T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

‘KIRKLARELİ İKLİM ŞARTLARINDA HİBRİT FOTOVOLTAİK/TERMAL SİSTEMİN ANALİZİ’

Hüseyin Özgür DOĞANAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Berrin KARAÇAVUŞ

İkinci Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Doğan ERYENER

EDİRNE, 2014

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof. Dr. Mustafa ÖZCAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Prof. Dr. Taner TIMARCI
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tez tarafımızca okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Doğan ERYENER
İkinci Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Berrin KARAÇAVUŞ
Tez Danışmanı

Bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında bir Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri İmza

Doç. Dr. Semiha ÖZTUNA

Doç. Dr. Fikret IŞIK

Yrd. Doç. Dr. Berrin KARAÇAVUŞ

Tarih:

T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

DOĞRULUK BEYANI

İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını beyan ederim.

29/05/2014

Hüseyin Özgür DOĞANAY

Yüksek Lisans Tezi
'Kırklareli İklim Şartlarında Hibrit
Fotovoltaik/Termal Sistemin Analizi'
T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Çevre kirliliğini önleme çalışmaları ve bir gün fosil yakıtların tükeneceğinin anlaşılmasıyla, dünyada yenilenebilir enerji kullanımı üzerine yapılan çalışmalar artmakla birlikte, her geçen gün enerji üretimindeki yenilenebilir enerjinin payı önem kazanmaktadır. Bununla beraber yenilenebilir enerjinin önde gelen kaynaklarından olan güneş enerjisinin payını arttırmak için fotovoltaik panel verimini arttırma çalışmaları da ön plana çıkmıştır. Bu çalışmada, Kırklareli Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü Hizmet Binası için fotovoltaik termal kolektörün teorik tasarımı ve verimlilik değerlendirmesi yapılmıştır. TRNSYS; "Transient System Simulation" programında, Kırklareli Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü Hizmet Binasının bir yıllık elektrik tüketimi baz alınarak, değişik kolektör eğim açılarında oluşturulan simülasyonlarda, Kırklareli İli için 2012 yılına ait tüm hava verileri saatlik olarak oluşturulup sistem analizleri yapılmıştır.

Yıl : 2014

Sayfa Sayısı :50

Anahtar Kelimeler : PV/T Kolektör, Analiz, Termal ve Elektrik Verimi

Master'sThesis
‘Kırklareli Climate Conditions Hybrid
Photovoltaic / Thermal Systems Analysis
Trakya University Institute of Sciences
Department of Mechanical Engineering

ABSTRACT

Prevention of environmental pollution, fossil fuels will run out in a day of work and understanding of the world, the studies on the increased use of renewable energy. Every day around the world increased share of renewable energy in energy production. However, in order to increase the share of renewable energy, solar energy is one of the leading names in the photovoltaic panel came to the fore in studies to increase yields. In this work, the theoretical design of photovoltaic thermal collector for public buildings in Kırklareli is demonstrated a deficiency for this design is assessed. The system is analyzed through Transient System Simulation software “TRNSYS”. By considering annual electricity consumption of Environment and Urbanization Ministry’s Kırklareli Office Building as basis, hourly aerial data of the year 2012 for Kırklareli is obtained using the results of the simulations done in various collector angles.

Year : 2014

Number of Pages : 50

Keywords : PV / T collector, Analysis, Thermal and Electrical Efficiency

ÖNSÖZ

Yüksek lisans alanımda bana yol gösteren, yardımlarını esirgemeyen ve daima destek olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Berrin KARAÇAVUŞ'a ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Doğan ERYENER'e teşekkürlerimi sunarım.

H. Özgür DOĞANAY

İÇİNDEKİLER

Sayfa

1.BÖLÜM: GİRİŞ 1

1.1. Literatür Araştırmaları 2

2.BÖLÜM: KURAMSAL TEMELLER 5

2.1. Tezin Amacı Kapsamı 5

2.2. PV/T Sistemler 5

2.2.1.Fotovoltaik/Termal Kolektörlerde Kullanılan Ekipmanlar 7

3.BÖLÜM: SİSTEM TASARIMI 11

3.1. Sistem Yükü 13

3.2. Kullanıcı formatında Hava Veri okuyucusu 13

3.3. PV/T Sıvılı Kolektörler ve İnverterler 14

3.4. Isı Değiştiriciler 24

4.BÖLÜM: SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME 31

4.1. Sonuçlar 35

4.2. Değerlendirme 42

KAYNAKLAR 48

ÖZGEÇMİŞ 50

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. PV/T Kolektör (Su Dolaşımlı) 6
Şekil 2.2. PV/T Kolektörü (Hava Dolaşımlı) 7
Şekil 3.1. Sisteme ait akış şeması. 12
Şekil 3.2. Kırklareli Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü Hizmet Binasının 2012 yılı elektrik tüketimin aylara göre değişimi 13
Şekil 3.3. PV/T modüllerde hidrolik bağlantı (Seri Bağlantı). 20
Şekil 3.4. PV/T modüllerde hidrolik bağlantı (Paralel Bağlantı) 20
Şekil 3.5. Sistemde bir diziye ait tesisat şeması. 22
Şekil 3.6. Toplayıcının şematik gösterimi (TeePiece).....23
Şekil 3.7. Dağıtıcının şematik gösterimi (Diverter) 23
Şekil 3.8. Isı değiştirici şematik gösterimi. 25
Şekil 3.9. Isı değiştirici sıcaklık değişimi şematik gösterimi.. 25
Şekil 3.10.Ters akımlı ısı değiştiricilerinde tipik sıcaklık dağılımları 26
Şekil 4.1. Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA).....32
Şekil 4.2. β=0°β=16° β=37° β=66° kolektör eğim açıları için günlük maksimum ışınım değerleri......32
Şekil 4.3. Kış 3 ay (Kasım, Aralık, Ocak) kolektör eğim açışı için günlük maksimum ışınımı değerleri. 33
Şekil 4.4. Kış 7 ay (Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan) kolektör eğim açışı için günlük maksimum ışınımdeğerleri. 33
Şekil 4.5. Yaz 3 ay (Mayıs, Haziran, Temmuz) kolektör eğim açışı için günlük maksimum ışınımı değerleri. 34
Şekil 4.6. Kış üç ay, kış yedi ay, yaz üç ay için günlük maksimum ışınım miktarının kolektör eğim açılarına göre değişimi. 34
Şekil 4.7. Üretilen AC elektrik enerjisi 35
Şekil 4.8. Üretilen termal enerji 36
Şekil 4.9. Kolektöre gelen aylık toplam ışınım miktarı. 36
Şekil 4.10. PV/T dizisinin aylık ortalama DC elektrik verimi. 37

Şekil 4.11. PV/T dizisinin aylık ortalama AC elektrik verimi. 37
Şekil 4.12. PV/T dizisinin aylık ortalama termal verimi 38
Şekil 4.13. PV/T dizisinin aylık ortalama genel verimi 38
Şekil 4.14. Sistem faydalanma oranı. 39
Şekil 4.15. Aylık ortalama dış hava sıcaklığı 39
Şekil 4.16.Aylık ortalama PV hücre sıcaklığı 40
Şekil 4.17. Kolektörlerden ısı değiştiricisine giren su sıcaklığı ortalaması 40
Şekil 4.18. Isı değiştiricisinden çıkan su sıcaklığı ortalaması 41
Şekil 4.19. Şebeke suyu sıcaklık ortalaması 41
Şekil 4.20. Isı değiştiricisinden çıkan su sıcaklık ortalaması 42
Şekil 4.21. Tüketilen elektrik enerjisi ile tasarlanan sistemde farklı eğim açılarındaki üretilen elektrik enerjisi aylara göre değişimi 43
Şekil 4.22. 16º kolektör eğim açılı sistemin elektrik üretim veriminin (η_{el}),hücre sıcaklığı (T_{cell}) bağıntısı. 44
Şekil 4.23. 37º kolektör eğim açılı sistemin elektrik üretim veriminin (η_{el}),hücre sıcaklığı (T_{cell}) bağıntısı. 44
Şekil 4.24. 66º kolektör eğim açılı sistemin elektrik üretim veriminin (η_{el}),hücre sıcaklığı (T_{cell}) bağıntısı. 45
Şekil 4.25. 37º kolektör eğim açılı sistemin elektrik üretim veriminin (η_{el}),toplam enerji üretim verimiyle (η_{en}) karşılaştırılması.....45

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1. PV/T modül ve inverter özellikleri.....18

Çizelge 3.2. 25ºC için su özellikleri ve sistem debisi. 28

Çizelge 3.3.50 °C için su özellikleri ve sistem debisi 29

Çizelge 3.4. Isı değiştiricisi için hesaplanan değerler. 30

Çizelge 5.1. Değişik eğim açılarında sistem analizi verileri.. 46

SİMGELER DİZİNİ

A	toplam kolektör brüt alanı, m^2
A_a	tek toplayıcı modülün açık alanı, m^2
A_r	tek toplayıcı modülün emici alanı, m^2
A_{pv}	PV/T alanı, m^2
C_b	sınır iletkenliği
C_p	özgül ısı kapasitesi, kJ/kg K
C_t	birim alan başına termal kapasite, J/m^2 K
D	boru iç çapı, m
E_u	kolektörde toplanan faydalı enerji, kWh
F_1'	parlaklık katsayısı
F	standart kanat verimi
F'	kolektör verim faktörü
F_R	ısı kazanç faktörü
G	güneş ışınım şiddeti, W/m^2
h_f	boruların içindeki ısı transfer katsayısı
I_D	eğimli yüzeye gelen difüz ışınım, kW/m^2
I_{MMP}	maksimum güç noktasındaki akım, mA
I_l	rezistif yük akımı, mA
I_T	toplam ışınım, kW/m^2
I_o	atmosfer dışı ışınım, kW/m^2
L	kollektör uzunluğu, m
$\dot{m}$	debi, kg/m^3
Nu	Nusselt sayısı
Pr	Prandtl sayısı
Re	Reynolds sayısı
R_f	kirlilik faktörü
T_a	ortalama hava sıcaklığı, °C
T_P	durgunluk sıcaklığı, °C
T_{cell}	PV/T panel sıcaklığı, °C
$T_{1i\text{-}ıd}$	ısı değiştirici giriş su sıcaklığı, °C

$T_{1o\text{-}ıd}$	ısı değiştirici çıkan su sıcaklığı, °C
$T_{2i\text{-}ıd}$	şebeke suyu sıcaklığı, °C
$T_{2o\text{-}ıd}$	ısı değiştirici çıkan su sıcaklığı, °C
T_{ci}	diverterden gelen su sıcaklığı, °C
T_{co}	kolektörden çıkan su sıcaklığı, °C
U_L	toplam kolektör verim faktörü
V_{MPP}	maksimum güç noktası çalışma gerilimi,V
V_w	rüzgar hızı, m/s
W	ısı taşıyıcı akışkanın geçtiği boruların arasındaki boşluk, m
η_{el}	elektrik enerjisi üretim verimi
η_{ter}	termal enerji üretim verimi
η_{en}	toplam enerji üretim verimi
$(\tau\alpha)_{ff}$	etkin geçirgenlik soğurma katsayısı
Є	gökyüzü berraklığı
Δ	gökyüzü parlaklığı
θ	zenit açısı
ρ	zemin yansıma katsayısı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Dünyada talep edilen enerjinin hızla artmasına paralel olarak mevcut enerji kaynaklarının çok kısa zamanda tükeneceği bilimsel bir gerçektir. Artan nüfus ve enerji talebine bağlı olarak dünyanın emisyon değerinin mevcut sınırlar içinde tutulması mümkün değildir. Bu kirliliğin devam etmesi durumunda dünya sıcaklığının artacağı ve deniz seviyesinin yükseleceği vb. sonuçlar, tüm dünyada enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını kaçınılmaz hale getirmiştir.

Dünyada son yıllarda yaşanan birçok gelişme doğrudan ve dolaylı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının teknolojileri, bu kaynaklardan enerji üretim maliyetleri ve piyasa paylar üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır. 2011 yılında dünya çapındaki bazı kazalar ve olaylar fosil enerji kaynaklarına ve hatta nükleer enerjiye yüksek bağımlılığın; güvenlik, ekonomi ve insani maliyetlere etkisini bir kez daha ortaya koymuştur. Meksika Körfezindeki petrol sızıntısının neden olduğu büyük hasar, ekonomiyi ve bölge insanını etkilemeye devam etmektedir. Japonya Fukuşhima'daki nükleer felaketin yıkıcı etkilerinin yüzyıllarca süreceği bilim insanları tarafından belirtilmektedir. Bu nedenle özellikle bu talihsiz olay, pek çok ülkede nükleer enerjinin rolünü yeniden düşünmeye yol açmıştır. Almanya gibi ülkeler iklim değişikliği hedefleri doğrultusunda; nükleer enerjiyi yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği ile ikame etmek üzere planlarını kamuoyu ile paylaşmaktadır. Dünyadaki bu son gelişmeler sonrasında oluşan nükleerin tedrici olarak devreden çıkarılması alternatifi tartışılırken, açığın nasıl kapatılacağı hususunda dikkatler yine yenilenebilir kaynaklara dönmüş durumdadır.

Günümüzde güneş enerjisinden ısı enerjisi elde eden sistemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler sıcak su ihtiyacını karşılamak kadar iç mekan ısıtmasında da kullanılmaktadır. Güneş enerjisinden fotovoltaik dönüşüm ilkesinden

yararlanarak güneş pilleri vasıtasıyla elektrik enerjisi de elde edilmektedir. Her iki enerji dönüşümü ile fosil yakıtların kullanımı, dolayısıyla bunların yakılmasından kaynaklanan CO_2 emisyonu da azalacaktır. Doğal gaz ve fueloil kullanarak su ısıtmanın verimi %60, elektrik enerjisiyle %90 civarındadır, ancak fosil yakıtlardan elektrik üretimi %30-%40 verimlidir [1].Bu nedenle su ısıtma ve elektrik enerjisi üretiminde fosil yakıtların kullanımının azaltılmasının gerek hava kirliliği, gerekse iklim değişikliğine yol açan özellikler CO_2 emisyonunu azaltacağı acıktır.

Isı ve elektrik enerjisine dönüştürülen her birim güneş enerjisi, fosil yakıtların kullanımını azaltacaktır. Bu nedenle elektrik enerjisinde kullanılan güneş pilleri ve ısı enerjisinde kullanılan güneş kolektörlerinden en fazla faydanın elde edilmesi gerekmektedir.

Güneş pilleri tarafından soğurulan güneş ışınımının çoğu elektrik enerjine dönüştürülemez ve hücre sıcaklığını artırarak elektriksel verimi düşürür. Dolayısıyla, fotovoltaik modüllerin (PV) sıcaklığı doğal ya da zorlanmış akışkan dolaşımı ile soğutma yapılarak düşürülebilir. Bu amaçla son yıllarda PV modüllerinin tek başına kullanılmasına bir seçenek olarak aynı anda elektrik ve ısı enerjisi üretebilen bir PV modülün soğutma donanımı ile birlikte kullanıldığı hibrit fotovoltaik / termal toplayıcı (PV/T) sistemleri üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır.

Günümüzde üretilen ticari güneş pilleri güneş enerjisini %20'den daha düşük bir verimle elektrik enerjine dönüştürmektedir. Elektrik enerjisine dönüştükten sonra gelen güneş enerjisini %80'inden fazlası çevreye atılır [2].Elektrik verimini artırmak için termal toplayıcılar fotovoltaik hücrelerle birleştirilerek düşük sıcaklıkta ısı ve elektrik enerjisi elde etmek üzere hibrit enerji üreteçleri olarak kullanılmaktadır.

1.1. Literatür Araştırması

Literatürde, PV / T sistemleri üzerine yapılan bazı çalışmalar aşağıda sırası ile kısaca verilmiştir.

Kern ve Russell, 1978, Isı değiştiricisi olarak suyun kullanıldığı PV/T sistemlerinin ana konseptleri ile birlikte deneysel sonuçları vermişlerdir [5].

Florschuetz, 1979, PV/T kolektöründe oluşan ısının çekilmesi ile soğuyan kolektörde elektrik verimi artışı olduğunu gösteren çizelge hazırlamıştır[6].

Sopian ve Ark, 1996, tek ve çift geçişli PV/T hava kolektörünün performans analizini yapıp, çift geçişlinin tek geçişliden daha iyi olduğunu ispatlamıştır [7].

Huang, vd., 2001, güneş pillerinin, güneş enerjisini % 20'den daha düşük bir verimle elektrik enerjine dönüştürdüğünü, elektrik enerjisine dönüştükten sonra gelen güneş enerjisini %80'inden fazlası çevreye atıldığını yaptığı çalışmalarla gözlemlemiştir [2].

Tripanagnostopoulos ve Ark, 2002, termosifon tip (su ısıtmalı) PV / T sistemlerinin test sonuçlarında, camlı sistemin, camsız sistemle karşılaştırıldığında, % 30 termik verimin arttığı ancak elektrik verimliliği yaklaşık %16 azaldığı gözlemlemiştir [8].

Chow, vd., 2009, Hong Kong iklim koşullarında binaya entegre fotovoltaik / su ısıtma sisteminin yıllık performansını incelemiş ve yıllık termal verimliliğin %37.5 ve hücre dönüşüm verimliliğin %9.39 olduğunu belirlemiştir [9].

Engin ve Çolak, 2008, çalışmasında yarı saydam PV/T toplayıcısının (su dolaşımlı) İzmir koşullarında analizi yapılmıştır. Kullanılan yarı saydam a-Si güneş modülünün ölçülen hücre sıcaklıkları için sıcaklığın elektriksel verim üzerine etkileri incelenmiş ve verimde önemli bir düşüş gözlenmemiştir[10].

Shahsavar ve Ameri, 2010, hazırlamış oldukları, PV/T hava kolektörü deney setiyle,İran Kerman coğrafyasında yapılan deneyde iki hava kanallı sistemin, cam kapaklı ve kapaksız, doğal taşınımlı ve iki, dört, sekiz fanla zorlanmış taşınımlı ayrıca çalışma yüklü ve yüksüz olarak sistem veriminin incelemesi yapılmıştır. Yaptıkları ölçümlerde, doğal taşınım modu dışında, diğer durumlarda yaklaşık olarak aynı genel verim olduğu görülmektedir. Buna ek olarak, camsız sistem camlı sistemden genel olarak daha az verimli olduğu, camsız sistemde, termik verim azalır ancak elektrik verimi artışı termal verim kaybının küçük bir kısmını karşıladığı sonucuna varılmıştır[11].

