydalanma oranı 0.67 olarak gerekli alan ise 5 m² olarak hesaplanmıştır. Bu durumda kullanılması gereken güneş kolektörü sayısı 3 adet olarak belirlenmiştir. Bu durumda Vc 60 değerinde aylık faydalanma oranı 0.38 ile 0.79 arasında değişmektedir. Diğer taraftan AS 100 DF 6 model güneş kolektörü kullandığında mayıs ayı için faydalanma oranı 0.69, gerekli kolektör alanı ise 6 m² olarak hesaplanmıştır. Bu model seçildiğinde kullanılması gereken güneş kolektörü sayısı 5 adet olarak belirlenmiştir. AS 100 DF 6 model güneş kolektörü için Vc değerinin 50 olduğu durumda aylık faydalanma oranları 0.39 ile 0.8 değerleri arasında değişmektedir. Consol Ds model güneş kolektörü kullanıldığında mayıs ayı için faydalanma oranı 0.43 olarak hesaplanmıştır. Bu şartlarda ise kolektör alanı 6 m² olup kullanılması gereken kolektör sayısı 4 adet olarak belirlenmiştir. Consol Ds model güneş kolektörü için aylık faydalanma oranı değerleri ise Vc 50 değeri için 0.22 ile 0.51 değerleri arasında değişmektedir.



Şekil 5.10. Sivas ilinde farklı güneş kolektörleri için faydalama oranları

5.1 Niğde İli Solimpeks - Wunder ALS 2512 Panel Kollektör İçin Ekonomik Analiz

Tasarlanan sistem için kullanılan malzeme maliyetleri güncel ve ortalama değerler olarak alınmıştır. İşçilik maliyeti sistemin 1 gün içerisinde kurulumunun tamamlanacağı ön görülerek fiyatlandırma yapılmıştır. İlk yatırım maliyeti olarak 49.244,81TL olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.2. Sistem için kullanılan malzeme ve maliyetleri

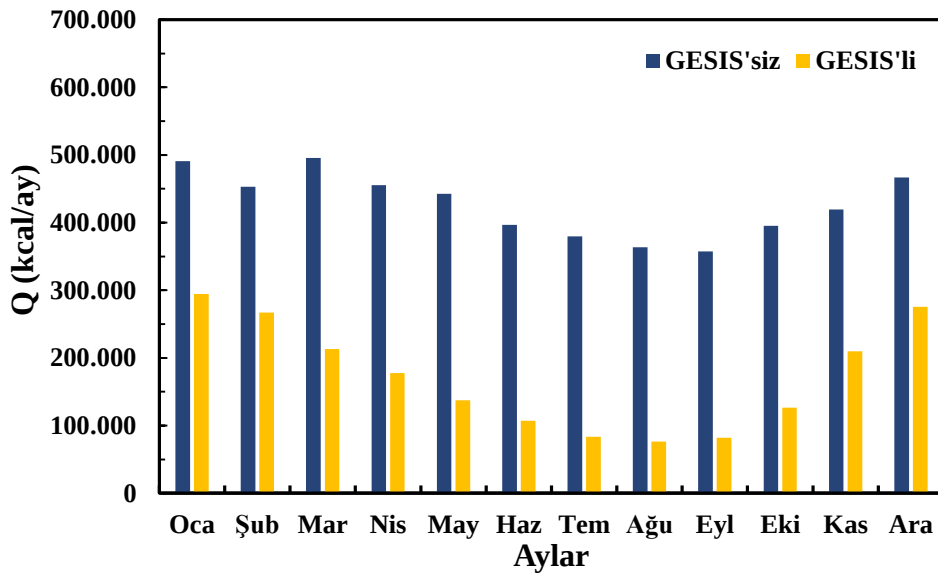
Malzeme	Miktar	Fiyat
1/2" Pprc Boru	24 m	689,28 TL
3/4" Pprc Boru	9 m	191,64 TL
3/4" Dirsek	4 adet	337,56 TL
1/2" Dirsek	10 adet	72,50 TL
1/2" İç Dişli Kulaklı Dirsek	3 adet	267,00 TL
1/2" Manşon	10 adet	72,50 TL
3/4" Manşon	3 adet	77,50 TL
3/4"-1/2" Redüksiyon	1 adet	6,50 TL
1/2" Te	2 adet	8,75 TL
1/2" Küresel Vana	1 adet	179,90 TL
3/4" Küresel Vana	1 adet	246,68 TL
Wunder ALS 2512 Panel Kollektör	2 adet	20.636,00 TL
300 L Yatık Su Deposu	1 adet	18.679,00 TL
Çatı Üstü Montaj Seti	1 adet	2.780,00 TL
İşçilik	-	5.000,00 TL
Toplam Maliyet		49.244,81 TL

