T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ

Mak. Müh. Azade KARATAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Yöneticisi: Yrd. Doç. Dr. Berrin KARAÇAVUŞ

EDİRNE-2012

T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ

Mak. Müh. Azade KARATAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 13.06.2012 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Kabul Edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Berrin KARAÇAVUŞ

Jüri Üyesi, Danışman

Doç. Dr. Semiha ÖZTUNA

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Deniz Taşkın

Jüri Üyesi

ÖZET

Bu çalışmada, Türkiye'nin kuzeybatısında, Edirne İlinde bulunan Trakya Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi için fotovoltaik paneller kullanılarak güneş enerjisinden elektrik üretiminin sağlanacağı bir sistemin tasarımı ve bu sistemin ekonomik durum tespiti yapılmıştır.

Sistemin analizi, TRNSYS; "Transient System Simulation" programında yapılmıştır. Trakya Üniversitesi, Prof. Dr. Ahmet Karadeniz yerleşkesinde bulunan Mühendislik-Mimarlık Fakültesinin bir yıllık elektrik faturaları baz alınarak aylık toplam tüketimlerinden günlük ortalama tüketim değerleri belirlenmiştir. Elektrik üretimi, güneş enerjisinden fotovoltaik paneller aracılığı ile sağlanmaktadır. Sistem elektrik şebekesine bağlı olacak şekilde tasarlanmıştır.

Edirne İli için 1995 yılına ait hava verileri baz alınarak simülasyon yapılmıştır. Sistemde inverter ile beraber düzenlenmiş PV dizileri kullanılmıştır. Sistemin optimizasyonu için, TRNOPT, harici bir simülasyon programı olan Genopt programı Hooke-Jeeves algoritması ile kullanılmıştır.

ABSTRACT

In this study, an electric generation system from solar energy using photovoltaic panels is designed and its economical conviency was analysed for Trakya University Engineering and Architecture Faculty in Edirne in northwest of Turkey.

The sysytem analysis was performed by TRNSYS "Transient System Simulation" program. Daily avarage electric energy consumption was calculated based on monthly electrical invoices of Trakya University Engineering and Architecture Faculty in Prof. Dr. Ahmet Karadeniz Campus, for one year period. Electrical energy will be generated from solar energy via photovoltaic panels; however, the system will be connected to common electric grid at the same time in order to be able to supply electric energy when solar energy is not enough.

Simulation for Edirne is performed on the basis of weather data of 1995. PV arrays with inverters are used in the system. TRNOPT was used together with an external simulation program Genopt with Hooke-Jeeves algorithm for the system optimization.

ÖNSÖZ

Enerji ihtiyacının sürekli olarak arttığı günümüzde, fosil yakıt kaynaklarının hızla azalması insanları yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaya yöneltmiştir.

Fuel oil, kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtlarının önümüzdeki yıllarda tükenebilir olmalarının yanı sıra çevreyi kirletiyor olmaları da ayrıca bir sorundur. Her ne kadar bu yakıtların kullanıldığı işletmelerin bacalarına filtre, atık sularına arıtma gibi önlemler alınsa da çevre kirliliği ve sera etkisini artıran gazların salınımı gibi negatif etkileri devam etmektedir.

Çağımızda teknolojilerin gelişmesi ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. Bu konuda en büyük görev öncelikli olarak araştırmacılara ve konunun uzmanlarına düşmektedir. Araştırma ve geliştirmesi tamamlanan ve ekonomik değere sahip yenilenebilir enerji sistemleri seri bir şekilde üretilmeli ve piyasada yerini almalıdır.

Yenilenebilir enerjiler arasında özellikle güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve jeotermal enerjiyi sayabiliriz. Ülkemizde bu enerjilerin kullanılabilecekleri alanlar oldukça fazladır.

Özellikle Akdeniz ve Ege kıyılarında olmak üzere ülkemizin güney kesimlerinde güneş enerjisinin sıcak su ve elektrik üretimi açısından kullanımı son yıllarda önemli miktarda artmıştır. Sunulan tezde, Edirne İli'nde fotovoltaik paneller ile elektrik üreten bir sistem tasarımı yapılmıştır.