Barnwal ve Tiwari, 2008, tasarlamış oldukları 100 kg kurutma kapasiteli PV/T termal sisteminde, DC fanla zorlanmış konveksiyonla Thompson cinsi çekirdeksiz üzüm kurutulması yapılmıştır. Olgunlaşmış üzümün konvektif ısı transfer katsayısı olgunlaşmamış üzümün, konvektif ısı transfer katsayısından daha yüksektir ve böylece kuruma süresi daha az olduğu sonucuna varılmıştır [12].

Zondag vd., 2004, yapılan çalışmada, PV/T ünitesiyle toprak kaynaklı ısı pompasını birleştirerek performans değerlendirmesi yapmışlardır. Bu çalışmada, PV/T kolektörü ile toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin birlikte çalışması ile Hollanda da tipik yeni inşa edilmiş bir ailelik konutun toplam ısı yükünün % 100 ünü karşılayacağı sonucuna ulaşılmıştır [13].

Anand S. Joshi ve Arvind Tiwari, 2006, yaptıkları çalışmada 1998-2001 yılı Srinagar Hindistan iklim verileri kullanarak PV/T paralel plakalı hava kolektör performansını dört iklim koşulları için oluşturarak, ekserji verimliliğinin % 12-15 arasında olduğu sonucuna ulaşmışlardır [14].

Kılkış, 2012, yılında hazırladığı çalışmada, bir binada güneş enerjisinden elektrik gücü temini, konfor ısıtması, sıcak kullanım suyu hazırlanması ve konfor soğutması işlevlerini çok katmanlı, tek bir birimde eşzamanlı olarak gerçekleştirebilecek yenilikçi bir yapı malzemesi -Güneş Tuğlası- tanıtılmaktadır. Bina cephesi ile tümleşebilecek veya bina cephesini doğrudan oluşturabilecek bu sistemin yapı taşını; güneş gözeleri, kılcal borulu ısı değiştirgeçleri, ısı yalıtım katmanı ve termo-elektrik (TEC) elemanlar oluşturmaktadır. Bina enerji bağlamında kendine yeter olmanın yanı sıra ekserji yönünden de çok büyük oranda kendine yeterli olmakta güneş enerjisini akılcı ve çok katmanlı bir bicimde kullanarak, aynı zamanda bina yüklerini azaltarak, güneş enerjisinin ekserjisini de bina ekserji taleplerine denk getirebildiği sonucuna ulaşmıştır [15].

Daghigh vd.,2011,yaptığı araştırmada farklı uygulamalar için PV panelden ısı çekmek için su ve soğutucu akışkan kullanmaktadır. Güneşin ısıtma etkisi ile evaporatör-kollektörde soğutucunun yüksek evaporasyon sıcaklığı nedeniyle ısı pompasının performans katsayısının (COP) artacağı sonucuna varılmıştır [16].

Bu çalışmada, Türkiye'nin kuzeybatısında, Kırklareli İlinde bulunan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü Hizmet Binasının elektrik ihtiyacını karşılayacak Fotovoltaik/Termal(PV/T) sıvı dolaşımlı sistem tasarımı ve simülasyonu TRNSYS programında yapılmıştır. PV/T sisteminden elde edilen termal enerji bir ısı değiştiricisi aracılığı ile su ısıtılmasında değerlendirilmiştir. Bu çalışma, mevcuttaki ve yapılacak olan devlet binalarında PV/T sistemi ile elektrik ve ısı üretiminin yaygınlaştırılması için diğer kamu kurum ve kuruluşlarına örnek teşkil edecektir.

BÖLÜM 2

KURAMSAL TEMELLER

2.1. Tezin Amacı ve Kapsamı

Çevre kirliliğini önleme çalışmaları ve bir gün fosil yakıtların tükeneceğinin anlaşılmasıyla, dünyada yenilenebilir enerji kullanımını üzerine yapılan çalışmalar ve enerji üretimindeki yenilenebilir enerjinin payı artmaktadır. Yenilenebilir enerjinin önde gelen isimlerinden güneş enerjisinin payını arttırmak için fotovoltaik panel verimlerini artırma çalışmaları da ön plana çıkmıştır. Fotovoltaik kolektörlerde kullanılmadan çevreye atılan atık ısı enerjinin kullanılması ve panel sıcaklığının düşmesiyle elektrik verimliliğinin artırılması için tasarlanmış Fotovoltaik/Termal kolektörler üzerinde gelişmeler hız kazanmıştır.

Bu çalışmada, Kırklareli Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü Hizmet Binasının elektrik ihtiyacının PV/T sisteminden karşılaması için tasarlanan sistemin simülasyonu üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Sistem tasarımı TRNSYS; "Transient System Simulation" programında yapılmıştır. Kırklareli Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nün bir aylık elektrik tüketimleri baz alınmıştır. Elektrik üretimi, güneş enerjisinden fotovoltaik termal panelin(PV/T) panelin, mono kristal absorber yüzeyi aracılığı ile sağlanmaktadır. Sistem elektrik şebekesine bağlı olacak şekilde tasarlanmıştır. Simülasyon programında Kırklareli İli için 2012 yılına ait hava verileri saatlik olarak oluşturulmuştur.

2.2. PV/T Sistemi

Güneş pilleri, güneşten gelen enerjinin yaklaşık %15'ni elektrik enerjisine dönüştürebilirler, kalan enerjinin büyük bir kısmı ısı enerjisine dönüşerek güneş pilinin ısınmasına neden olur. Güneş pilinde ki her 1°C sıcaklık artışı elektrik üretimini % 0.45 düşürmektedir. Güneş pillerinin ideal çalışma sıcaklığı 25°C olarak hesaplanırken

(sıcaklığın daha da düşük olması verimi artırmaktadır), ortam sıcaklığı 25°C olan bir bölgede çalışan güneş pili 45°C'ye çıkmaktadır (güneş pilinin sıcaklığı; ortam sıcaklığına, nem ve rüzgâr miktarına bağlıdır), bu durum karşısında güneş pillerinin elde ettiği bu ısıdan faydalanmak ve güneş pilini soğutmak amacı ile hibrit sistemler geliştirilmiştir [3]. Busayede hem elektrik, hem de sıcak su/hava sağlanmış olur. Bir yandan güneş pilinin soğutulması ile verim artışı sağlanırken, diğer yandan ısı enerjisi kullanabilir bir hal alır. Fotovoltaik modülün altına bütünleşmiş su veya hava kanalları ile modül soğutulur. Su kanalları ile bütünleşik panellerde bulunan su, pompa yardımı ile sirkülasyonu yapılır (zorlanmış dolaşımlı). Şekil 2.1.'de su dolaşımlı PV/T kolektör verilmiştir. Hava kanalları bütünleşik sistemlerde ise ısıtılan havanın enerjisi, enerji transfer ünitesi ile suya aktarılır ve ısıtılan hava doğrudan iç ısıtmada kullanılır.



Şekil 2.1. PV/T Kolektör (Su Dolaşımlı)

PV/T güneş kolektörleri yaygın olarak hava ve su dolaşımlı olarak kullanılmaktadır. İkisinin de çalışma prensibi birbirine benzerdir. Güneş ışınımı toplayıcı yutucu yüzeyi ile ısıl temasta bulunan fotovoltaik hücreler ile kısmen elektrik enerjine dönüştürülür ve fotovoltaik hücrelerde oluşan fazla ısı termal sistemin girişi olarak görev yapar. Çalışma sırasında bir ısı taşıyıcı akışkan bu ısıyı yutucu yüzey ve hücrelerden uzaklaştırır. Fotovoltaik dönüşüm verimi sıcaklığın doğrusal olarak azalan

bir fonksiyonu olduğundan, ısı taşıyıcı akışkan tarafından soğutulan güneş pillerinin güç çıkışı artar. Dolayısıyla, güneş enerjisi gibi yenilenebilir bir 'temiz enerji' kaynağından elektrik enerjisi elde edilirken aynı zamanda ısı enerjisi de elde edilmiş olur. Şekil 2.2.'de hava dolaşımlı PV/T Kolektörü verilmiştir.



Şekil 2.2. PV/T Kolektör (Hava Dolaşımlı)

Hibrit sistemlerin toplam enerji çıkışı (elektrik ve termal olmak üzere), güneş enerjisi girişi, ortam sıcaklığı, rüzgar hızı, sistem bileşenlerinin çalışma sıcaklığı ve soğutma moduna bağlıdır. Elektrik verimin artırılması öncelikli hedef olsa da hibrit sistemden alınacak verimin arttırılması için termal birimde de verimliliğinin yüksek olması sağlanmalıdır.

2.2.1. PV/T Sisteminde Kullanılan Ekipmanlar

Güneş pili modülleri uygulamanın özelliğine göre, aşağıdaki ünite ve devreler ile birlikte kullanılarak, bir güneş pili sistemini oluştururlar.

Temel ekipmanlar, PV/T paneli, akü, şarj kontrol cihazı, inverter, boyler, solar kit, pompalar, Solar diferansiyel fark termostatı, hidromat olarak sıralanabilir. Yardımcı ekipmanlar ise akü dolabı, sayaç, güç izleyici, sigorta, diyot, kablolar, borular, fitinks malzemeleri, vanalar ve montaj malzemeleridir [4].

PV/T paneli:

PV/T paneli sistemin en temel elemanıdır. PV/T panelin ön tarafı güneş radyasyonu toplayarak elektrik ve ısı üretir. PV/T panelin arkasındaki yüksek verimli bakır düz yüzeyli güneş kolektörü, ısı toplar ve bir soğutucu kullanarak ısının hücreden çıkarılarak kullanılması sağlanır. PV/T hücreler, seri ve paralel bağlanarak gerilim ve akım değerleri, dolayısıyla güç değerleri yükseltilir. Paralel bağlantıda gerilim değişmez, akım yükselir. Sadece eşdeğer hücreler paralel bağlanabilir. Seri bağlantıda akım değişmez, gerilim yükselir. Sadece eşdeğer kısa devre akımlarına sahip hücreler seri bağlanabilir.

Hücre, modül, dizi:

Seri bağlantıyla gerilim yükseltilebilir (max. 600V).Paralel bağlantıyla akım arttırılabilir. Seri ve paralel bağlantılarla istenilen gerilim, akım ve güçte diziler (array) elde edilir.

Akü:

Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda veya özellikle gece süresince kullanılmak üzere sistemde akü bulundurulur. Güneş pili modülleri, gün boyunca elektrik üreterek bunu akülerde depolar.

Şebekeden bağımsız PV/T sistemlerde akü, üretilen elektriğin depolanmasını ve sonradan kullanılmasını sağlayan ünitedir.

PV/T sistemlerde kullanılması gereken akü adedi belirlenirken, güneş panellerinden hiç elektrik akımı üretilmemesine rağmen, gereksinim duyulan güç miktarının aküler tarafından karşılanabilmesi dikkate alınır. Bu değere akü otonomisi denir.

Akünün yükleme ve boşalma hızları, çekilen veya gönderilen akım miktarına ve ortam sıcaklığına bağlı olarak değişir. Akülerin çalışması için en uygun sıcaklık aralığı 16^0-26^0C'dir [4].

Şarj kontrol cihazı:

Şarj kontrol cihazının PV/T sistemdeki temel işlevi, gece ve güneş ışınımının yetersiz olduğu gündüz sürelerinde, panel geriliminin, akü geriliminin altına düştüğü durumlarda, akımın ters yönde, diğer bir deyişle aküden panele doğru akmasını önlemektir [4].

İnverter:

Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalar için sistemde inverter kullanılır. Böylece güneş panellerinde üretilen ve akülerde depolanan DC gerilim, 220 V ve 50 Hz'lik sinüs dalgasına dönüştürülür [4].

Termal karışım vanası:

Karışım vanası, yüksek sıcaklıkta su taşıyan bir borudaki sıcak suyu, soğuk şebeke suyu karıştırarak istenen sıcaklığa getiren karıştırıcı vanadır. Diğer adı mix vanadır. Karışım vanaları son derece basit ve kolay bozulmaz bir yapıya sahiptir. Karışım vanasının gövde içerisinde yüksek hassasiyetli ve sıcaklık etkisiyle hareket eden bir termal eleman bulunmaktadır. Bu termal eleman gövde içerisinde hareket ederek sıcak ve soğuk suyu orantılı olarak karıştırır ve istenen sıcaklıkta karışım suyunu oluşturur [3].

Solar diferansiyel fark termostatı:

Güneş kolektörünün çıkış ağzındaki sıcaklık ile kullanım suyu boylerinin sıcaklığı arasındaki farka göre pompayı çalıştırır ve kontrol eder. Kısaca tek serpantinli boylerin olduğu durumlarda sadece kolektör -boyler arası otomasyonunu sağlar [3].

Pompa grubu:

Üzerinde debi göstergesi bulunan, sistemin debisinin ayarlanmasına imkan sağlayan hazır montaj kitidir. Opsiyonel bir kittir. Belirli kapasitelere kadar hazır sunulur, büyük kapasitelerde hazır bulunmaz [3].

Hidromat (akışkan kontrol cihazı):

Hidromat üniteleri, pompaların basma ağzına takılarak denge tankı, basınç şalteri vs. olmadan pompayı hidrofor haline getirirler. Hidromat gövdesinin altında dâhili çek valf bulunmaktadır. Kuru çalışmaya karşı korumalı olduğundan depo olmadan şebekeye direkt bağlanabilir. Akışkan kontrol cihazının piyasada ki diğer adı hidromattır. Akışkan kontrol, tıpkı denge tanklı hidroforlar da olduğu gibi su ihtiyacına göre pompayı otomatik olarak devreye alır ya da durdurur. Yani bir pompayı musluğun açılmasıyla otomatik olarak çalıştıran ve kapanmasıyla durduran bir kontrol ünitesidir. Bir pompaya akışkan kontrol takıldığında o pompa artık hidrofor adını almaktadır [3].

Solar kit:

Güneş enerji sisteminde elde edilen sıcak su, önceden solar kit de bulunan Yön değiştirici Vana Termostatı cihazında ayarlanan, sıcaklık değerinden daha yüksek bir değerde ise solar kitte bulunan yönlendirme valfi, direkt olarak güneş enerji sisteminden elde kulanım sıcak suyun kullanıma sunulmasını sağlanmaktadır. Güneş enerji sisteminde, Yön değiştirici Vana Termostatı cihazında ayarlanan sıcaklık değerinden daha küçük değerde sıcak su olması durumunda, Solar kitte bulunan yönlendirme valfi konum değiştirerek, güneş enerjisinden elde edilen düşük sıcaklıktaki kullanım sıcak suyunun, yardımcı ısıtıcıda ısınması sağlanmakta ve böylelikle istenilen sıcaklıkta kulanım sıcak suyunun hazırlanması gerçekleştirilmektedir [3].

Boyler:

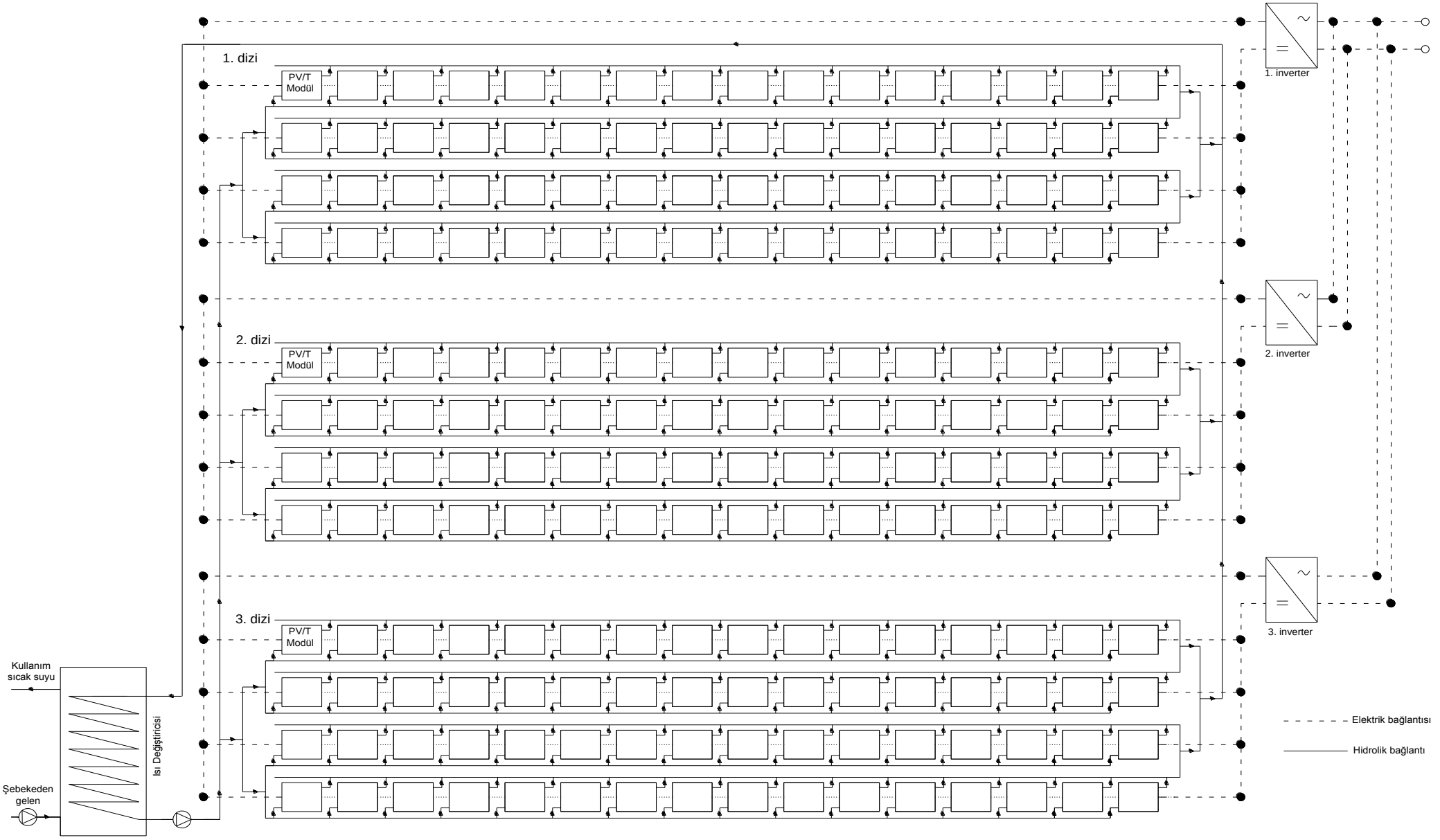
Boyler, ısı transferinin gerçekleştiği, sıcak kullanım suyunun hazırlanmaya ve depo etmeye yarayan bir çeşit ısı değiştiricisidir. Güneş enerjili sistemlerde kullanılan boylerleri; termisifonik sistemlerde kullanılan boylerler ve pompalı sistemlerde kullanılan boylerler ve endüstriyel tip boylerler olmak üzere üçe ayrılabilir. Kolektör ve deponun bir birine akuple olarak kullanıldığı termosifonik sistem uygulamalarında, (genelde 300lt'ye kadar) güneş enerjisi boylerleri (cidarlı boyler) kullanılmaktadır. Termosifonik sistem uygulamalarında kolektör ve boyler bir arada kullanılmaktadır [3].