Tablo 5.3’de Niğde ili 60 °C de 300 L sıcak su ihtiyacı için gerekli olan enerji miktarlarının hesaplanabilmesi için tercih edilen yardımcı ısı kaynakları olan elektrik enerjisinin ve doğalgaz enerjisinin değerleri verilmiştir.

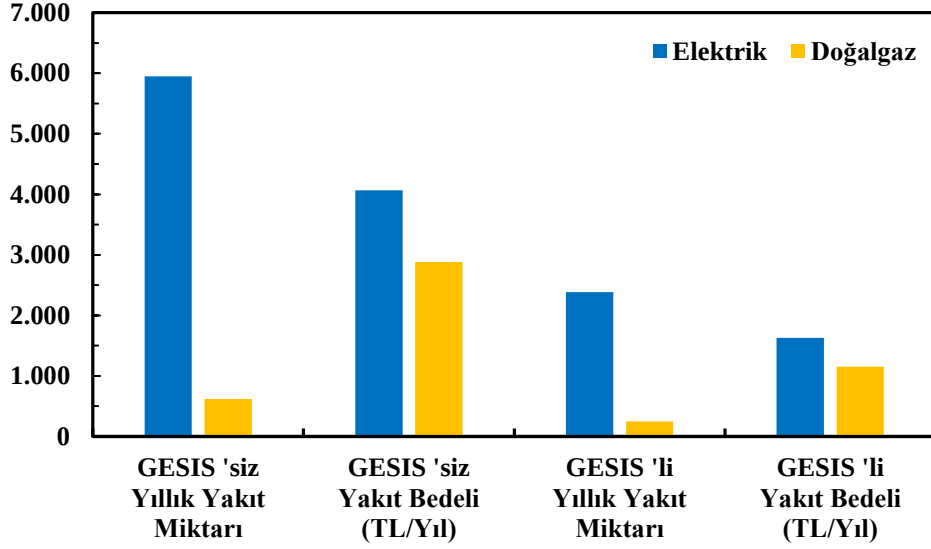
Tablo 5.3. Elektrik ve doğalgaz değerleri

Yakıt Tipi	Isıl Değer	Yanma Verimi (%)	Birim Fiyat (TL)
Elektrik	860 kcal/kWh	0,99	0,68
Doğalgaz	8.250 kcal/m ³	0,92	4,27

Şekil 5.11’de Niğde ili 60 °C de 300 L sıcak su ihtiyacı için gerekli olan enerji miktarlarının oranları gösterilmektedir. Yıllık olarak ihtiyaç duyulan enerji miktarı 5.116.350 kcal/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu miktarının da 3.065.806 kcal/yıl ‘lık kısmı güneş enerjili su ısıtma sisteminden karşılanabilmektedir.