Son yıllarda üniversite kampüslerinde önem kazanan bu konuda araştırma yapmam için beni yönlendiren ve her türlü desteğini benden esirgemeyen Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Berrin KARAÇAVUŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezime maddi destek veren Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonuna teşekkürlerimi sunarım.

Azade Karataş

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET

ABSTRACT

ÖNSÖZ

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ

ÇİZELGE LİSTESİ

SİMGELER DİZİNİ

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE KURAMSAL TEMELLER 4

2.1. Dünyada Yapılmış Çalışmalar 4

2.2. Ülkemizde Yapılmış Çalışmalar 5

2.3. Tezin Amacı ve Kapsamı 6

2.4. Kuramsal Temeller 8

2.4.1. Güneş pili sistemleri ve uygulamaları 8

2.4.2. Güneş pili sistemleri çeşitleri 9

2.4.3. Güneş pili sistemlerinde kullanılan ekipmanlar 10

3. SİSTEM TASARIMI 13

3.1. Sistem Yükü 15

3.2. Kullanıcı Formatında Hava Veri Okuyucusu 15

3.3. Inverter ile Beraber Düzenlenmiş PV Dizileri 18

3.4. Optimizasyon Ünitesi 24

4. EKONOMİK ANALİZ 26

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME 29

5.1. Sonuçlar 29

5.2. Değerlendirme 40

KAYNAKLAR 42

ÖZGEÇMİŞ 44

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 2.1.	Şebekeye bağlı sistem	9
Şekil 2.2.	PV dizilerin oluşturulması	11
Şekil 3.1.	Sisteme ait tesisat şeması	14
Şekil 3.2.	Günlük elektrik yükü	15
Şekil 3.3.	Güneş pili eşdeğer devresi	18
Şekil 3.4.	Referans şartlarda PV modülünün akım-gerilim değişimi	21
Şekil 3.5.	PV dizilerinin yerleştirilmesi	23
Şekil 3.6.	Yazılım yapısı	25
Şekil 5.1.	Optimizasyon sonuçları	30
Şekil 5.2.	Yıllık simülasyon sonuçları	31
Şekil 5.3.	Ocak ayı için simülasyon sonuçları	32
Şekil 5.4.	Ocak ayında elde edilen gücün saatlere bağlı değişimi	33
Şekil 5.5.	Ocak ayı için dış hava ve PV panelinin sıcaklık değişimi	34
Şekil 5.6.	Ocak ayında ışınım değerlerinin saatlere bağlı değişimi	35
Şekil 5.7.	Sistem gücünün Temmuz ayında değişimi	36
Şekil 5.8.	Maksimum güç noktasında elde edilen güç miktarının aylara bağlı değişimi	37
Şekil 5.9.	Sistemden faydalanma oranının aylara bağlı değişimi	38

ÇİZELGE LİSTESİ

		Sayfa No
Çizelge 3.1.	Hava veri okuyucusunda kullanılan parametreler	16
Çizelge 3.2.	Perez katsayıları	17
Çizelge 3.3.	PV özellikleri	20
Çizelge 3.4.	Inverter özellikleri	22
Çizelge 3.5.	Optimizasyon parametreleri	25
Çizelge 4.1.	Ekonomik analizde kullanılan parametreler	28
Çizelge 5.1.	Ekonomik değerler	39
Çizelge 5.2.	Sonuçlar	39