3. BÖLÜM

SİSTEM TASARIMI

Kırklareli iklim şartlarında, güneş enerjisinden elektrik üreten bir sıvılı PV/T sistemi tasarlanmıştır. PV/T sisteminde üretilen termal enerji bir ısı değiştiricisi aracılığı ile su ısıtılmasında değerlendirilmiştir. Sistemin analizi, TRNSYS; "Transient System Simulation" programında yapılmıştır. Sistem tasarımında, Kırklareli Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü Hizmet Binası elektrik yükü baz alınmıştır. Sistem elektrik şebekesine bağlı olacak şekilde tasarlanmıştır. Kırklareli Meteoroloji İl Müdürlüğünden Kırklareli hava verileri alınarak, Devcpp programında saatlik olarak kullanıcı formatında hazırlanmıştır.

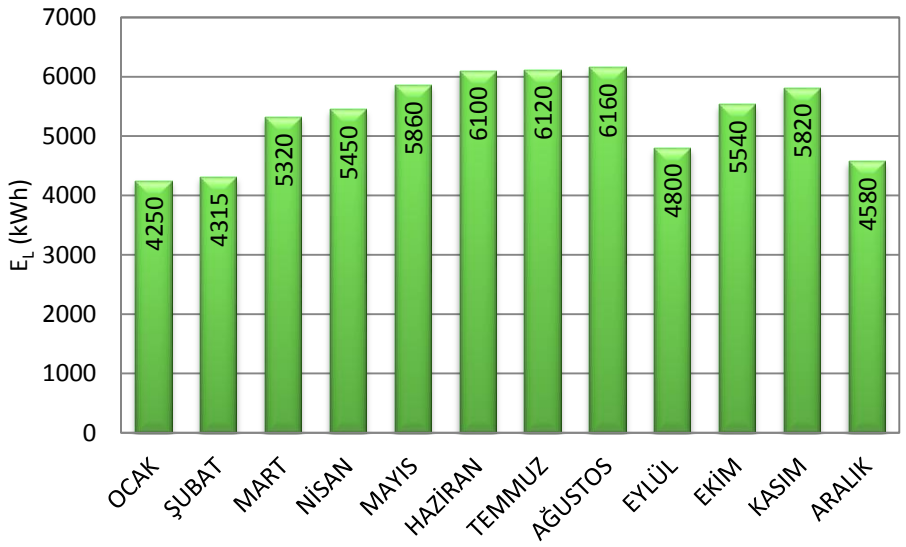
Sistem; PV/T modüllerden oluşmuş diziler, inverterler, ısı değiştiricileri, pompalar, şebeke suyu çizelgesi, Kırklareli iline ait hava veri okuyucusu, gerekli eşitlikler, online-plotter, yazıcılar ve akış bölücüleri gibi TRNSYS bileşenlerinden oluşmaktadır. PV/T modüller, verilen radyasyon şartlarında maksimum güç noktasında (MPP) çalışmaktadır. Şekil 3.1.'de sisteme ait akış şeması verilmektedir.



Şekil 3.1. Sisteme ait akış şeması

3.1. Sistem Yükü

Sistem tasarımı Kırklareli Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü Hizmet Binasının 2012 yılı aylık elektrik tüketimi esas alınarak yapılmıştır. Şekil 3.2.'de aylık tüketimler verilmiştir.



Şekil 3.2. Kırklareli Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü Hizmet Binasının 2012 yılı elektrik tüketimin aylara göre değişimi

3.2. Kullanıcı Formatında Hava Veri Okuyucusu

Bu bileşen, bir veri dosyasından düzenli aralıklarla hava durum bilgilerinin okunması, bunların istenen sistem birimlerine çevrilmesine ve eğimli yüzeyler için güneş ışınımının ve geliş açısının hesaplanmasına hizmet eder.

Kırklareli ili için Devcpp programında 2012 yılına ait hava verileri saatlik olarak hazırlanmıştır.

Eğimli yüzeye gelen ışınım hesabında, Perez vd. tarafından geliştirilmiş eğimli yüzey ışınım modeli kullanılmıştır[17]. Eğimli yüzeye gelen toplam ışınım, eğimli yüzeye gelen direkt, difüz ve yansıyan ışınımların toplamı olmak üzere aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$I_T = I_{bT} + I_{dT} + I_{gT} \quad (3.1)$$

Eğimli yüzeye gelen difüz ışınım

$$I_{dT} = I_d \left[0.5(1 - F_1')(1 + \cos\beta) + F_1' \left(\frac{a}{c}\right) + F_2' \sin\beta\right] \quad (3.2)$$

şeklinde verilmiştir. I_d yatay yüzeye gelen difüz ışınımdır. Eşitlik (3.2)'de yer alan indirgenmiş parlaklık katsayıları F_1'veF_2', gökyüzü berraklığı ϵ ve gökyüzü parlaklığı Δ'nın fonksiyonu olarak aşağıda tanımlanmıştır.

$$F_1' = F_{11(\epsilon)} + F_{12(\epsilon)}\Delta + F_{13(\epsilon)}\theta_Z \quad (3.3)$$

$$F_2' = F_{21(\epsilon)} + F_{22(\epsilon)}\Delta + F_{23(\epsilon)}\theta_Z \quad (3.4)$$

Gökyüzü berraklığı, θ_Z güneş zenit açısı olmak üzere Eşitlik (3.5)'de verilmiştir.

$$\epsilon = \frac{\left[\frac{(I_d + I_{dn})}{I_d} + 1.041\theta_Z^3\right]}{[1 + 1.041\theta_Z^3]} \quad (3.5)$$

Gökyüzü parlaklığı Δ, I_0 yatay yüzeye gelen atmosfer dışı ışınım olmak üzere Eşitlik (3.6) ile tarif edilmiştir [17].

$$\Delta = {}^{I_d}/_{I_0} \quad (3.6)$$

Güneşin etrafında dönenen bölgenin açısal konumu a/c oranı ile aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$\frac{a}{c} = \frac{\max(0, \cos\theta)}{\max(\cos 85, \cos\theta_Z)} \quad (3.7)$$

Eşitlikte yer alan θ, direkt ışınımın yüzeye geliş açısıdır.

3.3. PV/T Sıvılı Kolektörler ve İnverterler

PV/T sisteminde PV modüller, verilen radyasyon şartlarında maksimum güç noktasında (MPP) çalışmaktadır. Sistemde kullanılan PV/T kolektörlerde birim kolektör alanı başına genel ısı kayıp katsayısı U_L, çalışma sıcaklığı, rüzgar hızı ve

kolektör konstrüksiyonuna bağlı parametrelerin fonksiyonu olarak alınmıştır. PV/T dizisi, seri ve paralel bağlı modüllerden oluşmuştur ve PV/T dizisinin toplam termal performansı, seri bağlı modüllerin sayısına ve her modülün özelliğine göre değişir.

İşletme sıcaklığında bir PV/T modülünde, absorbe edilen radyasyonun bir kısmı elektrik enerjisine, geri kalan kısmı ise termal enerjiye dönüştürülür. Birim alana sahip PV/T modülü için enerji denklemi aşağıdaki şekilde verilebilir.

$$C_t \frac{dT}{dt} = \dot{E}_{rad} - \dot{E}_{el,DC} - \dot{E}_{loss} \tag{3.8}$$

Burada; soldaki terim PV/T modülünde depolanan termal enerji, sağdaki terimler sırası ile $\dot{E}_{rad}$PV/T modülünde güneş radyasyonun absorbe edilmesi ile oluşan enerji kazancı, $\dot{E}_{el,DC}$ PV/T modülünde üretilen elektrik enerjisi, $\dot{E}_{loss}$ ise PV/T modülünden çevresine olan enerji kaybıdır.

$$\dot{E}_{rad} = (\tau\alpha) I_T \tag{3.9}$$

$$\dot{E}_{el,DC} = \eta_c I_T \tag{3.10}$$

$$\dot{E}_{loss} = U_L (T_c - T_a) \tag{3.11}$$

Eşitliklerde; $\tau\alpha$ modülün genel güneş ışınımını yutma-geçirme çarpımını, η_cişletme şartlarındamodülün elektrik verimini, I_T ise PV modülüne gelen toplam güneş ışınımını, U_L kolektör alt ve kenarları için ısı kayıp katsayısını, T_c işletme şartlarındaki modül sıcaklığını, T_a hava sıcaklığını ifade etmektedir.

Anlık PV/T modül elektrik dönüşüm verimliliği Eşitlik (3.12)'de verilmiştir[17].

$$\eta_{el} = \left(\dot{E}_{DC} \Big/ I_T A_m \right) = \eta_{c,ref}(1 - C(T_c - T_{c,ref}) \tag{3.12}$$

Burada, $\dot{E}_{DC}$ PV/T modülü DC güç çıktısı, I_T modül üzerine gelen toplam ışınım, A_m modül alanı, $\eta_{c,ref}$ standart referans şartlarında modül elektrik verimi, CPV hücresi veriminin sıcaklık katsayısı, T_c ve $T_{c,ref}$ ise sırası ile işletme şartlarındaki modül sıcaklığı, referans şartlardaki modül sıcaklığı (25ºC) anlamındadır.

Aylık PV/T dizisi DC elektrik verimi ise

$$\eta_{el,m} = \left(\overline{E}_{DC,d} \Big/ \overline{I}_T A_{arr} \right) \tag{3.13}$$

şeklinde tarif edilebilir. Eşitlikte; $\overline{E}_{DC,d}$ aylık ortalama günlük DC çıktısı, $\overline{I}_T$ aylık ortalama günlük güneş ışınımı, A_{arr} PV/T dizi alanıdır.

Aylık AC elektrik verimi Eşitlik (3.14)'de verilmiştir.

$$\eta_{el,AC,m} = \left(\overline{E}_{AC,d} \Big/ \overline{I}_T A_{arr} \right) \tag{3.14}$$

PV/T dizisi içindeki modüllerde depolanan termal enerjinin tümünü çalışma sıvısına aktarmak mümkün değildir. Dizi içindeki modüllerin her birinin toplamış oldukları faydalı enerji kazancı $\dot{E}_u$Hottel-Whillier eşitliği ile aşağıda verilmiştir [18].

$$\dot{E}_u = A\, F_R[I_T(\tau\alpha) - U_L(T_i - T_a)] = \dot{m}_c C_{p,c}(T_o - T_i) \tag{3.15}$$

Burada; A toplam kolektör açıklık veya brüt alanı, F_R kolektör genel ısı kazanç faktörü, $(\tau\alpha)$ kolektör genel yutma-geçirme çarpımı, U_L birim alan başına kolektör genel ısı kayıp katsayısı, T_i çalışma sıvısının kolektöre giriş sıcaklığı, T_a hava sıcaklığı, T_o çalışma sıvısının kolektörden çıkış sıcaklığı, $\dot{m}_c$ çalışma sıvısının debisi, $C_{p,c}$ çalışma sıvısının özgül ısısını ifade eder. F_R kolektör genel ısı kazanç faktörü aşağıdaki gibi verilir [18].

$$F_R = \frac{\dot{m}_c C_{p,c}}{U_L A}\left(1 - \exp\left(-\frac{F' U_L A}{\dot{m}_c C_{p,c}}\right)\right) \tag{3.16}$$

Burada; F' kolektör verim faktörü olup aşağıdaki gibi verilir [19].

$$F' = \left(1/U_L\right)/\left(W\left(\left(1/(U_L(D + (W - D)F))\right) + 1/c_b + 1/\pi D h_f\right)\right. \tag{3.17}$$

Burada W ısı taşıyıcı akışkanın geçtiği boruların arasındaki boşluk, D borunun iç çapı, F standart kanat verimi C_b sınır iletkenliği, h_f boruların içindeki ısı transfer katsayısını göstermektedir [19].

Modülün genel yutma-geçirme çarpımı Eşitlik (3.18)'de verilmiştir [18].

$$(\tau\alpha) = \frac{I_{bt}(\tau\alpha)_b + I_d((1+\cos)/2)(\tau\alpha)_s + \rho_I((1-\cos\beta)/2)(\tau\alpha)_g}{I_T} \qquad (3.18)$$

Eşitlikte; I_{bt} kolektöre gelen ışınım oranı, $(\tau\alpha)_b$ insidans açısına bağlı güneş ışınımı için kolektör genel yutma-geçirme çarpımı, I_d kolektöre gelen yatay diffüz ışınımı, $(\tau\alpha)_s$ gökyüzü diffüz ışınım için kolektör genel yutma-geçirme çarpımı $(\tau\alpha)_g$ zeminden yansıtılan ışınım için kolektör genel yutma-geçirme çarpımı, I_T modül üzerine gelen toplam güneş ışınımını, ρ_I zemin yansıtma katsayısını göstermektedir.

Bir modülden sıvı çıkış sıcaklığı Eşitlik (3.19) ile verilmiştir [18].

$$T_o = \frac{A\,F_R[I_T(\tau\alpha) - U_L(T_i - T_a)]}{\dot{m}_c C_{p,c}} + T_i \qquad (3.19)$$

Kolektörde akış olmadığı durumda ise durgunluk sıcaklığı T_p aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır [18].

$$T_P = I_T(\tau\alpha)/U_L + T_a \qquad (3.20)$$

PV/T modülünün anlık termal verimi Eşitlik (3.21)'de verilmiştir.

$$\eta_{ter} = \left(\frac{\dot{E}_u}{A_m I_T}\right) \qquad (3.21)$$

PV dizisinin aylık termal verimi ise aşağıdaki gibi tarif edilebilir.

$$\eta_{ter,m} = \left(\overline{E}_{u,d} \Big/ \overline{I}_T A_{arr}\right) \qquad (3.22)$$

Eşitlikte; $\overline{E}_{u,d}$ PV/T modülün aylık ortalama günlük termal çıktısı, $\bar{I}_T$ aylık ortalama günlük güneş ışınımıdır.

Aylık inverter verimi ise, $\overline{E}_{AC,d}$ inverter aylık ortalama günlük toplam AC çıktısı, $\overline{E}_{DC,d}$ inverter aylık ortalama günlük toplam DC çıktısı olmak üzere aşağıdaki gibi tarif edilebilir.

$$\eta_{i,m} = \left(\overline{E}_{AC,d} \Big/ \overline{E}_{DC,d} \right) \tag{3.23}$$

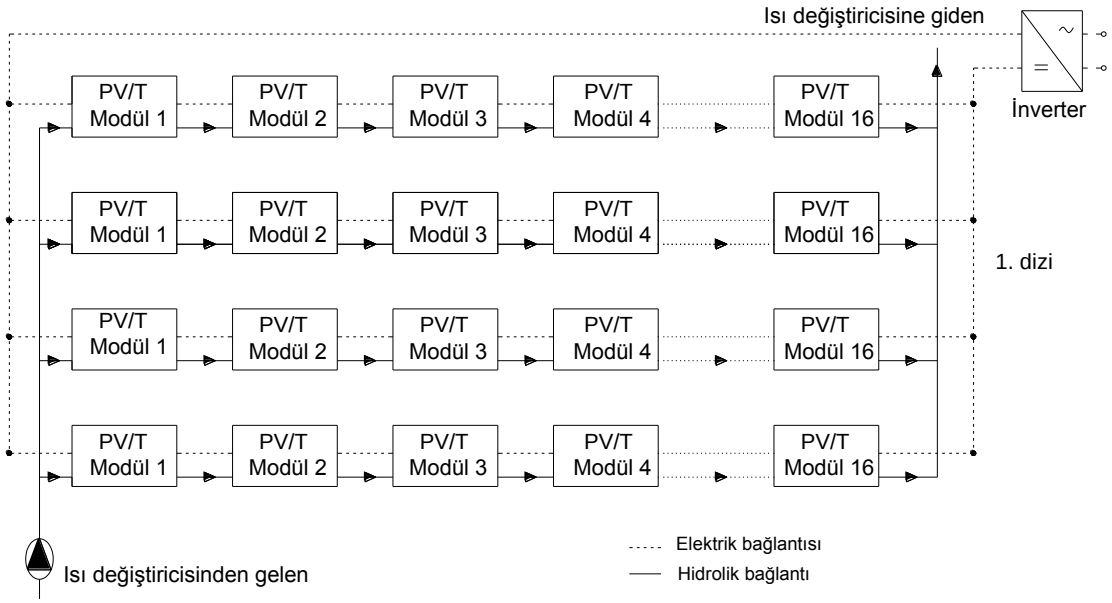
Sistemde kullanılan PV/T modül ve invertere ait özellikler Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. PV/T modül ve inverter özellikleri