**Şekil 5.11.** Niğde ili 60 °C de 300 L sıcak su ihtiyacı için gerekli olan enerji miktarı

Şekil 5.12’de Niğde ili 60 °C de 300 L sıcak su ihtiyacı için güneş enerjili su ısıtma sisteminin tercih edildiği ve edilmediği durumlar için yıllık yakıt miktarı ve yakıt bedellerin oranları verilmiştir. İhtiyaç duyulan sıcak su miktarı için ısı kaynağı olarak elektrik enerjisinin faydalanılması durumunda 5.949 kWh/yıl yakıt miktarına karşılık 4.068,00 TL yakıt bedeli hesaplanmıştır. Isı kaynağı olarak doğalgazdan faydalanılması durumunda da 620 m³ yakıt miktarına karşılık 2.880,00 TL yakıt bedeli hesaplanmıştır. Güneş enerjili su ısıtma sitemine yardımcı ısı kaynağı olarak elektrik enerjisinin tercih edilmesi durumunda yakıt miktarı 2.384 kWh/yıl ‘a düşerken yakıt bedeli 1.630,00 TL ‘ye düşmektedir. Yardımcı ısı kaynağı olarak doğalgazın tercih edilmesi durumunda yıllık yakıt miktarı 249 m³/yıl ‘a düşerken yakıt bedeli de 1.154,00 TL ‘y düşmektedir.



Şekil 5.12. Niğde ili GESIS 'siz ve GESIS 'li sistemlerinin maliyet sonuçları

5.2 Niğde İli İçin Tasarlanan Sistemin Geri Ödeme Süresi

Geri ödeme süreleri ek enerji kaynağı olarak elektrik ve doğalgaz enerjisinin kullanıldığı sistemler için ayrı ayrı olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 5.4 'da ve Tablo 5.5 'de verilmiştir. Ek enerji kaynağı olarak elektrik enerjisinin tercih edildiği sistemin geri ödeme süresi 16,8 yıl olarak hesaplanırken, ek enerji kaynağı olarak doğalgaz enerjisinin tercih edildiği sistemin geri ödeme süresi 23,9 yıl olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.4. Niğde ili ek enerji kaynağı olarak elektrik enerjisinin tercih edildiği sistemin geri ödeme süresi

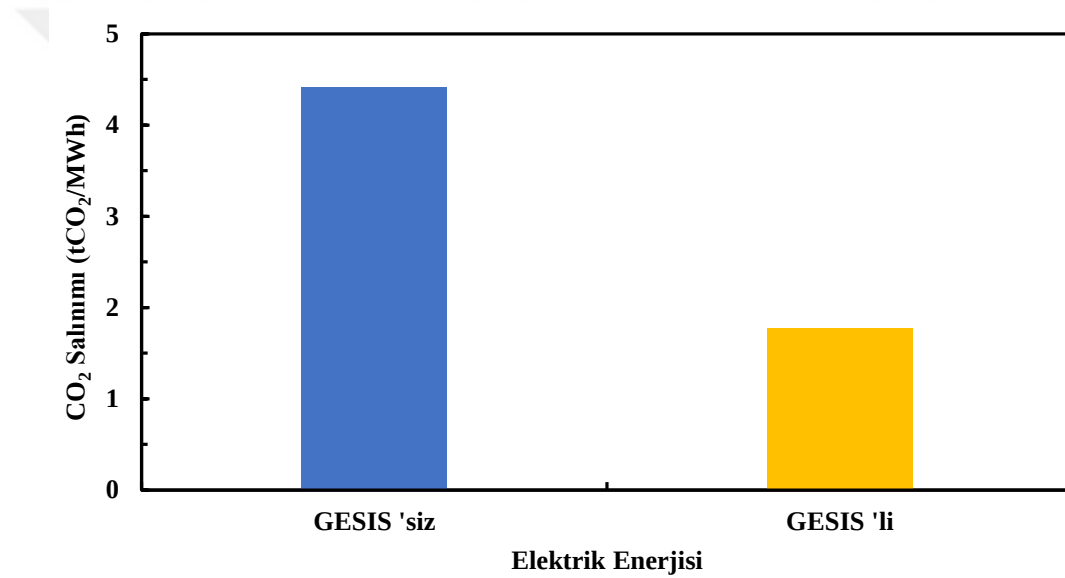
p (yıl)	1	5	10	15	16,8
Z (TL)	66.973	229.116	1.065.981	4.959.571	8.626.093
D (TL)	4.068	69.232	640.207	4.440.203	8.630.163