SİMGELER DİZİNİ

A	Kolektör alanı
A_m	Modül alanı, m^2
α_{Isc}	Referans şartlarda modül kısa devre akımı için sıcaklık katsayısı, 1/K
α_n	Normal geliş açısında yutma geçirme çarpımı,
a	Sıcaklık katsayısı
β_{Voc}	Referans şartlarda modül açık devre gerilimi için sıcaklık katsayısı, V/K
C	Ticari olmayan
C_{FA}	Anlık yardımcı yakıt fiyatı oranı, $/kJ
C_{INV}	Inverter fiyatı, $/W
$C_{M,B}$	Mekanik kısım ve bağlantılar fiyatı, $
C_{PV}	Güneş pili modül fiyatı, $/W
C_A	Depolama ve kolektör gibi parçaları da içeren alana bağlı toplam fiyat
C_E	Kolektör alanından bağımsız parçaların toplam fiyatı
$C_İ$	İşletme maliyeti, $
C_S	Toplam maliyet, $
d	Market indirim oranı, %
D	Toplam sistem yatırımı için peşinatlar oranı, %
Δ	Gökyüzü parlaklığı
ε	Gökyüzü açıklığı
F'_1, F'_2	Azaltılmış parlaklık katsayıları
f	Aylık faydalanma oranı
F	Yıllık faydalanma oranı
G_{bH}	Yatay yüzeye gelen direkt ışınım, W/m^2
G_{bn}	Normal doğrultusunda gelişte direkt ışınım, W/m^2

G_{dH}	Yatay yüzeye gelen difüz ışınım, W/m^2
G_H	Yatay yüzeye gelen toplam ışınım, W/m^2
$G_{T, NOCT}$	Normal hücre çalışma sıcaklığında güneşlenme, W/m^2
$G_{T,ref}$	Referans şartlarda toplam ışınım, W/m^2
I_D	Diyot akımı, A
I_L	Işınım akımı, A
I_{MPP}	Referans şartlarda maksimum güç noktasında modül akımı, A
I_{SC}	Referans şartlarda modül kısa devre akımı, A
I_{SH}	Paralel direnç akımı, A
I_{TT}	Fotovoltaik paneller üzerine gelen toplam ışınım
i_{FCF}	Konvansiyonel yakıt enflasyon oranı, %/yıl
i_G	Genel enflasyon oranı, %/yıl
k	Boltzman sabiti
LCC	Fotovoltaik sistemin ömrü boyunca maliyeti, $
M	Mortgage faiz oranı, %/yıllık
M_S	Bir yıllık ekstra sigorta, bakım, vs., %
MPP	Maksimum güç noktası
n_p	Sistemin geri ödeme süresi, yıl
N_p	Dizideki paralel modül sayısı
N_s	Dizideki seri modül sayısı
N	Dizi sayısı
N_E	Ekonomik analiz periyodu, yıl
η_{sis}	Sistem verimi
P_L	Sistemin aylık toplam elektrik yükü
P_{max}	Maksimum güç noktasında üretilen güç
P_{MPP}	Referans şartlarda modül gücü, Wp

PV	Fotovoltaik panel
P_1	Sistem ömrü boyunca yakıt tasarrufunun birinci yıldaki yakıt tasarrufuna oranı
P_2	Ek masrafların ilk yatırıma oranı
q	Elektron şarj sabiti
Q_{AUX}	Yardımcı yakıtın anlık kullanımı, kJ/saat
R_h	Bağıl nem, %
R_s	Seri direnç, ohm
R_{sh}	Paralel direnç, ohm
SAL	İlk yatırım için hurda değeri oranı, %
T	Saatlik güneşlenme süresi, saat
T_a	Dış hava sıcaklığı, ^{0}C
T_c	Modül sıcaklığı, ^{0}C
$T_{c,ref}$	Referans sıcaklık, K
$T_{m,NOCT}$	Normal hücre çalışma sıcaklığında modül sıcaklığı, K
$T_{a,NOCT}$	Normal hücre çalışma sıcaklığında çevre sıcaklığı, K
t	% olarak yatırımın dolar başına emlak vergi oranı
$\bar{t}$	Efektif Federal-Devlet gelir vergisi oranı, %
Θz	Güneş zenit açısı, derece
V	İlk yıl için güneş enerjisi sistemi değerlendirmesinin sistemin ilk yatırımına oranı
V_{OC}	Referans şartlarda modül açık devre gerilimi, V
V_{MPP}	Referans şartlarda maksimum güç noktasında modül voltajı, V
W_r	Rüzgar hızı, m/s
$W_{r\text{-}dir}$	Rüzgar yönü, derece

GİRİŞ

Dünyada son yıllarda yaşanan birçok gelişme doğrudan ve dolaylı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının teknolojileri, bu kaynaklardan enerji üretim maliyetleri ve piyasa payları 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.