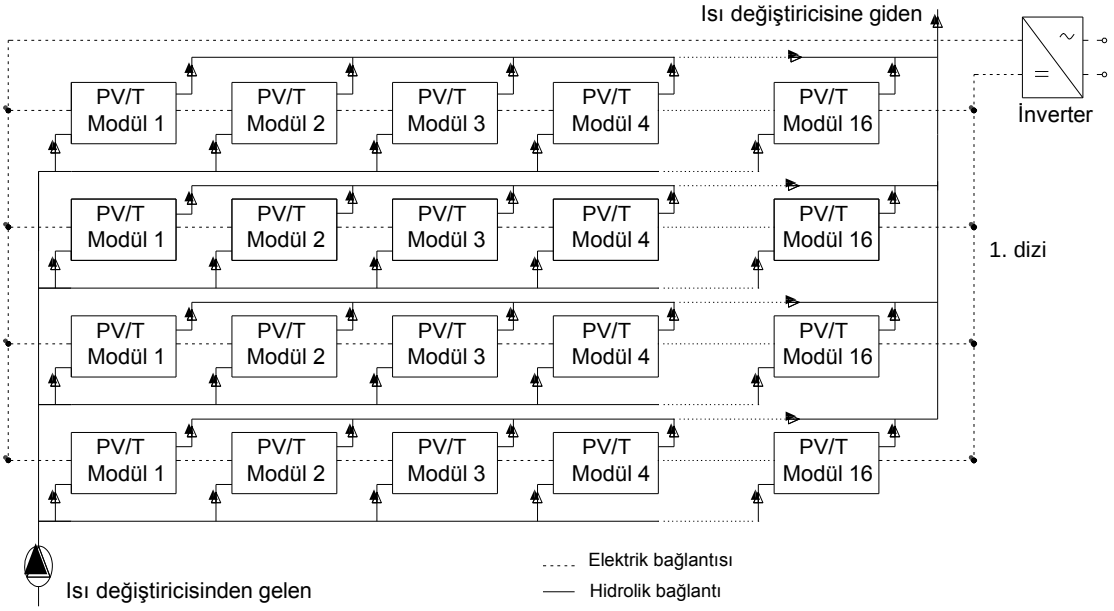
Absorber yüzeyi	**Mono Kristal**	
Tanımlama	**Gösterim**	**Değer**
Brüt kolektör alanı	$A(m^2)$	1.7
Kolektör açıklık alanı	$A_a(m^2)$	1.36
Kolektör absorber alanı	$A_{ab}(m^2)$	1.3
Hücre sayısı		72
Referans şartlarda modül gücü	P_{MPP} (W_p)	200
Referans şartlarda mak. güç noktasında modül akımı	$I_{MPP}(A)$	5.43
Referans şartlarda mak. güç noktasında modül gerilimi	$V_{MPP}(V)$	36.8
Referans şartlarda modül kısa devre akımı	I_{sc} (A)	5.67
Referans şartlarda modül açık devre gerilimi	V_{oc} (V)	46.43
Isı değiştiricisi ve iç borular		bakır
Kolektör verimlilik faktörü	F'	0.96
Kolektör akışkanın özgül ısısı	C_{pf}(kJ/kg K)	4.19
Cam kapak sayısı	Camsız	0
Kolektör alt ve kenarları için ısı kayıp	U_L((kJ/h m^2 K)	1.1

katsayısı		
Yutma-geçirme çarpımı	$\tau\alpha$	0.9
PV hücre verimliliğinin sıcaklık katsayısı	C	0.0032
PV hücre verimliliği için referans sıcaklık	$T_{c,ref}(^{\circ}C)$	25
Referans şartlarda gelen toplam ışınım	$G_{T,ref}(W/ m^2)$	1000
Dizi içindeki paralel modül sayısı	N_P	4
Dizi içindeki seri modül sayısı	N_S	16
Dizi sayısı	N	3
Bir invertere bağlanacak dizi sayısı		1
İnverter aktif gücü	P_i (kW)	15
İnverter maksimum giriş akımı	$I_{i,g}$ (A)	25
İnverter maksimum DC gerilimi	$V_{max,DC}(V_{dc})$	900
İnverter maksium güç noktasında gerilim aralığı	$V_{MPP}(V_{dc})$	620-850
İnverter AC gerilimi	V_{AC} (V_{ac})	380±20%
Maksimum çıkış akımı	$I_{i,ç}$ (A)	22.8

PV/T modüllerinde hidrolik bağlantı (su sirkülasyonu) için TRNSYS'de iki çeşit ön çalışma yapılmış ve hidrolik bağlantıya ait tesisat şemaları Şekil 3.3. ve Şekil 3.4.'de sırası ile verilmiştir.



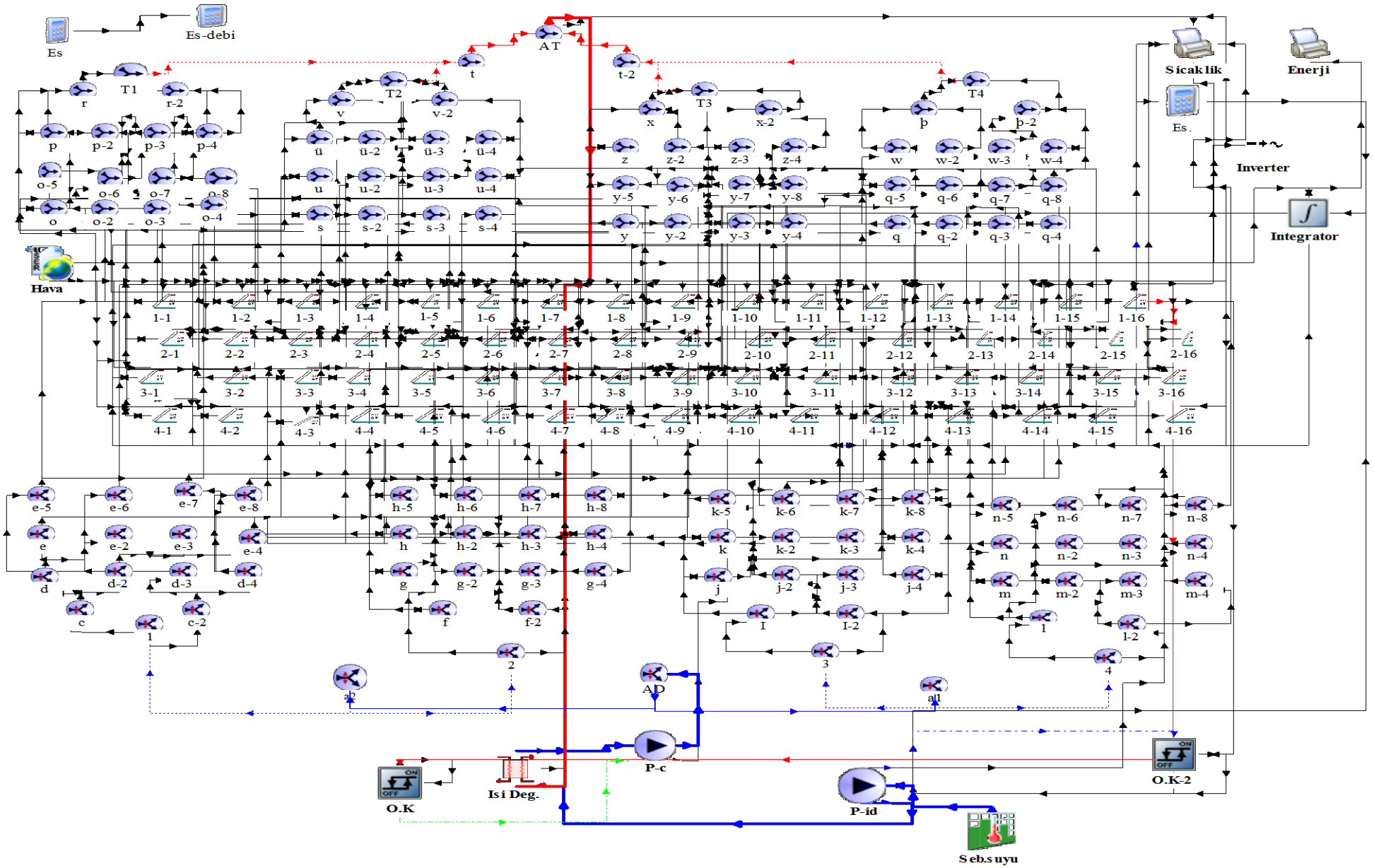
Şekil 3.3. PV/T modüllerde hidrolik bağlantı (Seri Bağlantı)



Şekil 3.4. PV/T modüllerde hidrolik bağlantı (Paralel Bağlantı)

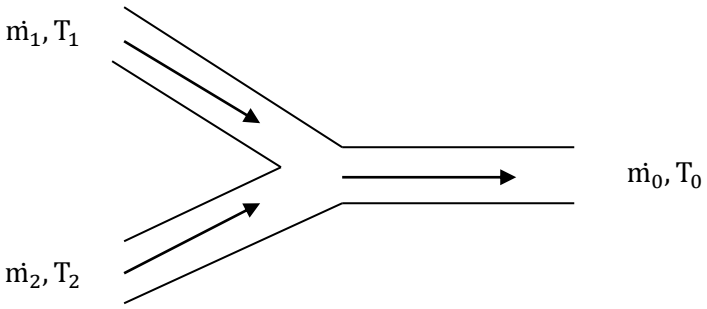
Şekil 3.3.'e ait sistemde (seri bağlama) yapılan simülasyonda, sırası ile PV/T modüllerde elektrik çıktısı düşmekte buna karşın PV sıcaklığı, dolayısı termal çıktısı artmaktadır. Şekil 3.4.'e ait sistemde (paralel bağlantı) yapılan simülasyonda ise tüm PV/T modüllerde aynı elektrik çıktısı, aynı PV sıcaklığı ve modül sıvı çıkış-giriş sıcaklık farkı daha düşük tespit edildi. Ayrıca bu bağlantı ile daha düşük yük kaybı oluşmakta ve dolayısı ile sirkülasyon pompalarının enerji tüketimi azalmaktadır. Belirlenen sonuç Aste vd.'ni desteklemektedir [20].

Çalışmada esas amaç elektrik üretmek olduğundan, sistem tasarımında PV/T modüllerinde hidrolik bağlantı için Şekil 3.4.'deki bağlantı seçilmiştir. Sistemde bir diziye ait tesisat şeması Şekil 3.5.'de verilmiştir.



Şekil 3.5. Sistemde bir diziye ait tesisat şeması.

Tasarımı yapılan sistemde, sirkülasyon bağlantıları için akış yönlendiriciler kullanılmıştır.

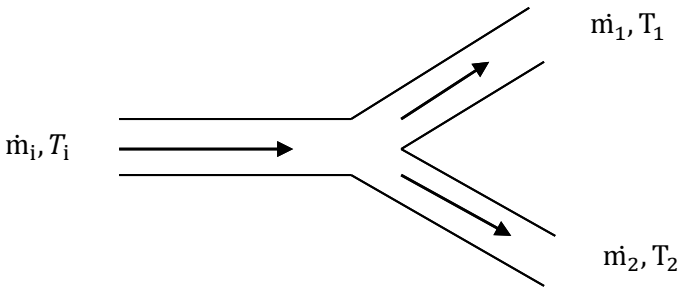


Şekil 3.6. Toplayıcının şematik gösterimi (TeePiece)

Toplayıcıda sıcaklık ve debi bağıntısı Eşitlik (3.24) ve Eşitlik (3.25) gibi verilebilir[18].

$$\dot{m}_0 = \dot{m}_1 + \dot{m}_2 \tag{3.24}$$

$$T_0 = \frac{\dot{m}_1 T_1 + \dot{m}_2 T_2}{\dot{m}_1 + \dot{m}_2} \tag{3.25}$$



Şekil 3.7. Dağıtıcının şematik gösterimi (Diverter)

Dağıtıcıda sıcaklık ve debi bağıntısı Eşitli (3.26) ve Eşitlik (3.27) gibi verilebilir [18].

$$\dot{m}_i = \frac{\dot{m}_1}{2} = \frac{\dot{m}_2}{2} \quad (3.26)$$

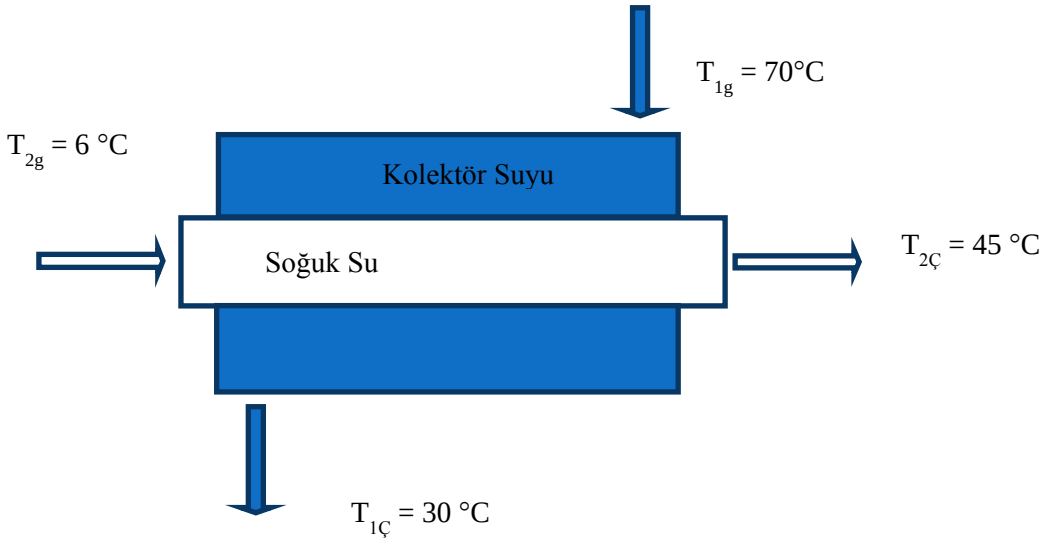
$$T_0 = T_1 = T_2 \quad (3.27)$$

PV/T sisteminden gerekli elektrik yükünü aylık karşılama oranı (sistemden aylık faydalanma oranı), aylık toplam elektrik yükü $E_{L,m}$, sistemden sağlanan aylık toplam AC elektrik enerjisi $E_{AC,m}$′nin fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi tarif edilebilir [18].

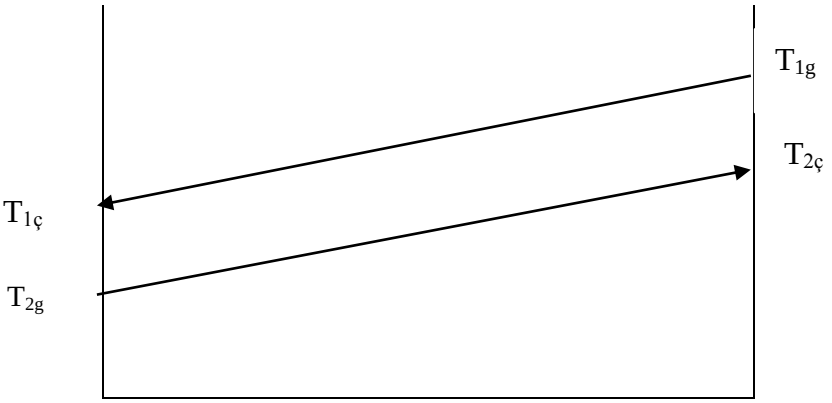
$$f_m = {E_{L,m}}/{E_{AC,m}} \quad (3.28)$$

3.4. Isı Değiştiriciler

Sistemde PV/T kolektörlerden gelen sıcak suyun değerlendirilmesi için sudan suya ters akımlı ısı değiştiricileri kullanılmıştır. Isı değiştiricisinin şematik gösterimi Şekil 3.8.'deki gibidir. Burada T_{1g} kolektörlerden gelen su sıcaklığı, $T_{1ç}$ ısı değiştiriciden çıkan ve kolektörlere giden su sıcaklığı, T_{2g} şebekeden gelen su sıcaklığı, $T_{2ç}$ ısı değiştiriciden çıkan ve su sıcaklığı yeterli ise kullanıma yeterli değilse ek ısıtıcıya giden su sıcaklığıdır. Isı değiştiricisinin tasarımında baz alınan sıcaklıklar Şekil 3.8.'de verilmiştir.

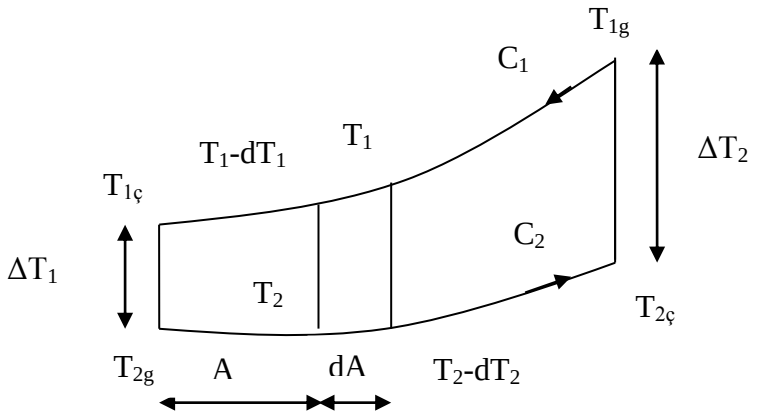


Şekil 3.8. Isı değiştirici şematik gösterimi.



Şekil 3.9. Isı değiştirici sıcaklık değişimi şematik gösterimi.

Isı değiştiricilerin ısıl hesaplarında, ortalama logaritmik sıcaklık farkı Δt_m'nin tayini gerekir. Isı değiştirici içindeki akışkanların sıcaklıkları ve sıcaklık farkları, değiştirici boyunca değişir. Her kesitte sıcaklık farkının değişken olması, akışkanların ısı değiştiricisine giriş ve çıkış sıcaklıkları cinsinden ifade edilebilen, bir ortalama sıcaklık farkının kullanılmasını gerektirir [21]. Aşağıda, ters akımlı bir ısı değiştiricisinde Δt_m ortalama logaritmik sıcaklık farkının bulunuşu ile ilgili eşitlikler verilmiştir.



Şekil 3.10.Ters akımlı ısı değiştiricilerinde tipik sıcaklık dağılımları [24].