Tablo 5.5. Niğde ili ek enerji kaynağı olarak doğalgaz enerjisinin tercih edildiği sistemin geri ödeme süresi.

p (yıl)	1	5	10	15	23,9
Z (TL)	66.973	229.116	1.065.981	4.959.571	76.549.149
D (TL)	2.880	49.014	453.251	3.143.553	76.458.441

5.3 Niğde İli İçin Tasarlanan Sistemin CO₂ Salınımı

Şekil 5.13’de Niğde ili için güneş enerjili su ısıtma sisteminin kullanılmadığı ve kullanıldığı durumlar için CO₂ salınımı oranları verilmiştir. İhtiyaç duyulan sıcak su miktarının elektrik enerjisi vasıtası ile elde edilmesi sonucunda yıllık olarak 4.42 ton CO₂ salınımı yapılmaktadır. Buna karşılık olarak ihtiyaç duyulan sıcak su miktarının güneş enerjili sıcak su ısıtma sistemi vasıtasıyla elde edilmesi sonucunda yıllık 1.77 ton CO₂ salınımı yapılmaktadır. Buradan yola çıkarak güneş enerjili su ısıtma sisteminin kullanılması ile yıllık CO₂ salınım oranını %60 azaltabilmenin mümkün olduğu ortaya çıkmaktadır.

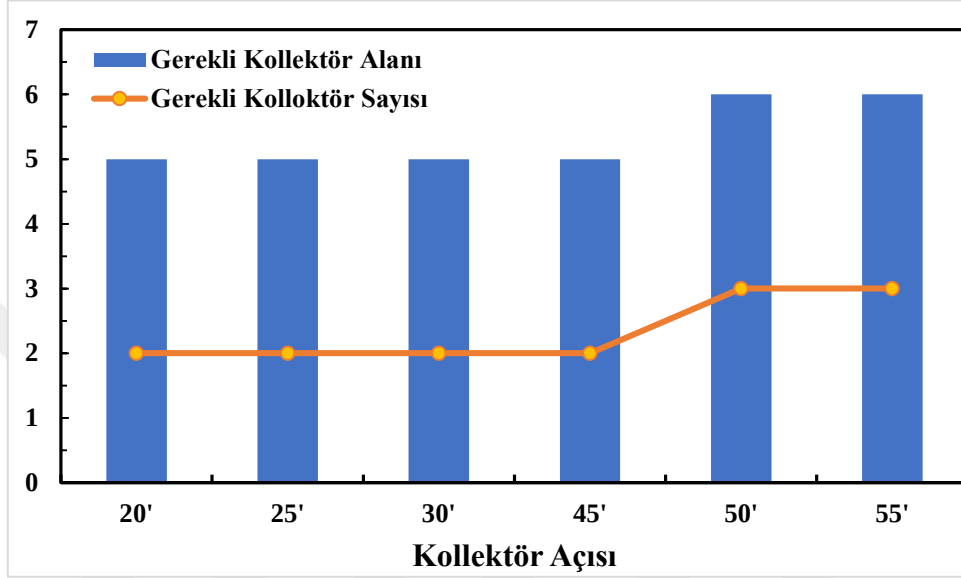


Şekil 5.13. Niğde İli İçin Tasarlanan Sistemin CO₂ Salınımı

5.4 Niğde İli İçin Tasarlanan Sistemin Farklı Kollektör Açılarındaki Gerekli Olan Kollektör Alan ve Sayıları

Şekil 5.14’de tasarlanan sistemin farklı kollektör açılarındaki dizayn edilmesi sonucunda gerekli olan kollektör alan ve sayısındaki değişim oranları verilmiştir. Kollektör açısının 20° olarak ayarlanması durumunda gerekli olan kollektör alanı 4.62 m² ve gerekli kollektör sayısı 2 olarak hesaplanmıştır. Kollektör açısının 25° olarak ayarlanması durumunda gerekli olan kollektör alanı 4.62 m² ve gerekli kollektör sayısı 2 olarak hesaplanmıştır. Kollektör açısının 30° olarak ayarlanması durumunda gerekli olan kollektör alanı 4.62 m² ve gerekli kollektör sayısı 2 olarak hesaplanmıştır. Kollektör açısının 45°