Dünya enerji sektörü, iklim değişikliğinin korkulan sonuçları nedeniyle radikal bir yapısal değişimin eşiğindedir. Özellikle yeterli fosil kaynaklara sahip olmayan ve enerjide dış bağımlılığı artan sanayileşmiş ülkeler bu radikal değişim sürecinde, hem güvenli enerji kaynaklarına yönelme hem de yenilenebilir enerji ve temiz teknolojileri satma yoluyla ekonomilerini güçlendirerek krizi fırsata çevirmeye çalışmaktadır. Önümüzdeki dönemde dünyanın güçlü ülkeleri bir yandan fosil kaynaklar üzerindeki etkinliklerini sürdürmeye çalışırken, diğer yandan yeni teknoloji pazarındaki paylarını artırmak üzere rekabet edeceklerdir. Teknoloji pazarındaki en önemli gelişme de Çin'in bu pazarda gittikçe güçlenen pozisyonudur. Yenilenebilir enerji kaynaklarında en fazla üretim kapasitesi artışı yapan Çin, yenilenebilir enerji kaynakları ekipman üretim piyasasında rüzgar ve PV (fotovoltaik) ekipman üretiminde öne geçmiş, böylece bu alanda öncülük Avrupa`dan Asya`ya kaymıştır. Yenilenebilir enerji yatırımlarında yer alan farklı bileşenlerin üretiminin, istihdam üzerinde de çok önemli etkileri

bulunmaktadır. Bu şekilde dünyada artan yenilenebilir enerji yatırımlarının milyonlarla ifade edilen istihdam yarattığı hesaplanmaktadır.

Görüldüğü gibi yenilenebilir enerji, bir zamanlar petrolde olduğu gibi ekonomiler için çok yönlü olarak yarattığı etkilerle enerji sektöründe önemli bir bileşen haline gelmeye başlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi konusunda son yıllarda önemli yasal düzenlemeler yapılmıştır. Potansiyelinin oldukça önemli bir bölümü hala değerlendirilmeyi bekleyen yenilenebilir enerji kaynaklarının, Türkiye'nin enerji bağımsızlığında önemli bir rol üstlenebileceği kesindir. Enerji bağımsızlığı savaşını kazanmak Türkiye`nin önündeki önemli bir görevdir. Enerji ithalatı ve ithal teknoloji bağımlılığı, Türkiye`nin dış ticaret dengesi üzerinde olumsuz etki yaratan en önemli faktörlerdir. Bu alana mutlaka müdahale gereklidir. Mevcut yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelini değerlendirmek üzere her yıl bir kaç milyar dolarlık yatırım yapılması gerektiği düşünüldüğünde mutlaka stratejik bir yaklaşım ortaya konulmalı, her bir kaynak için verimlilik standartları belirlenmeli ve kabul edilebilecek alt limitler belirlenmelidir.

Ülkemizde yeterli ve donanımlı teknik eleman ve işgücü bulunmasına rağmen projelendirme ve tasarım konularında yabancı firmalara büyük bedeller ödendiği ve bu tutarların enerji yatırımları içinde milyarlarca dolara ulaştığı dikkate alınarak, bu durumun aşılması için üniversite ve sanayi işbirliği ile proje-tasarım konularında çalışılmalıdır. TÜBİTAK, üniversiteler, üretici sanayi kuruluşları, meslek örgütlerinin katılımıyla; rüzgar türbinleri bileşenlerinin, fotovoltaik panellerin, yoğunlaştırmalı güneş elektrik üretim sistemleri bileşenlerinin, jeotermal ve biyokütle ekipmanlarının, hidrolik türbinlerin, kazanların yurt içinde üretimini öngören strateji ve planlar geliştirilmeli ve uygulanmalıdır. Enerji sektörü içinde yenilikçi bir organizasyonla kamu yol gösterici ve yönlendirici olmalıdır.