Isı değiştiricisinin dA yüzeyi boyunca geçen ısı miktarı Eşitlik (3.29) gibi verilebilir [21].

$$dQ = K(T_1 - T_2)dA \tag{3.29}$$

bu yüzey boyunca akan soğuk ve sıcak akışkanların ısınması ve soğuması,

$$dQ = C_2 dT_2 = \pm C_1 dT_1 \tag{3.30}$$

gibi ifade edilebilir. Bu denklemlerde $C_1 = \dot{m}_1 c_{p1}$, $C_2 = \dot{m}_2 c_{p2}$ akışkanların ısıl kapasite debilerini, (+) işaret ters akımlı, (-) işaret ise paralel akımlı ısı değiştiricilerini belirler [21]. Eşitlik (3.30)'dan,

$$d(T_1 - T_2) = dT_1 - dT_2 = dQ(\pm 1/C_1 - 1/C_2) \tag{3.31}$$

yazılabilir [24]. Eşitlik (3.29)'dan dQ çözülüp, bu son eşitliğe taşınırsa,

$$d(T_1 - T_2)/(T_1 - T_2) = K(\pm 1/C_1 - 1/C_2)dA \tag{3.32}$$

elde edilir [21]. Bu eşitliğin ısı değiştiricisinin giriş ve çıkış arasındaki integrasyonundan,

$$\ln\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} = KA(\frac{+}{-}\frac{1}{C_1} - 1/C_2) \tag{3.33}$$

bulunabilir [21]. Benzer olarak eşitlik (3.30)'un integrasyonundan

$$Q = C_2(T_{2ç} - T_{2g}) = C_1(T_{1g} - T_{1ç}) \tag{3.34}$$

Yazılabilir [21]. Son eşitlikten C_1ve C_2 çözülüp, eşitlik (3.33)'e taşınırsa,

$$Q = KA((\Delta T_1 - \Delta T_2)/\ln\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}) \tag{3.35}$$

elde edilir [21]. Bu eşitlikte

$$\Delta T_m = (\Delta T_1 - \Delta T_2)/\ln\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \tag{3.36}$$

ifadesi ortalama logaritmik sıcaklık farkı adını alır. Ters akımlı ısı değiştiricilerinde $\Delta T_1 = (\Delta T_{1ç} - \Delta T_{2g})$; $\Delta T_2 = (\Delta T_{1g} - \Delta T_{2ç})$olarak ifade edilir [21].

Isı geçişi olan borunun dış yüzeyine göre toplam ısı geçiş katsayısı Eşitlik (3.37) ile hesaplanabilir [21].

$$\frac{1}{K_d} = \frac{1}{h_i}\frac{A_d}{A_i} + R_{f1}\frac{A_d}{A_r} + \frac{\ln\frac{r_2}{r_1}}{2\pi L k_b}A_d + R_{f2} + \frac{1}{h_d} \tag{3.37}$$

Burada; K_d toplam ısı geçiş katsayısı, h ısı taşınım katsayısı, R_f kirlilik faktörü, k ısı iletim katsayısı, L yüzey uzunluğu, A_i iç yüzey alanı, A_d dış yüzey alanı, r yarıçap anlamlarındadır. Boru malzemesinin ısı iletim katsayısı k_b, 52 W/mK değerinde alınmıştır. İç taraftaki (soğuk su) ısı taşınım katsayısı hesabı için sırası ile Reynolds Sayısı ve Nusselt Sayısı hesaplanmıştır.

$$Re_i = \frac{4\dot{m}_s}{D_i \pi \mu} > 2300 \quad (3.38)$$

Akışın hidrodinamik ve ısıl bakımdan tam gelişmiş olduğu kabul edilerek Nu_i sayısı Eşitlik (3.39)'da verilmiştir [21] .

$$Nu_i = 0.024(Re_i)^{0.8}(Pr)^{0.4} \quad (3.39)$$

İç taraftaki ısı taşınım katsayısı Eşitlik (3.40) ile hesaplanmıştır.

$$h_i = \frac{Nu_i k}{D_i} \quad (3.40)$$

İç taraftaki ısı taşınım katsayısı için (45+6)/2 ≅25°C de suyun özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. 25 °C'deki suyun özellikleri Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. 25ºC için su özellikleri ve sistem debisi.

Tanımlama	**Gösterim**	**Değer**
Viskozite	μ,Ns/m^2	89.8 10^{-7}
Prandtl Sayısı	Pr	6.15
Isı İletim Katsayısı	k, W/mK	0.610
Debi	$\dot{m}_s$, kg/s	0.22

Dış taraftaki (kolektör suyu) ısı taşınım katsayısı hesabı için sırası ile Reynolds Sayısı ve Nusselt Sayısı hesaplanmıştır. Eşitlikte D_h iletimin gerçekleştiği çapı ifade etmektedir.

$$Re_d = \frac{4\dot{m}_k}{D_h \pi \mu} > 2300 \quad (3.41)$$

Akışın hidrodinamik ve ısıl bakımdan tam gelişmiş olduğu kabul edilerek Nu_d sayısı Eşitlik (3.42)'de verilmiştir [21] .

$$Nu_d = 0.024(Re_d)^{0.8}(Pr)^{0.4} \quad (3.42)$$

Dış taraftaki ısı taşınım katsayısı Eşitlik (3.43) ile hesaplanmıştır.

$$h_d = \frac{Nu_i k}{D_h} \quad (3.43)$$

Dış taraftaki ısı taşınım katsayısı hesabı için (70+30)/2 = 50°C için su özellikleri baz alınmıştır. 50 °C'deki suyun özellikleri Çizelge 3.3.'de verilmiştir. Isı değiştirici için hesaplanan değerler Çizelge 3.4.'de verilmiştir. Isı değiştiricisinin KA değeri TRNSYS programına girdisi yapılmıştır.

Çizelge 3.3. 50 °C için su özellikleri ve sistem debisi

Tanımlama	**Gösterim**	**Değer**
Özgül Isı	$C_{p,}$ kJ/kg K	4.181
Viskozite	μ, Ns/m^2	54.3 10^{-7}
Prandtl Sayısı	Pr	3.56
Isı İletim Katsayısı	k, W/mK	0.643
Debi	$\dot{m}_k$, kg/s	1.3866

Çizelge 3.4. Isı değiştiricisi için hesaplanan değerler

Gösterim	**Değer**
Re_i	0.39×10^7
Re_d	1.8×10^7
Nu_i	9308
Nu_d	24419.62
h_i, $W/m^2\,°C$	709.739
h_d, $W/m^2 °C$	872323.18
KA, kJ/h °C	33392.16

BÖLÜM 4

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

TRNSYS programında tasarlanan sistemde, PV/T modül eğim açısı β, aşağıda sıralanan durumlar için hesaplanmış ve bu açılarda sistemin analizi yapılmıştır.

Yıllık optimum verim için, modülün optimum eğim açısı enlem açısı E'nin fonksiyonu olarak Eşitlik (4.1)'de verilmiştir [22].

$$\beta = E \times 0.9 = 41 \times 0.9 \cong 37° \quad (4.1)$$

En soğuk üç ay için ve en sıcak üç ay için optimum açılar sırası ile (4.2),(4.3) Eşitlikleri ile aşağıda verilmiştir [22].

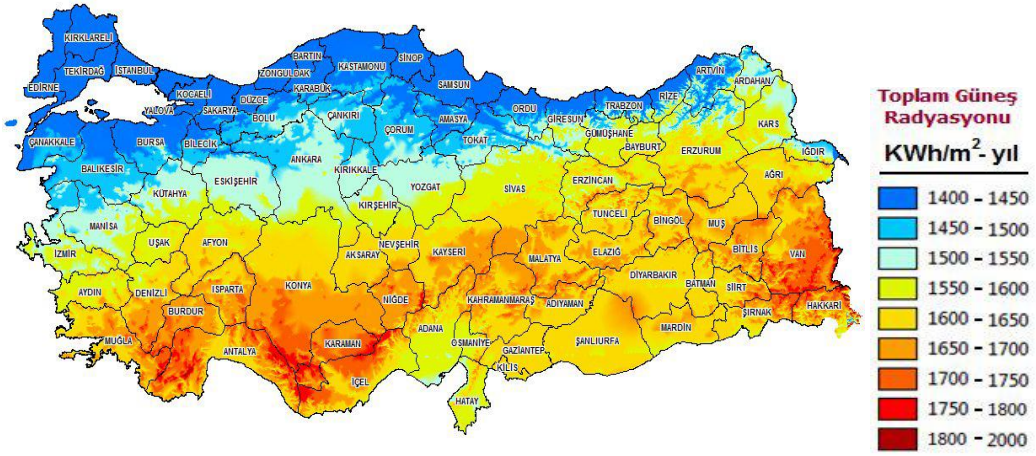
$$\beta = E + 25° = 41 + 25 = 66° \quad (4.2)$$

$$\beta = E - 25° = 41 + 25 = 16° \quad (4.3)$$

Burada; optimum eğim açısı için 37° derece, en soğuk üç ay için optimum eğim açısı 66° ve en sıcak üç ay için optimum eğim açısı 16° derece olarak hesaplanmıştır. Yapılan tasarımda Kırklareli İli için ayrı hesaplama yapılarak değerlendirme yapılmıştır.

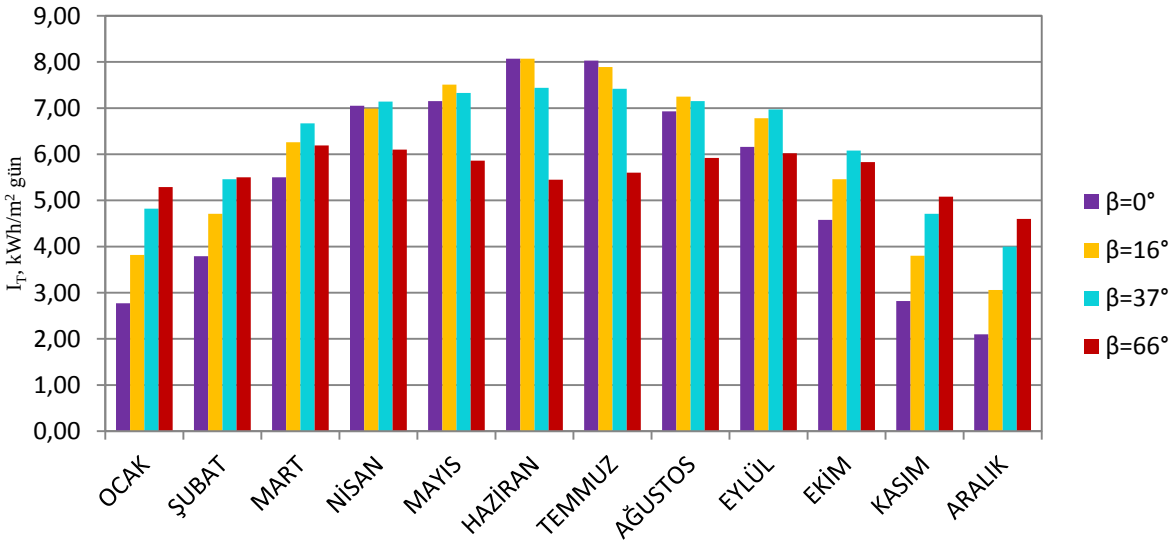
Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle güneş kuşağı içerisinde yer almakta olup, güneş enerjisinden yararlanma potansiyeli oldukça fazladır. Bu yüzden; temiz, ucuz ve tükenmeyen bir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden önemli oranda faydalanmak enerji tasarrufu açısından gereklidir. Kolektörlerin güneş enerjisinden en yüksek oranda faydalanarak ısıtma yapabilmesi için belirli bir açı ile eğlendirilmesi gerekmektedir.

Türkiye'de genel ışınımın ortalama değerleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan bilgiye dayanılarak Elektrik İşleri Etüt Dairesi tarafından hazırlanan "Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası" Şekil 4.1.'de sunulmuştur.



Şekil 4.1. Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası [22]

TRNSYS programında tasarlanan sistemde sabit eğim açılarıyla, bir aydaki maksimum günlük güneş ışınım değerlerinin aylara göre dağılımları aşağıda verilmiştir.

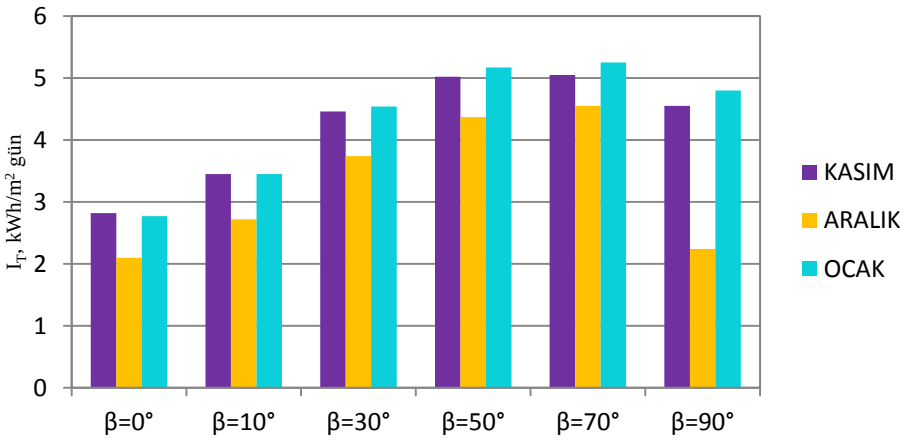


Şekil 4.2. β=0°β=16° β=37° β=66° kolektör eğim açıları için günlük maksimum ışınım değerleri.

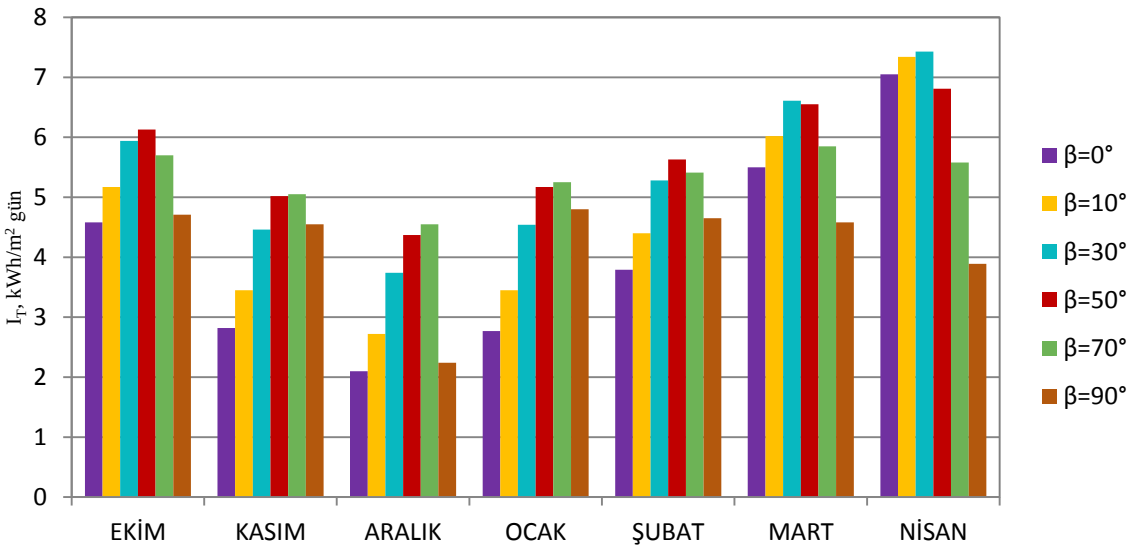
Şekil 4.2.'de görüldüğü gibi yaz aylarında güneş ışınlarının dünyaya daha dik gelmesi nedeniyle eğim açısı azaldıkça kolektörde toplanan ışınım miktarı artmaktadır.

Mevcut enerji sıkıntısını gidermek amacı ile güneş enerjisinin kış aylarında ısıtma giderlerine olumlu bir katkıda bulunmasını sağlamak temel hedeftir. Bu nedenle düz toplayıcıların optimum eğim açılarının saptanması gerekir. Sabit eğim açıları ilekış

üç ay, kış yedi ay ve yaz üç ay için bir aydaki maksimum günlük güneş ışınım değerleri aşağıda verilmiştir.

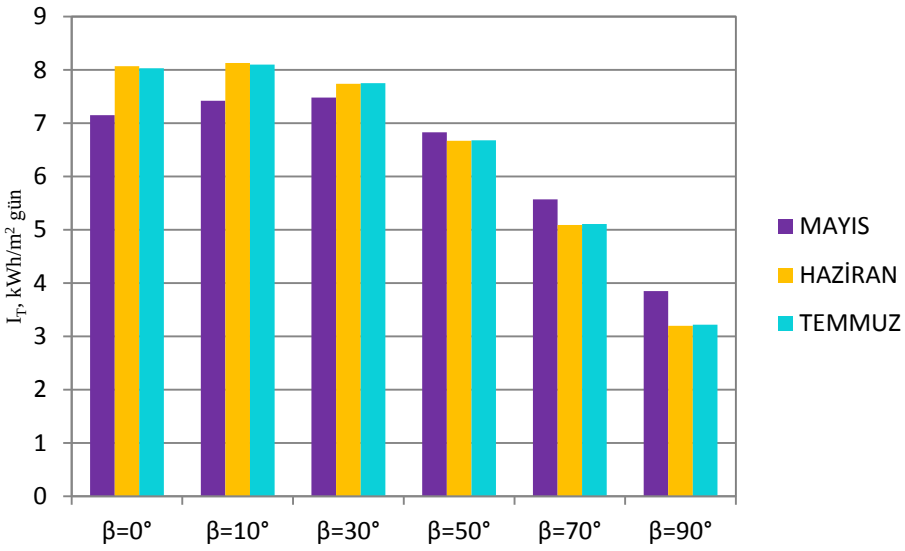


Şekil 4.3. Kış 3 ay (Kasım, Aralık, Ocak) kolektör eğim açışı için günlük maksimum ışınımı değerleri.