olarak ayarlanması durumunda gerekli olan kollektör alanı 5.45 m^2 ve gerekli kollektör sayısı 2 olarak hesaplanmıştır. Kollektör açısının 50° olarak ayarlanması durumunda gerekli olan kollektör alanı 6 m^2 ve gerekli kollektör sayısı 3 olarak hesaplanmıştır. Kollektör açısının 55° olarak ayarlanması durumunda gerekli olan kollektör alanı 4.62 m^2 ve gerekli kollektör sayısı 3 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.14. Niğde ili için tasarlanan sistemin farklı kollektör açılarındaki gerekli olan kollektör alan ve sayıları

BÖLÜM VI

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, araştırma lokasyonları olarak farklı derece-gün bölgelerinde bulunan 6 farklı il için ayrı ayrı 6 farklı güneş kollektörü (panel ve vakum tüplü) belirlenmiştir. Her il için Mathcad programı vasıtası ile eğik yüzeye düşen günlük güneş ışıınımları hesaplanmıştır. Her kollektör için Python programı vasıtası ile gerekli kollektör alanları hesaplanarak ihtiyaç duyulan kollektör sayıları belirlenmiştir. Niğde ili pilot il ve Solimpeks Solar Energy Corporation firması tarafından üretilen Wunder ALS 2512 model panel kollektör pilot kollektör seçilerek bir sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem için ekonomik analiz yapılarak elektrikli ve doğalgazlı yardımcı ısıtıcılı sistemler için geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Elektrik enerjili yardımcı sistem için CO₂ salınım değerleri hesaplanarak hava kirliliğine etkisi hesaplanmıştır. Son olarak tasarlanan sistemin kollektör açısı değiştirilerek gerekli olan kollektör alan ve sayılarındaki değişim analiz edilmiştir. Elde edilen grafik ve tablolar tez içerisinde mevcuttur

- Derece-gün bölgelerini temsilen seçilen iller doğrultusunda; 1. bölge ve 3. bölge illerimizde eğik düzeye düşen ortalama günlük güneş ışıınımları 2. bölge ve 4. bölgelerde ki illerimize nazaran daha fazladır.
- Yapılan hesaplamalar sonucunda seçilen araştırma lokasyonları için gerekli olan kollektör alanlarının 4.62 m² ile 6 m² arasında gerekli kollektör sayılarının 1 ile 5 arasında değişmektedir.
- Sistemin kurulacağı lokasyonun özelliklerinin yanı sıra kullanılacak olan kollektör özelliklerinin de kullanılacak malzeme sayısına doğrudan etki etmektedir.
- İlk yatırım maliyetinin yüksek olmasının ana sebebinin kollektör ve su deposu maliyetinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

- Tasarlanan sistem ile ortalama %60 oranında yakıt miktarında ve yakıt bedelinde tasarruf sağlamaktadır.
- Ek enerji kaynağı olarak elektrik enerjisinin kullanıldığı sistemin geri ödeme süresi ile doğalgazlı sistemin geri ödeme süreleri arasında ortalama %30 oranında fark bulunmaktadır. Bu fark elektrik enerjisinin yanma veriminin doğalgaz yanma veriminden fazla olmasından kaynaklanmaktadır.
- Güneş enerjili sistemlerin kullanılması ile CO₂ salınımına ortalama %60 oranında etki ederek hava kirliliğinin önlenmesi noktasında ciddi manada katkı sağlamaktadır.
- Tasarlanan sistemin kolektör açısının artması ile güneş enerjisinin absorbe edilme oranı düşmektedir. Buna bağlı olarak gerekli olan kolektör alanı ve sayısı artmaktadır.