Son zamanlarda uluslararası finans kuruluşlarının özelikle yenilenebilir enerji için Türkiye'ye sundukları cazip finansman olanaklarının arkasında yeni bir "teknoloji pazarı" yaratma ve bu pazara gelişmiş ülkelerde imal edilen ürün ve ekipmanları satma düşüncesinin bulunduğu unutulmamalıdır. Türkiye yenilenebilir potansiyeli yüksek bir ülke olarak, gerekli yatırımlar için politikasını düzenlerken bu teknoloji pazarında kendi

teknolojisi ile var olmalıdır. Hızlı bir sürece giren yenilenebilir enerji yatırımlarının yerli üretimle yapılması önemli ekonomik ve sosyal etkilere sahiptir. Doğrudan ve etkin teşviklere ihtiyaç duyulmaktadır. (MMO Sonuç Bildirgesi, 2011)

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE KURAMSAL TEMELLER

2.1. Dünyada Yapılmış Çalışmalar

Chow, 2010, 1970'lerden beri fotovoltaik/ısıl (PVT) teknolojisiyle ilgili araştırmaların önemli miktarda gelişme gösterdiğinden bahsetmiştir. PVT sistemlerin teknik içeriğini anlatan bu makalede ayrıca market potansiyeli ve ticari uygulamalara da değinilmiştir.

Arruda Lima, vd., 2006, Brezilya'da yenilenebilir enerji kullanımı konusuna değinmişlerdir. Güneş enerjisi sistemleri ile ilgili çalışmalar yapmışlar, TRNSYS simülasyon programını kullanarak bir evin sıcak su ve elektrik ihtiyacını karşılayacak sistemin ekonomik analizini yapmışlardır.

Coventry ve Lovegrove, 2003, bileşik ısı ve fotovoltaik sistem konusunda çalışmışlardır. Evsel sistemler için verimi artırmak ve enerji kaybını en aza indirmek için elektrik ve ısı çıktı oranlarını geliştirecek metodlar araştırmışlar ve bu metodları örneklendirmişlerdir.

Ulleberg ve Morner, 1997, güneş hidrojen sistemleri için TRNSYS simülasyon programını kullanarak değişik konfigürasyonlarda modellemeler yapmışlardır.

Durisch, vd., 2000, güneş enerjisi sistemlerinde seçilen fotovoltaik modüllerin değişik hava sıcaklıklarında, sağladığı verimin çeşitliliğini araştırmışlar ve bu konuda deneysel olarak çalışmışlardır.

Amrouche, vd., 2000, güneş uygulamaları için DC/AC güneş inverterleri konusunu araştırmışlar ve evsel uygulamalar için tek fazlı bir inverter prototipi yaparak laboratuarda test etmişlerdir. Geliştirme çalışmaları sonunda tam yükte %86 verime ulaşmışlardır.

Calvin Lee Kwan ve Timothy J. Kwan, 2011, kolej kampüslerinde çalışma yaparak fotovoltaik güneş paneli inşa etmenin ekonomik yönünü araştırmışlardır. Tasarruf edilebilecek tüm detaylar dikkate alındıktan sonra fotovoltaik sistemler, fosil yakıt kullanan sistemlere göre hala %30 daha pahalı elektrik üretmektedir.

B. Quesada, vd., 2011, TRNSYS programını kullanarak 7.2 kWp gücünde fotovoltaik sistemin deneysel sonuçlarını ve simülasyonunu yapmışlardır.

A. Zahedi, 2011, güneş enerjisinin depolanması üzerine yoğunlaşmanın gerektiğini vurgulamış ve çalışmalarını bu konu üzerine yoğunlaştırmıştır. Geleceğin enerjisi olan güneş enerjisinin kararsızlığı ve yenilenebilir enerji olarak önemi fotovoltaik sistemlerde depolamanın önemini gündeme getirmektedir.