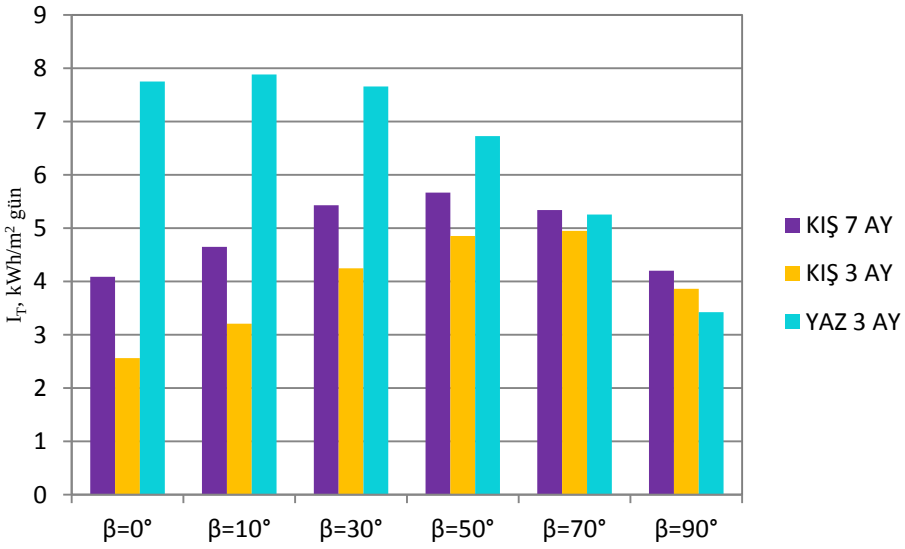


Şekil 4.4. Kış 7 ay (Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan) kolektör eğim açışı için günlük maksimum ışınım değerleri.

Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.'de görüldüğü gibi kış aylarında güneş ışınlarının dünyaya daha eğik gelmesi nedeniyle eğim açısı arttıkça kolektörde toplanan ışınım miktarı artmaktadır.



Şekil 4.5. Yaz 3 ay (Mayıs, Haziran, Temmuz) kolektör eğim açışı için günlük maksimum ışınımı değerleri.



Şekil 4.6. Kış üç ay, kış yedi ay, yaz üç ay için günlük maksimum ışınım miktarının kolektör eğim açılarına göre değişimi.

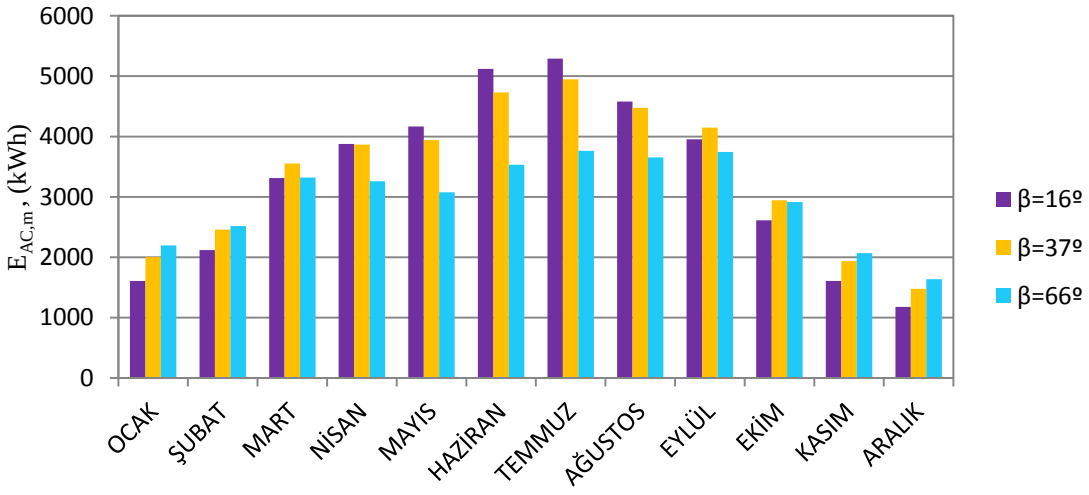
Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.'da görüldüğü üzere, yapılan çalışmada kış aylarında daha dik, yaz aylarında daha eğik eğim açısı kullanımı kolektörde daha fazla güneş ışınımı toplanacağını göstermektedir.

4.1. Sonuçlar

TRNSYS programında tasarlanan sistemde veriler ve simülasyon çıktıları, bir integratör aracılığı ile saatlik, günlük ve aylık zaman dilimlerinde integre edilmiştir.

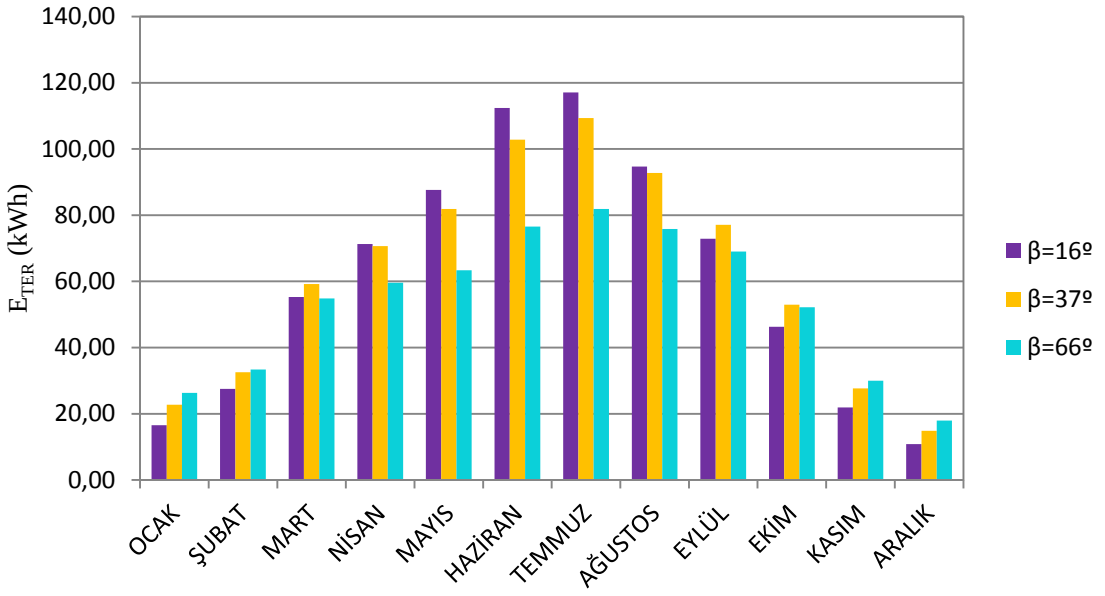
Sistemde farklı optimum açılarda üretilen aylık toplam AC elektrik Şekil 4.7.'de verilmiştir.

.



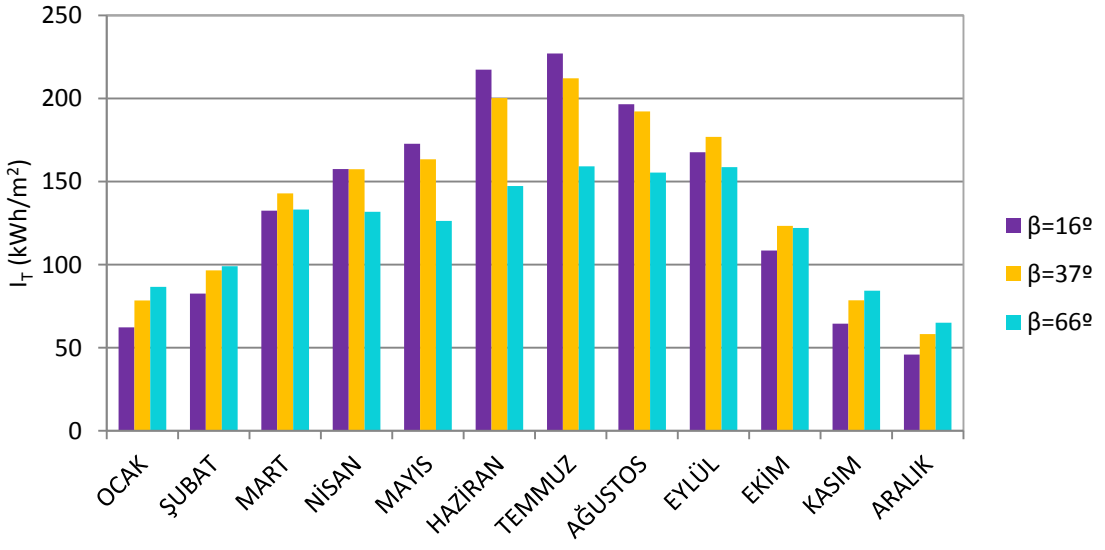
Şekil 4.7.Üretilen AC elektrik enerjisi

Şekil 4.7.'de kolektör eğim açısının kış aylarında artması, yaz aylarında azalması pozitif katkı sağladığı görülmektedir. 16º kolektör eğim açısıyla yazın yüksek elektrik üretiminin yapıldığı, 66º kolektör eğim açısıyla kış aylarında en yüksek elektrik üretiminin yapıldığı, 37º eğim açısıyla yıl boyunca optimum değerde elektrik üretiminin yapıldığı belirlenmiştir. Şekil 4.8.'de sistemde farklı kolektör eğim açılarında üretilen termal enerjinin aylara göre değişimi verilmiştir.



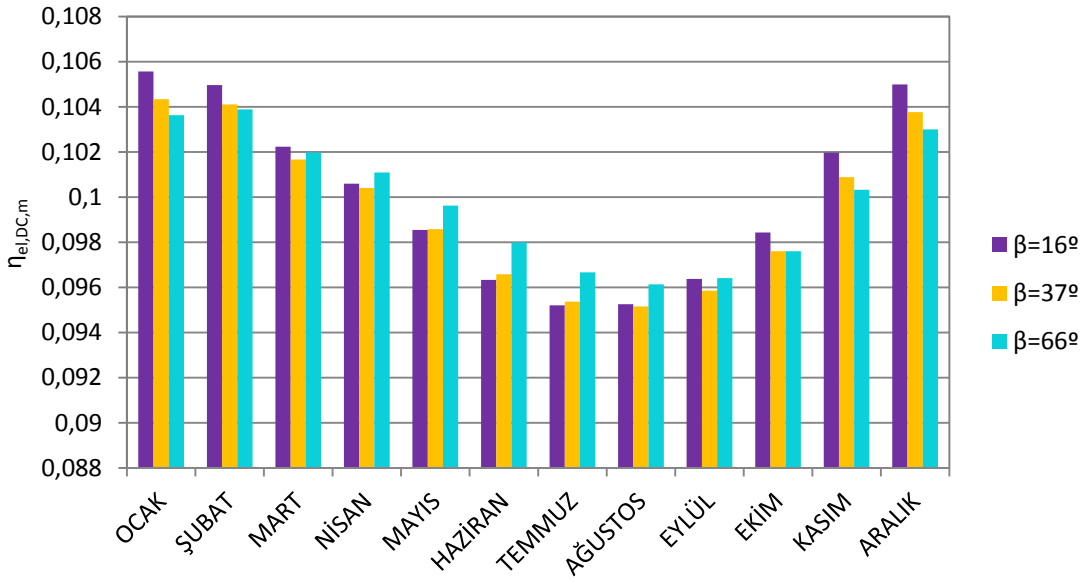
Şekil 4.8. Üretilen termal enerji

Şekil 4.8.'de görüldüğü gibi yaz aylarında sistemden elde edilen termal enerji miktarı artmaktadır. Farklı kolektör eğim açılarında, kolektör üzerine gelen aylık toplam ışınımın aylara göre değişimi Şekil 4.9.' da verilmiştir.

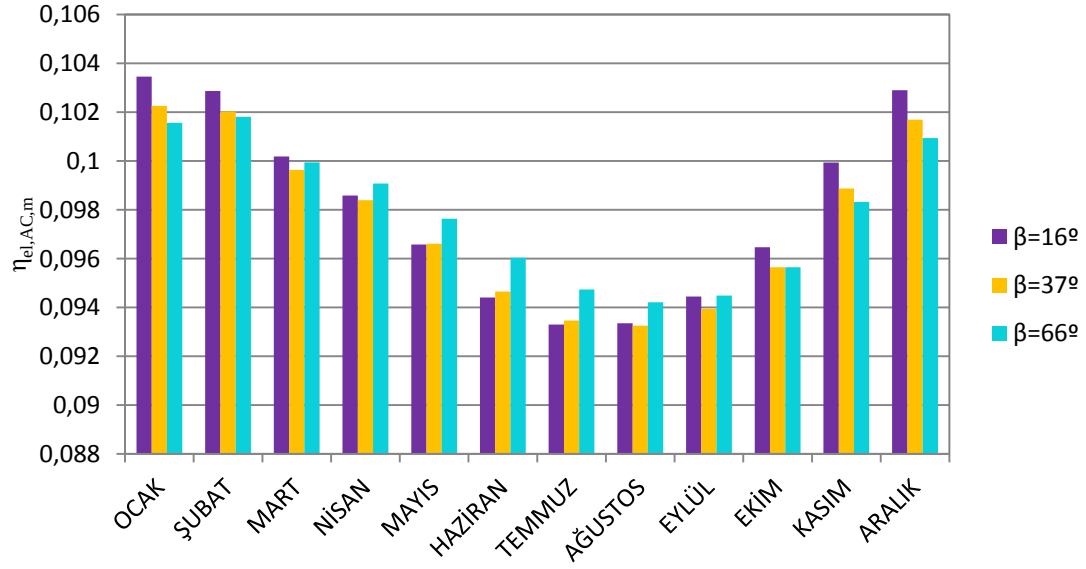


Şekil 4.9. Kolektöre gelen aylık toplam ışınım miktarı.

Şekil 4.9.'da, 16º kolektör eğim açısıyla yaz aylarında güneş ışınım miktarları maksimum noktalara ulaştığı görülmektedir.

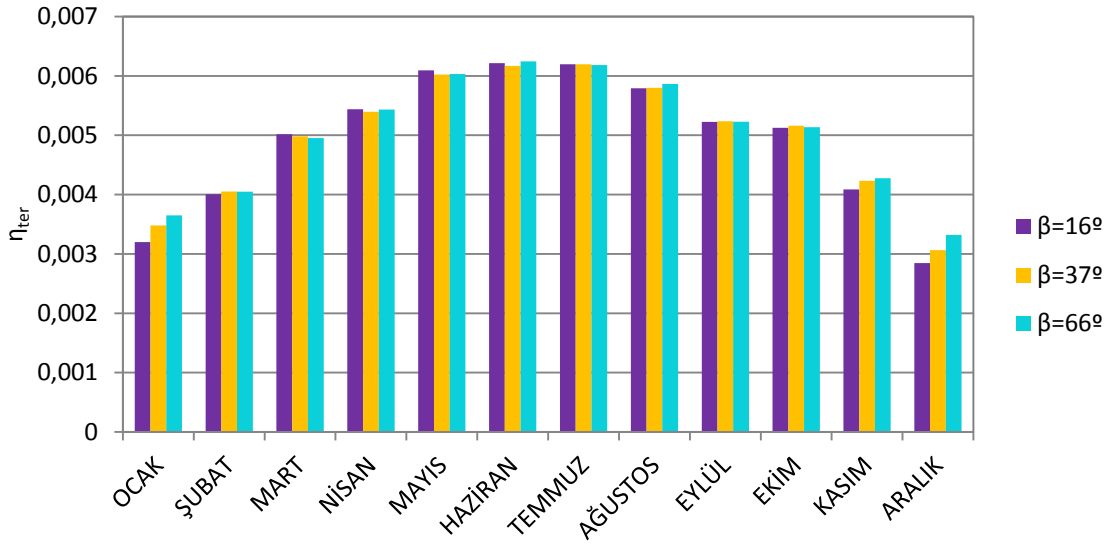


Şekil 4.10. PV/T dizisinin aylık ortalama DC elektrik verimi.

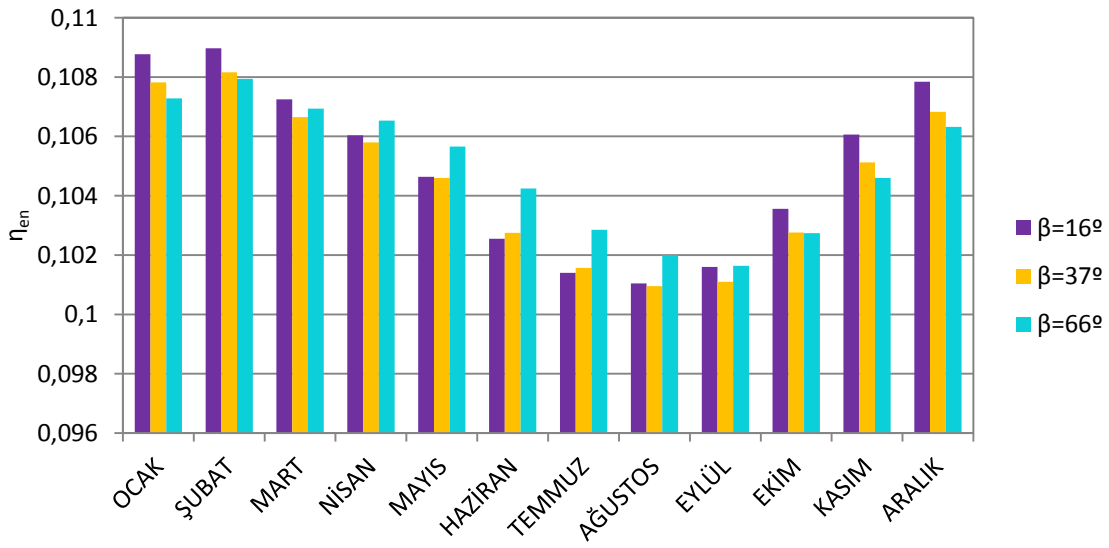


Şekil 4.11. PV/T dizisinin aylık ortalama AC elektrik verimi.

Şekil 4.10. ve Şekil 4.11.'de, sistemin kış aylarında 16º eğim açısı için maksimum derecede elektrik üretim verimine sahip olduğu görülmektedir. Kış aylarında 16º eğim açısı sistemin elektrik üretim veriminin, 66º eğim açılı sistemin elektrik üretim verimden fazla olmasının nedeni hücre sıcaklığının daha düşük olmasıdır. Aynı nedenle yaz aylarında hücrelerin sıcaklıklarının artması ile elektrik üretim verimlerinin düştüğü görülmektedir.