KAYNAKLAR

AbdurRehman H.M. and Al-Sulaiman F.A., “Optimum selection of solar water heating (SWH) systems based on their comparative techno-economic feasibility study for the domestic sector of Saudi Arabia” ***Renewable and Sustainable Energy Reviews***, 62, 336-349, 2016.

Akova, İ., “Dünya enerji sorunu ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı”, ***İstanbul Üniversitesi Coğrafya Dergisi***, 11, 47-73, 2003.

Akova, İ., Yenilenebilir Enerji Kaynakları, 1. Basım, ***Nobel Yayın Dağıtım***, Ankara, 2008.

Altıntop, N. ve Erdemir, D., “Dünyada ve Türkiye’de güneş enerjisi ile ilgili gelişmeler”, ***Mühendis ve Makine***, 54(639), 69-77, 2013.

Aste N., Beccali M., Tagliabue L.C., “Nomograph for rapid technical and economic assessment of solar thermal systems for DHW production”, ***Solar Energy***, 86(9), 2472-2485, 2012.

Avinç, A., “Değişik enerji kaynakları ve çevreye etkileri” ***Ekoloji Çevre Dergisi***, 7(27), 19-23, 1997.

Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, “Dünya’da ve Türkiye’de güneş enerjisi” ***EKC Form Ofset***, Ankara, 2009.

Eryıldız, D. E. ve Demırbilek, F. N., “Anatolia solar architecture”, ***Proceedings of the 3rd National Clean Energy Symposium***, Istanbul, Turkey, 15-17 November, 2000.

Eskin, N., “Türkiye’de güneş enerjisi araştırma ve geliştirme”, ***TMMOB makine Mühendisleri Odası Tesisat Mühendisliği Dergisi***, 91, 74-82, 2006.

Gautam A., Chamoli S., Kumara A., Singh S., “A review on technical improvements, economic feasibility and world scenario of solar water heating system”, ***Renewable and Sustainable Energy Reviews***, 68(1), 541-562, 2017.

Hankins, M., Stand-Alone Solar Electric Systems: The Expert Handbook for Planning, Design and Installation, ***Earthscan***, London, 2010.

Hepbaşı, A., “Oil Shale as an Alternative Energy Source in Turkey”, ***Energy Sources***, 26, 107-118, 2004.

Kapluhan, E., “Enerji coğrafyası açısından bir inceleme: güneş enerjisinin dünya’daki ve türkiye’deki kullanım durumu”, ***İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi***, 29, 101-109, 2014.

Karakoç, H., Karakoç, N., Erbay, B. ve Aras, H., Enerji Analizi, ***Anadolu Üniversitesi Web-Ofset Tesisleri***, Eskişehir 2012.

Karakoç, T. H., Enerji Ekonomisi, ***Demirdöküm Yayınları***, İstanbul, 1997.

Kayalı, R., “Yalıtımlı ve yalıtımsız güneş havuzlarının çukurova bölgesi şartlarında ekonomik analizi”, ***Güneş Enerjisi Enstitüsü Dergisi***, 1(4), 95-100, 1992.

Kılıç, A., “Güneş enerjili sıcak su sistemlerinin seçimi, tasarımı ve işletilmesi”, ***Tesisat Mühendisliği Dergisi***, 1(5), 30-37, 1993.

Koç, E. ve Şenel, M. C., “Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu-genel değerlendirme”, ***Mühendis ve Makina***, 54(639), 32-44, 2013.

Livatyalı, H., “Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi teknolojisindeki gelişmeler”, ***V. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi***, Mersin, Türkiye, 7-8 Ekim, 2011.

Maç, N., Türkiye’de Enerji Sektörü, ***Konya Ticaret Odası Etüt-Araştırma Servisi Araştırma Raporu***, Konya, Türkiye, 2006.