Shuhui Li, vd., 2011, çalışmalarında fotovoltaik sistemlerde, fotovoltaik panel ve güç inverterleri karakteristiklerini incelemişler ve değişik koşullarda değişik performans gösterdiklerini yaptıkları simülasyonda belirtmişlerdir.

Zhe Li, vd., 2011, İrlanda'da evsel fotovoltaik sistemlerle ilgili çalışma yapmışlardır. Eğer teşvik verilmezse bu sistemlerin henüz ekonomik olmadığını çalışmalarında belirtmişlerdir.

2.2. Ülkemizde Yapılmış Çalışmalar

Bülent Yeşilata, vd., 2006, temiz enerjili uygulamaların öneminden bahsetmiş ve özellikle fotovoltaik güç ünitelerinin üniversite kampüslerinde kullanımını anlatmıştır. Bu makaleye göre Türkiye'de bu konuda öncülük Muğla Üniversitesi'nde olup, Harran Üniversitesi'nde de yeni kampüsün ileri güneş enerjisi teknolojileri ile entegrasyonu sözkonusudur.

Hüsamettin Bulut vd., 1999, Adana, Kayseri, Ankara ve İstanbul illeri için güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında kullanılan yatay düzleme gelen güneş ışınım şiddeti, güneşlenme süresi ve berraklık indeksi değerlerini analiz etmişlerdir.

İbrahim Üçgül vd., 2006, güneş pillerinin ülkemiz ve dünya geneli açısından mevcut durumları incelenmiş olup ayrıca dünya genelinde fotovoltaik modül üretimi yapan firmaların, üretim tekniklerini, ürün verimlilikleri ve pazar paylarını karşılaştırmalı olarak vermiştir. Güneş pili üretim teknolojisindeki yenilikler

incelenerek gelecekte güneş pili üretim durumu ve teknolojileri için de yorumlar yapılmıştır.

Ahmet Çıtıroğlu, 2004, fotovoltaik uygulamaların dünyada kullanılmakta olan yenilenebilir enerji kaynakları arasında en umut verici olduğunu belirtmiş, fotovoltaik teknolojisi ve sistem dizayn koşullarını tanıtmıştır.

2.3. Tezin Amacı ve Kapsamı

Enerji ihtiyacının sürekli olarak arttığı günümüzde, fosil yakıt kaynaklarının hızla azalması insanları yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaya yöneltmiştir.

Fuel oil, kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtlarının önümüzdeki yıllarda tükenebilir olmalarının yanı sıra çevreyi kirletiyor olmaları da ayrıca bir sorundur. Her ne kadar bu yakıtların kullanıldığı işletmelerin bacalarına filtre, atık sularına arıtma gibi önlemler alınsa da çevre kirliliği ve sera etkisini artıran gazların salınımı gibi negatif etkileri devam etmektedir.

Çağımızda teknolojilerin gelişmesi ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. Bu konuda en büyük görev öncelikli olarak araştırmacılara ve konunun uzmanlarına düşmektedir. Araştırma ve geliştirmesi tamamlanan ve ekonomik değere sahip yenilenebilir enerji sistemleri seri bir şekilde üretilmeli ve piyasada yerini almalıdır.

Yenilenebilir enerjiler arasında özellikle güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve jeotermal enerjiyi sayabiliriz. Ülkemizde bu enerjilerin kullanılabilecekleri alanlar oldukça fazladır.

Özellikle Akdeniz ve Ege kıyılarında olmak üzere ülkemizin güney kesimlerinde güneş enerjisinin sıcak su ve elektrik üretimi açısından kullanımı son yıllarda önemli miktarda artmıştır.

Bu çalışmanın başarılı olması durumunda, Türkiye'nin her yerinde kuzey kesimler dahil fotovoltaik paneller kullanılarak elektrik üretiminin yaygınlaştırılmasının uygun ve ekonomik olduğu söylenebilecektir.