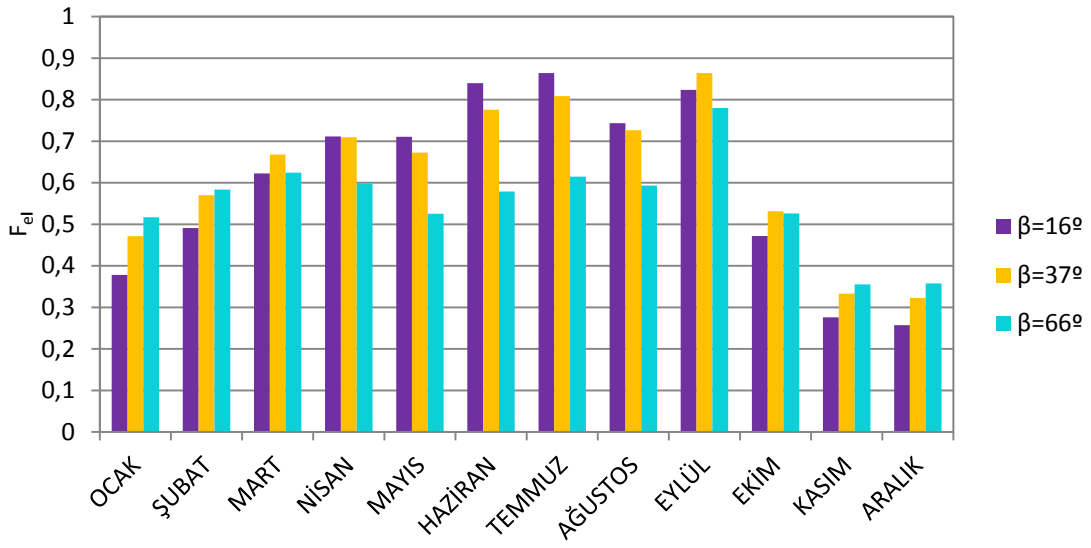


Şekil 4.12. PV/T dizisinin aylık ortalama termal verimi



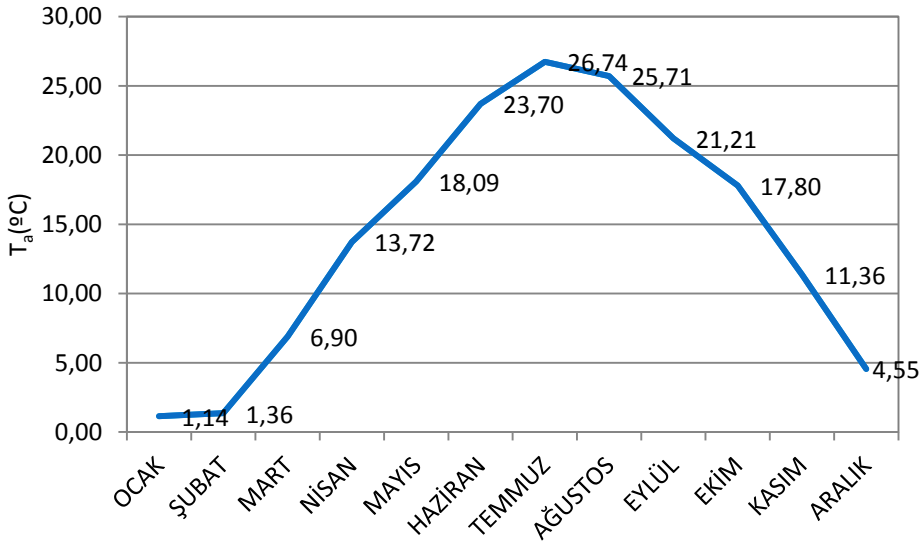
Şekil 4.13. PV/T dizisinin aylık ortalama genel verimi

Şekil 4.12.'de görüldüğü üzere ortam sıcaklığının artması nedeni ile termal verimin arttığı görülse de, Şekil 4.13.'de görüldüğü gibi genel enerji üretim verimi yaz aylarında düşmektedir. Bunun nedeni yukarıda da belirtildiği üzere yaz aylarında hücre sıcaklıklarının artması nedeni ile elektrik üretim veriminin düşmesidir.

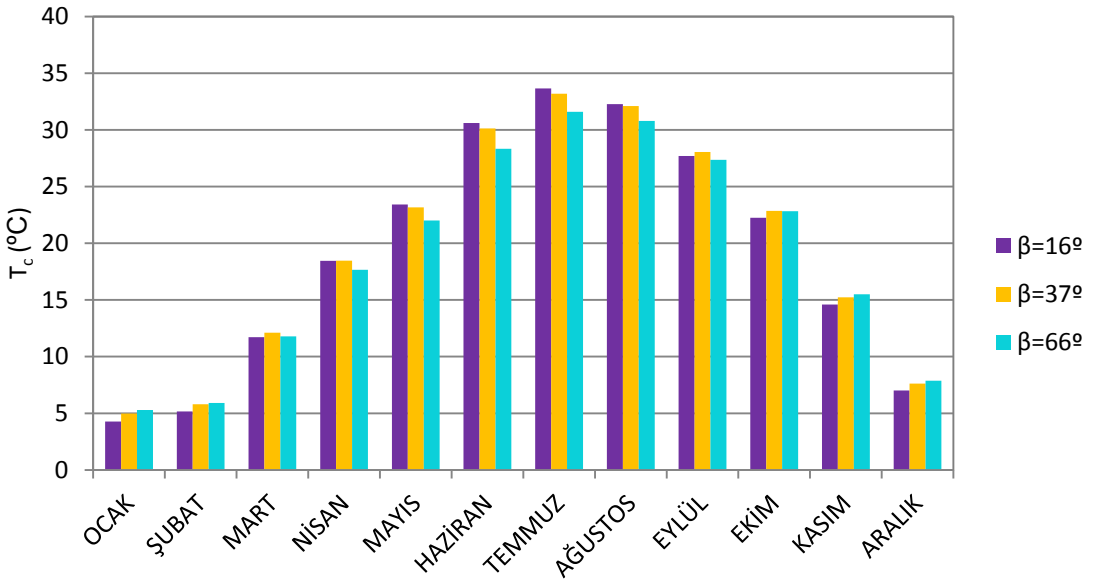


Şekil 4.14. Sistem faydalanma oranı.

Şekil 4.14.'de sistem faydalanma oranının, 16º kolektör eğim açısı için temmuz ayında maksimum noktaya ulaştığı görülmektedir. Bunun nedeni yaz aylarında ışınım miktarının yüksek olması ve güneş ışınlarının dünyaya daha dik gelmesi sonucu 16º kolektör eğim açılı sistemin daha fazla enerji üretmesidir.

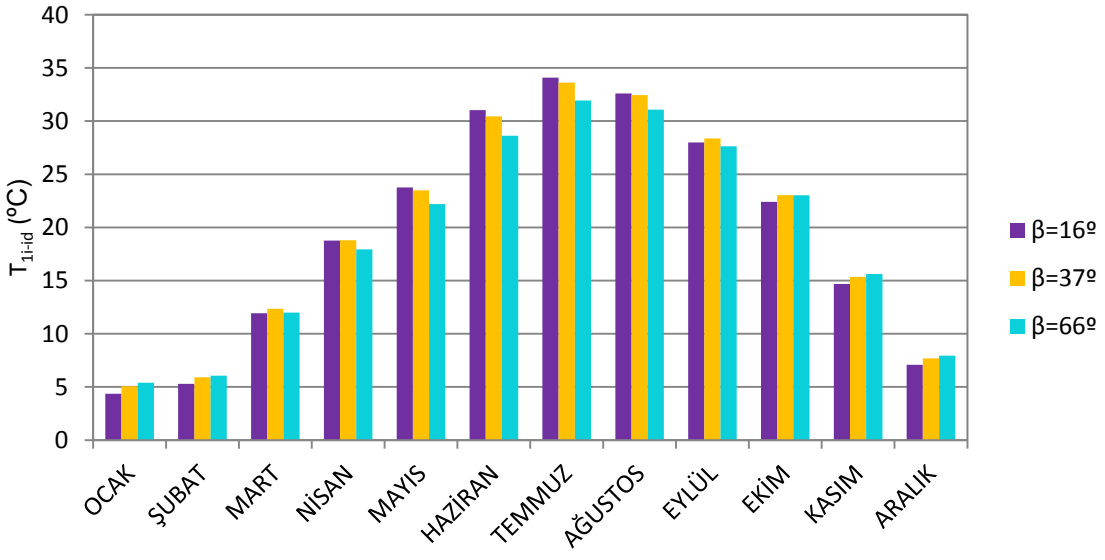


Şekil 4.15. Aylık ortalama dış hava sıcaklığı

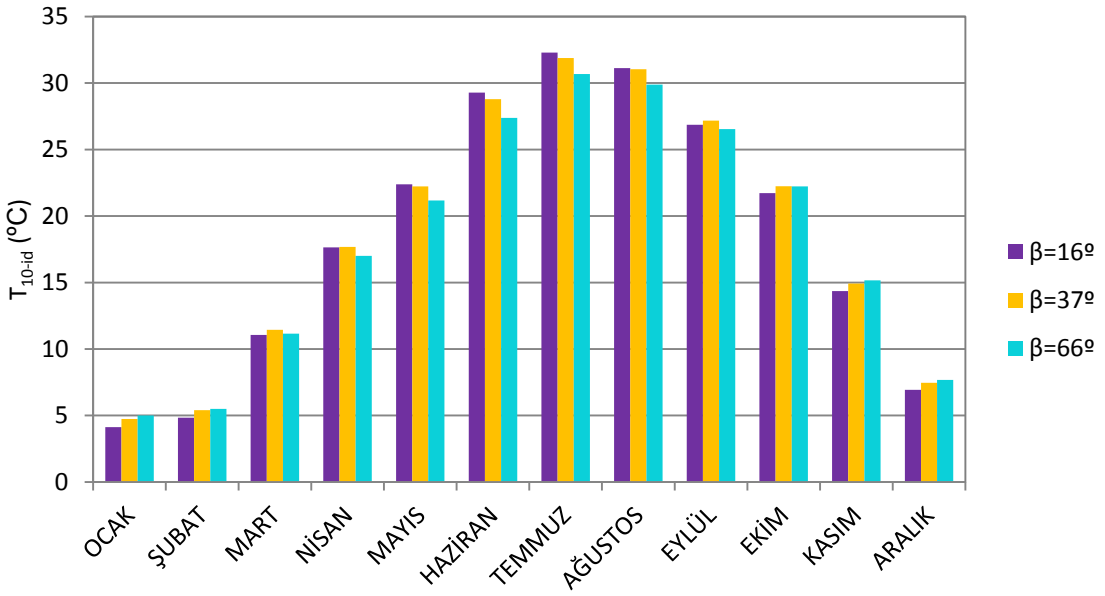


Şekil 4.16. Aylık ortalama PV modül sıcaklığı

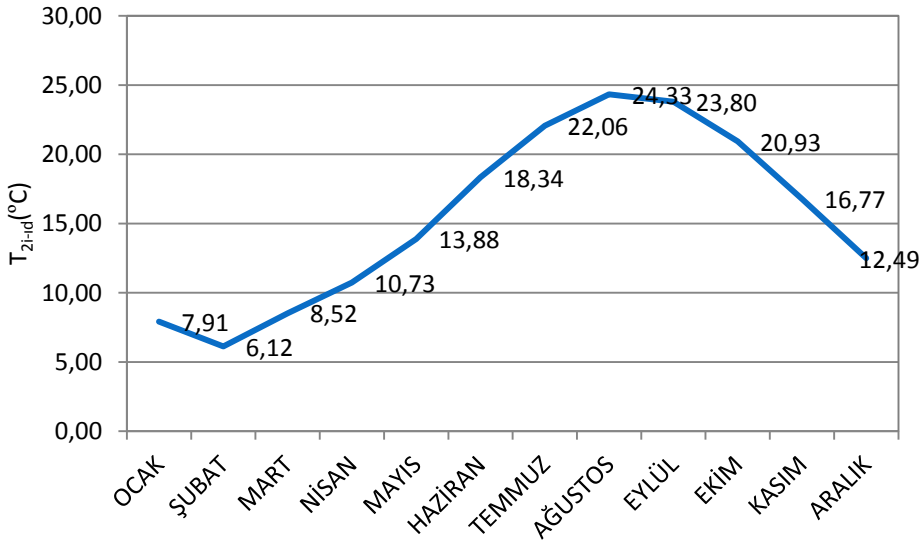
Şekil 4.16.'da görüldüğü gibi yaz aylarında 16º kolektör eğim açılı hücrenin, kış aylarında 66º kolektör eğim açılı hücrenin sıcaklığı daha yüksektir. Bunun nedeni kolektörde toplanan ışınım miktarıdır. Ayrıca Şekil 4.15.'de görüldüğü gibi modül sıcaklığı, ortam sıcaklığına paralel olarak artmaktadır.



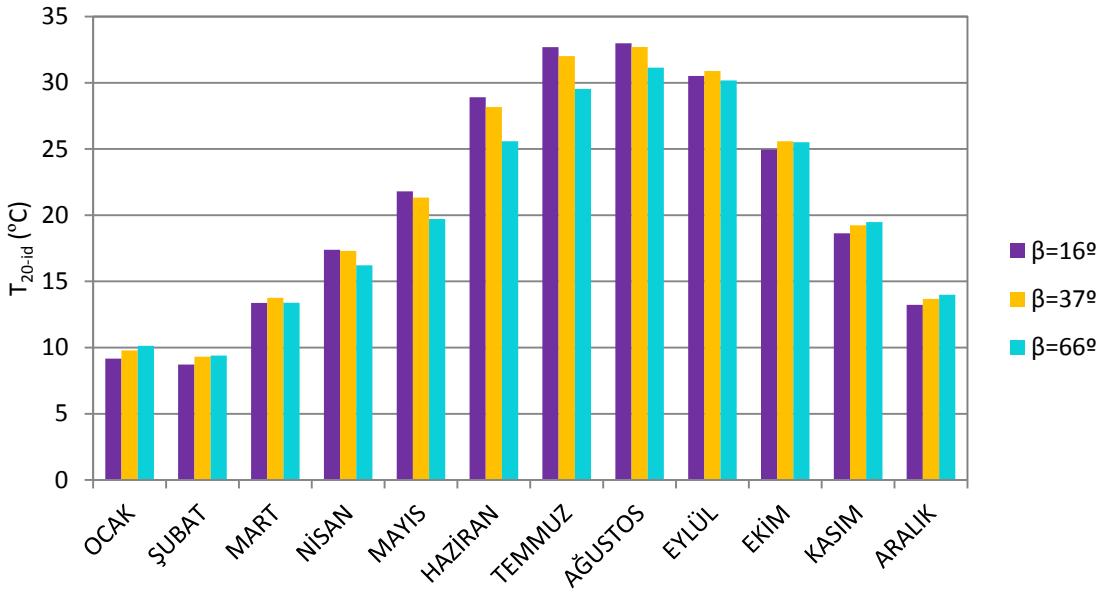
Şekil 4.17. Kolektörlerden ısı değiştiricisine giren su sıcaklığı ortalaması



Şekil 4.18. Isı değiştiricisinden çıkan su sıcaklığı ortalaması



Şekil 4.19. Şebeke suyu sıcaklık ortalaması



Şekil 4.20. Isı değiştiricisinden çıkan su sıcaklık ortalaması

Şekil 4.17. , Şekil 4.18. ve Şekil 4.20.'de ışınım miktarının en fazla olduğu yaz aylarında, kolektörden ve ısı değiştiricisinden çıkan su sıcaklıklarının en yüksek değerde olduğu görülmektedir. Güneş ışınları ve ortam sıcaklığı nedeni ile artan hücre sıcaklığı kolektörlerden geçen suyla soğutularak elektrik üretim verimi arttırılmıştır. Buradan toplanan ısı, ısı değiştiricisi ile ısınma ve kullanım suyu sistemlerine gönderildiğinden, kolektör sistemi suyu ve ısı değiştirici suyunun sıcaklıkları doğru orantılıdır.

4.2. Değerlendirme

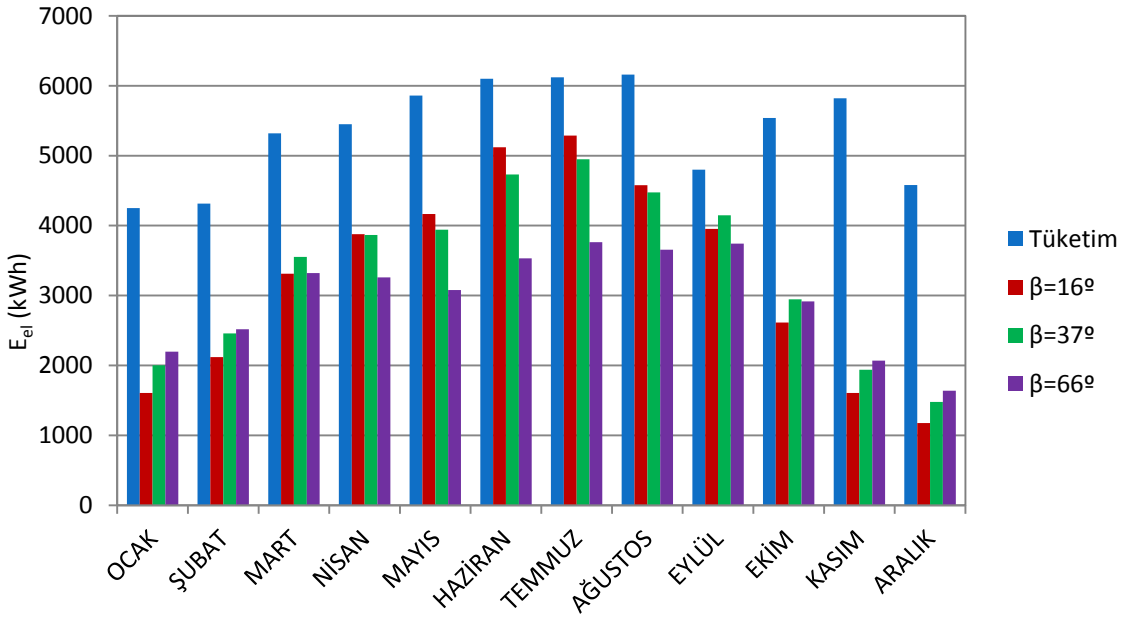
Bu çalışmada, Kırklareli Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü Hizmet Binasının elektrik ihtiyacı, TRNSYS programında tasarımı ve simülasyonu yapılan PV/T sisteminden karşılanmıştır.