Makina Mühendisleri Odası, Türkiye Enerji Görünümü 2023, **Makina Mühendisleri Odası**, Ankara, Türkiye, 2023.

Mathcad 15.0, PTC, https://support.ptc.com/support/mathcad_downloads.htm, Copyright (C) 2023.

Messenger, R. A and Ven Tre, J., Photovoltaic Systems Engineering. (3rd edition), **CRC Press**, Florida, 2010.

Mohd Rosli M.A., Jamil H., “Analysis of photovoltaic thermal using f-chart method for domestic hot water” **Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences**, 57(2), 216-227, 2019.

Öztürk, H. H. ve Küçükerdem, H. K., “Türkiye’de güneş enerjisinden elektrik üretiminin mevcut durumu ve beklentiler”, **Uluslararası X. Temiz Enerji Sempozyumu**, İstanbul, 24-26 Ekim, 2016.

Pipe, J., Dünya enerji sorunları, doğal gaz temiz bir fosil yakıt mı?, **TÜBİTAK**, Ankara, 2013.

Python 3.10.11, Python Software Foundation, <https://www.python.org/downloads/>, Copyright (C) 2023.

RETScreen, Natural Resources Canada, <https://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465>, Copyright (C) 2020.

Sakınç, E., ve Şerefhanoglu Sözen, M., Yapılarda güneş enerjili su ısıtma sistemleri sorunsalı ve mimari çözüm önerileri (Mersin örneği)” **Megaron**, 5(1), 2, 2010.

Selçuk, M. K. and Tran, V.V., “Solar stills for agricultural purposes”, **Solar Energy**, 17(2), 103-109, 1975.

Singh S., Anand A., Shukla A., Sharma A., “Technical, financial, and environmental feasibility of solar water heater for residential, commercial, and industrial application:

a theoretical approach”, *Materials Science for Energy Technologies*, 3, 648-671, 2020.

Şen, Z., “Türkiye ’de yenilenebilir enerji kaynakları”, *İlim ve Sanat*, 42, 32, 1996.

Taşkın, O. ve Korucu, T., “Kahramanmaraş ili güneş enerjisi potansiyeli ve kullanım olanakları”, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, 17(4), 12-16, 2014.

Topçu, C. ve Yünsel, D. T., Yenilenebilir enerji araştırma raporu, *Çukurova Kalkınma Ajansı*, Adana, 2012.

Tunc M. and Camdali U., “Optimal domestic solar space and water heating system in çeşme”, *International Journal Of Renewable Energy Research*, 7(4), 1806-1815, 2017.

Uyarel, A.Y. ve Öz, E., Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, *Birsan Yayınevi*, İstanbul, 1987.

Uzunoğlu, M., Yüksel, R. ve Ok, M., “Güneş enerjisi ve kullanım alanları”, *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, TMMOB, Kayseri, s. 89-95, 12-13 Ekim, 2001.

Ültanır, M. Ö., “21. Yüzyılın eşiğinde güneş enerjisi”, *Bilim ve Teknik*, 340, 50-55, 1996.

Weiss, W. and Spörk-Dür, M., “Global market development and trends 2022”, *Solar Heat Worldwide*, 59, 2023.

Yiğit, A., Atmaca, İ., Güneş Enerjisi Mühendislik Uygulamaları (2. Basım). *Dora Basım-Yayın*, Bursa, 2018.

ÖZGEÇMİŞ

Hilmi GÜLMEZ .../.../..... tarihinde/..... ‘da doğdu. İlköğretim ve Lise öğrenimini ‘da tamamladı. yılında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. yılında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Makine Mühendisliği tezli yüksek lisans programına başladı. ‘de ikamet etmekte ve yine’de faaliyet gösteren uluslararası bir madencilik firmasında Bakım Planlama Mühendisi olarak çalışmaktadır. Evli ve 1 kız babasıdır.