Bu çalışma 5 bölümden oluşmaktadır.

Tezin birinci bölümünde, dünyadaki enerji kaynakları ile ilgili son yıllarda yaşanan olaylar anlatılarak, elektrik üretiminde fosil yakıtların tüketimi yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

İkinci bölümünde, tez konusu ile ilgili dünyada ve ülkemizde yapılan çalışmalar ile ilgili literatür araştırması ve güneş enerjili PV sistemleri ve uygulamaları hakkında kuramsal bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümünde, sistemin tasarımı ile ilgili yapılan çalışmalar sırasıyla anlatılmıştır. Sistemin kurulacağı bölgenin günlük elektrik yükü belirlenmiştir. Eğimli yüzeyler için güneş ışınım ve geliş açısının hesaplanması ve hava durum bilgilerinin değerlendirilerek istenen sistem birimlerine çevrilmesini sağlayan hava veri okuyucusu seçilmiştir. Sistemde kullanılacak olan inverter ve PV sayıları ve özellikleri belirlenmiştir. Optimizasyon ünitesi Genopt ile güneş panellerinin optimum eğim açısı hesaplanmıştır.

Dördüncü bölümünde, tasarlanan sistem için ekonomik analiz yapılmıştır. TRNOPT ile yapılan ekonomik analizde Brandemuehl ve Beckmann formülleri esas alınmıştır. Sermaye ve güneş sistemi maliyetleri, güneş sistemi olmayan konvansiyonel bir sistemin yakıt masrafları ile karşılaştırılmıştır.

Beşinci bölümünde, yapılan çalışmanın sonuçları değerlendirilmiştir. TRNSYS programı ile tasarlanan sistem için optimizasyon ve simülasyon sonuçları özellikle güneş ışınımının en az olduğu Ocak ve en fazla olduğu Temmuz ayları için karşılaştırılarak şekil üzerinde açıklanmıştır.

2.4. Kuramsal Temeller

2.4.1. Güneş pili sistemleri ve uygulamaları

Günümüzde, güneşten elde edilen elektrik, büyük şehirlerin yanı sıra yeryüzünün en ücra bölgelerinde yaşayan insanlara hizmet etmektedir. İlk başta uzay programlarında kullanılmış olan PV sistemleri günümüzde su pompalama, gece aydınlatması, akü şarjı, elektrik şebekelerinin beslenmesi gibi pek çok uygulama için elektrik üretmektedir.

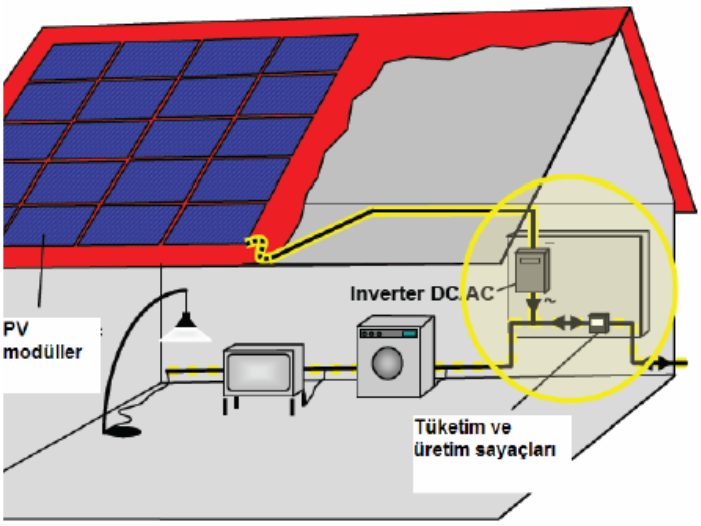
PV sistemleri, gerçekleştirdikleri işler için çeşitli avantajlara sahiptir. Enerji gerektiği yer ve zamanda üretilmekte ve dolayısıyla da karmaşık kablolama, depolama ve kontrol sistemlerine gereksinim duyulmamaktadır. 500 watt (W) güç değerinin altındaki küçük sistemlerin, düşük ağırlıkları ile, kurulum ve nakliyesi oldukça kolaydır. Bu tür kurulumların çoğunun montajı sadece bir kaç saat alır. Ayrıca pompa ve fanlar düzenli bakım gerektirmesine rağmen, PV modülleri için arada bir gerçekleştirilecek kontrol ve temizleme yeterli olmaktadır.