Kırklareli 2012 hava verileri ve Kırklareli Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü Hizmet Binasının 2012 yılı elektrik tüketim miktarı dikkate alınarak hazırlanan sistemde, 192 adet mono kristal absorber yüzeyli camsız PV/T kolektör ve 3 adet inverter kullanılmıştır. Yıllık optimum kolektör eğim açısı 37º, yazın üç ay optimum kolektör eğim açısı 16º, kışın üç ay optimum kolektör eğim açısı 66º hesaplanarak bu açılarla sistem simülasyonları yapılmıştır.

Elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması için tasarlanan sistemde kolektörde su dolaşımı ile fazla ısının çekilerek bu ısının, ısı değiştiricisiyle ısınma ve kullanım sıcak suyu olarak değerlendirilmesi sağlanmıştır. Kolektörlerde fazla ısının çekilmesiyle elektrik üretim veriminin artması sağlanmıştır.

Sistemde, yaz aylarında güneş ışınlarının daha dik gelmesi ve bulutlanmanın az olması vb. etkenleri ile güneş ışınımın fazla olması nedeniyle elektrik ve termal enerji üretimi fazladır.

Şekil 5.1.'de Kırklareli Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü Hizmet Binasının 2012 yılı elektrik tüketim miktarları ile oluşturulan sistemde üretilen elektrik enerjisi miktarlarının aylara göre değişimi gösterilmektedir.

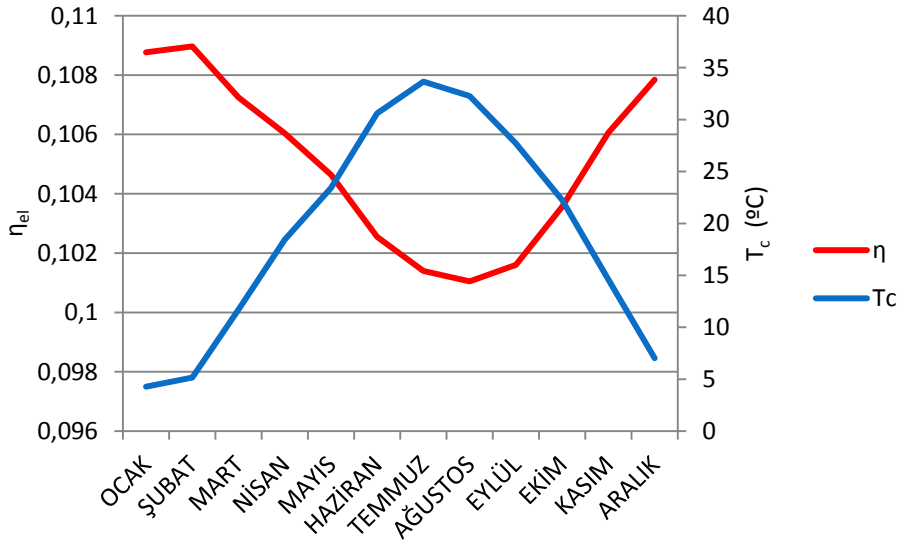


Şekil 4.21. Tüketilen elektrik enerjisi ile tasarlanan sistemde farklı eğim açılarındaki üretilen elektrik enerjisi aylara göre değişimi

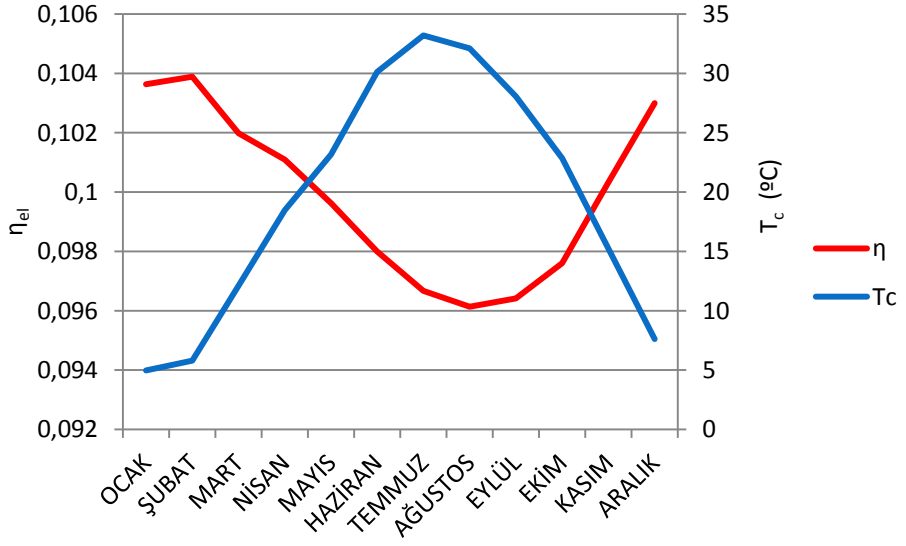
Şekil 4.21.'de görüldüğü gibi yaz aylarında klimaların kullanılmasıyla enerji tüketiminin artmasına rağmen, üretilen enerji miktarı tüketim miktarına yaklaşmaktadır. 16º kolektör eğim açılı sistem Haziran ayında, 37º kolektör eğim açılı sisteme göre % 8.24 oranında, 66º kolektör eğim açılı sisteme göre %45.04 daha fazla enerji üretmektedir. 66º kolektör eğim açılı sistem ise kış aylarında, 37º kolektör eğim açılı sisteme göre %10.87 oranında, 66º kolektör eğim açılı sisteme göre %39.16 daha fazla

enerji üretmektedir. Yaz ve kış ayları için optimum kolektör eğim açılarının sağlanmasıyla % 45 değerine kadar, daha fazla enerji elde edileceği görülmektedir.

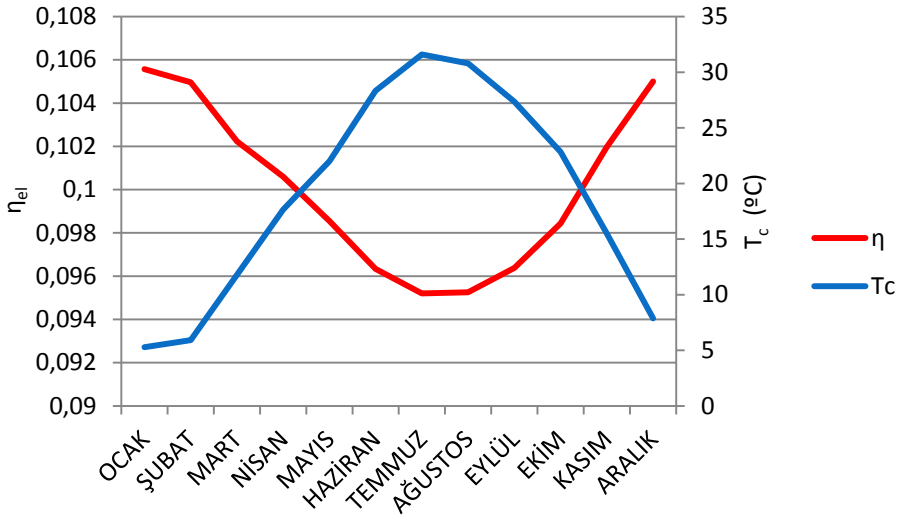
Sistem faydalanma oranı Şekil 4.14.'de de görüldüğü gibi 16º kolektör eğim açılı sistemde yaz aylarında % 86'ya, 66º kolektör eğim açılı sistem kış aylarında% 35'e kadar çıkmaktadır.



Şekil 4.22. 16º kolektör eğim açılı sistemin, elektrik üretim verimi ve modül sıcaklığının aylara göre değişimi

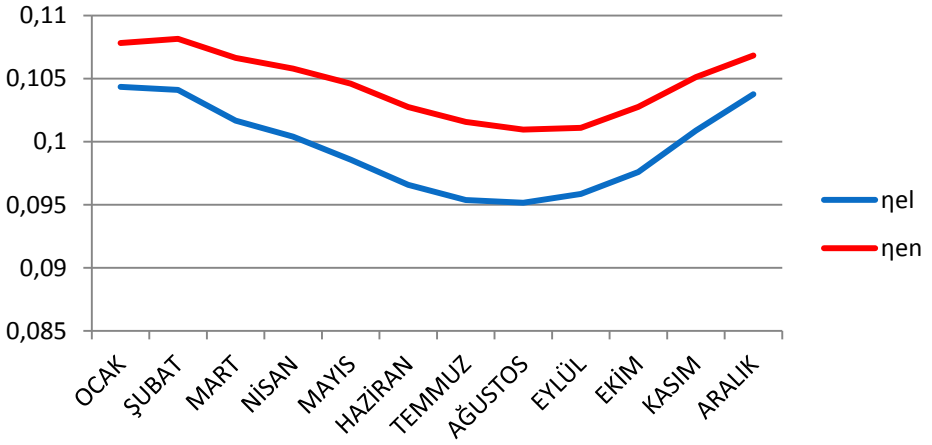


Şekil 4.23. 37º kolektör eğim açılı sistemin, elektrik üretim verimi ve modül sıcaklığının aylara göre değişimi



Şekil 2.24. 66º kolektör eğim açılı sistemin, elektrik üretim verimi ve modül sıcaklığının aylara göre değişimi

Şekil 4.22. , Şekil 4.23. ve Şekil 4.24.'de modül sıcaklığı arttıkça sistemin elektrik üretim veriminin azaldığı görülmektedir. PV/T Kolektörün güneş ışınını alması ile birlikte elektrik üretimi başlar fakat güneşten gelen enerjinin bir kısmı elektrik enerjisine dönüşürken bir kısmı da termal enerji olarak ortaya çıkar. Bu olay PV/T kolektörlerin ısınmasına neden olur, PV hücrelerinin ısınması ile akım (I) artarken, gerilim (V) değeri düşer. Gerilimdeki düşüşün fazla olması nedeni ile çıkış gücünde de düşüş olur ve bu verim kaybına neden olur [23].



Şekil 4.25. 37º kolektör eğim açılı sistemin elektrik üretim veriminin (η_{el}),toplam enerji üretim verimiyle (η_{en}) karşılaştırılması

Şekil 4.25.'de toplam enerji üretim veriminin elektrik enerjisi üretim veriminden büyük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, modüllerde oluşan termal enerjinin toplanarak değerlendirilmesidir.

Kırklareli Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü Hizmet Binası yıllık elektrik tüketimi 64315 kWh'dir. Yapılan çalışma sonucunda, TRNSYS programında oluşturulan 16º kolektör eğim açılı sistemle yıllık 39417.55kWh, 37º kolektör eğim açılı sistemde 40485.01 kWh, 66º kolektör eğim açılı sistemde 35683.84 kWh elektrik enerjisi üretilebilmektedir. 16º kolektör eğim açılı sistemle ihtiyacın %61.29'u, 37º kolektör eğim açılı sistemle %62.95'i, 66º kolektör eğim açılı sisteme %55.48'inin karşılanacağı sonucuna ulaşılmıştır. Şekil 5.1.'de de görüldüğü gibi 16º kolektör eğim açılı sistemin yaz aylarında elektrik enerjisi ihtiyacının %86'sını karşıladığı, ayrıca yazın kullanım suyu ısıtılmasına, kışında hem kullanım suyu hem de hacim ısıtmasında kullanılan suyunun ısıtılmasında destek sağlayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar enerji tasarrufu açısından önemlidir.

PV modüllerde, modül sıcaklığı arttıkça elektrik üretim veriminin azaldığı, modülde oluşan termal enerjinin değerlendirilmesi ile genel üretim veriminin arttığı belirlenmiştir. Bu durum PV modüllerinin soğutulmasını sağladığından, elektrik üretim verimini de arttırmaktadır.

Çizelge 5.1.'de değişik eğim açıları ile yapılan sistem analizlerinin çıktıları toplu olarak gösterilmektedir.

Çizelge 5.1. Değişik eğim açılarında sistem analizi verileri.

	Yıılık toplam DC elektrik üretimi (kWh)	Yıılık toplam AC elektrik üretimi (kWh)	Yıılık toplam termal enerji üretimi (kWh)	Yıllık toplam güneş ışınımı (kWh)	Yıllık ortalama faydalanma oranı	Yıllık ortalama elektrik üretim verimi	Yıllık ortalama termal enerji üretim verimi	Yıllık ortalama enerji üretim verimi
β=16º	40221.99	39417.55	2203.12	4904.73	0.60	0.1000	0.00494	0.1050
β=37º	41311.23	40485.01	2233.33	5041.20	0.62	0.0995	0.00498	0.1045
β=66º	36412.08	35683.84	1922.57	4406.56	0.55	0.0999	0.00503	0.1049

Tasarlanan sistemde analiz sonuçlarına göre, kamu binasının enerji ihtiyacının %90'lara kadar yenilenebilir enerji kaynağı ile karşılanabileceği sonucuna varılmıştır. Enerji ihtiyacında %80 dışa bağımlı olan ülkemizde bu gibi çalışmalar ve uygulamalarla enerjide dışa bağımlılığı azaltmakla birlikte, fosil yakıtların tüketimini azaltarak sera gazlarının azaltılması da mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

[1] (National Renewable Energy Laboratory (Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı) 1996)

[2] Huang, B.J., Lin, T.H., Hung, W.C., Sun, F.S., 2001. ***Performance evaluation of solar photovoltaic/thermal systems***. Solar Energy 70, 443–448.

[3] Mesut ABUŞKA.,***Güneş Enerjisi Ve Uygulamalari Dersi Notlari - II***

[4] Öztürk, H., 2008, ***Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Birsen Yayınevi.***

[5]Kern,E.C.,Russell, M.C., 1978***. Combined photovoltaic and thermal hybrid collector systems. In: Proceedings*** of 13th IEEE Photovoltaic Specialists, Washington (DC, USA), pp. 1153–1157.

[6] Florschuetz, L.W., 1979. ***Extension of theHottel-Whillier model totheanalysis of combined photovoltaic/thermal flat plate collectors***. Solar Energy 22, 361–366.

[7] Sopian, K.,Yigit, K.S., Liu, H.T., Kakac, S., Veziroglu, T.N., 1996. ***Performanc eanalysis of photovoltaic thermal airheaters. Energy Conversion and Management*** 37, 1657–1670.

[8] Tripanagnostopoulos, Y.,Nousia, T.H., Souliotis, M., Yianoulis, P., 2002. ***Hybrid photovoltaic/thermal solar systems. Solar Energy*** 72, 217–234.

[9] Chow, T.T.,Pei, G., Fong, K.F., Lin, Z., Chan, A.L.S., Ji, J., 2009. ***Energy and exergy analysis of photovoltaic–thermal collector with and without glass cover. Applied Energy*** 86, 310–316.

[10] Dilşad ENGİN, METİN ÇOLAK, 2008, ***Yarı saydam güneş pilli-termal toplayıcısının (su dolaşımlı) İzmir koşullarında analizi***. C.B.Ü. Soma Meslek Yüksek Okulu Teknik Bilimler Dergisi Cilt:2 Sayı:10.

[11] A. Shahsavar ve M. Ameri (2010) '***PV/T Hava kolektörü'*** İran Shahid Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünü.

[12] P. Barnwal, G.N. Tiwari,2008,***Grape drying by using hybrid photovoltaic-thermal (PV/T) gren house dryer: An experimental study*** Centre for Energy Studies, Indian Institute of Technology Delhi, New Delhi 110 016, India

[13] M. Bakker ,H.A. Zondag, M.J. Elswijk, K.J. Strootman, M.J.M. Jong,2004,***Performance and costs of a roof-sized PV/thermal array combined with a***

ground coupled heat pump Energy Research Centre of the Netherlands, ECN, P.O. Box 1, 1755 ZG Petten, The Netherlands.

[14] Anand S. Joshi ve ArvindTiwari, 2006, ***Energy and exerg yefficiencies of a hybrid photovoltaic–thermal (PV/T) air collector***, Centre for Energy Studies, Indian Institute of Technology Delhi, Hauz Khas, New Delhi 110016, India

[15] Birol KILKIŞ, 2012***Üçlü Güneş Enerjili Net Sıfır Enerji Evi, Tesisat Mühendisliği*** - Sayı 127 - Ocak/Şubat 2012S:61-67

[16] R. Daghigh,M.H. Ruslan, K. Sopian, 2011, ***Advances in liquid based photovoltaic/thermal (PV/T) collectors, Solar Energy Research Institute***, Universiti Department of Mechanical & Materials Engineering, Faculty of Engineering & Built Environment, Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM).

[17] Perez, R.,Stewart, R., Seals, R., Guertin, T., ***"The Development and Verification of the Perez Diffuse Radiation Model"***,Sandia Report, SAND88-7030, 1988

[18] **TRNSYS17,**Programı Kütüphanesi.

[19] Duffie,J.A.,Beckman,W.A.2006. ***Solar Engineering of Thermal Process ISBN 0-471-51056-4 Wiley-İnterscience Puplication,*** New York

[20] Niccolò Aste , Claudio Del Pero , Fabrizio Leonforte ***"Optimization of solar thermal fractionin PVT systems"***,Dept. Building Environment Sciences &Technology-BEST, Politecnicodi Milano, 20133 Milano (Italy),

[21] Prof. Dr. Osman F. Genceli '***Isı Değiştiricileri***' Birsen yayınevi, İstanbul 1999

[22] Olcay K.,2009, ***Güneş Enerjisi Ders Notları II. Bölüm***

[23] İsmail H. A. 1998, ***Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e*** Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sayı 46, Sayfalar:86-91, Bilesim yayıncılık A.Ş., İstanbul

ÖZGEÇMİŞ

Adayın tam adı	: Hüseyin Özgür DOĞANAY
Doğum yeri ve tarihi	: Gemerek - SİVAS, 05.03.1982
E-Mail	: ozgurdoganay@mynet.com
Eğitim bilgileri	: Gazi Üniversitesi Çorum Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği ÇORUM (2002-2006)
Trakya Üniversitesi,	Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans EDİRNE (2011-Halen devam etmekte)
Çalışma bilgileri	: Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü KIRKLARELİ (2010- Halen devam etmekte)