Güneş pili sistemlerinde yeterli sayıda güneş pili modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere sistemde akümülatör bulundurulur. Güneş pili modülleri gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu akümülatörde depolar, yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan regülatör ise akünün durumuna göre, ya güneş pillerinden gelen akımı yada yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir inverter eklenerek akümülatördeki doğru akım gerilimi, 220 V, 50 Hz.'lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli destek elektronik devreler sisteme katılabilir. Bazı sistemlerde, güneş pillerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici cihazı bulunur (Boztepe, M., 2009).

2.4.2. Güneş pili sistemleri çeşitleri:

- Bağımsız sistemler: Sadece PV teknolojisinden yararlanılır. Şebekeye bağlı değildir.
- Karma sistemler: PV teknolojisiyle birlikte, dizel üretimi veya rüzgar gibi diğer enerjilerden de yararlanılır.
- Şebekeye bağlı sistemler: Bu sistemler elektrik şebekesine bağlıdır (Boztepe, M., 2009).

Yapılan çalışmada şebekeye bağlı sistem tasarlanmıştır (Şekil 2.1). Bu tip sistemlerde depo elemanı kullanılmaz. Şebeke enerji deposu gibi çalışır. Üretilen enerji yük üzerinde anında kullanılır. Fazla enerji şebekeye aktarılır. Eksik enerji şebekeden tamamlanır. Inverterin tasarımı özeldir, şebekeye kontrollü enerji aktarabilir ve güneş pillerini MPP de çalıştırır. Ayrıca inverter şebekenin enerji kalitesi ve güvenlik gereksinimlerini karşılamak zorundadır. Fazla enerji satılarak maliyet azaltılabilir (Boztepe, M., 2009).



Şekil 2.1. Şebekeye bağlı sistem

Şebekeye bağlı sistemlerin büyüme hızı % 30 gibi yüksek bir değerdir. Çevreye saygılı enerji üretilmektedir. Merkezi olmak yerine dağıtılmış enerji üretimi söz konusudur. Enerji üretildiği yerde kullanıldığı için dağıtım kayıpları daha azdır (Boztepe, M., 2009).

Yapılan çalışmada sistemin şebekeye bağlı tasarlanmış olmasının en önemli nedeni aylara göre, özellikle yaz ve kış, güneş ışınımının büyük boyutlarda değişiklik göstermesidir. Ayrıca elektrik kullanılacak olan mahalin üniversite kampüsü olması sebebiyle gece elektrik ihtiyacı azalmaktadır. Bu sebeple üretilen enerjinin depolanması ayrıca bir masraf olacağından, elektrik ihtiyacının optimum seviyede kurulacak sistemden, eksik kaldığı durumlarda ise şebekeden kullanılması öngörülmüştür.

2.4.3. Güneş pili sistemlerinde kullanılan ekipmanlar:

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

Temel ekipmanlar: Güneş paneli, akü, şarj kontrol cihazı, inverter.

Yardımcı ekipmanlar: Akü dolabı, sayaç, güç izleyici, sigorta, diyot, kablolar, montaj malzemeleri (Öztürk, H., 2008).

Güneş paneli:

Bir güneş pili hücresi fotovoltaik sistemlerin en temel elemanıdır. Bu 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.

• 1.5V, 3V, 6V,12V, 24V, 48V gibi standart gerilimlerde üretilirler.

• 1000W/m^2, 25°C, AM1.5 (STC) koşullarında ürettikleri güç Wp olarak etiketlerinde belirtilir.

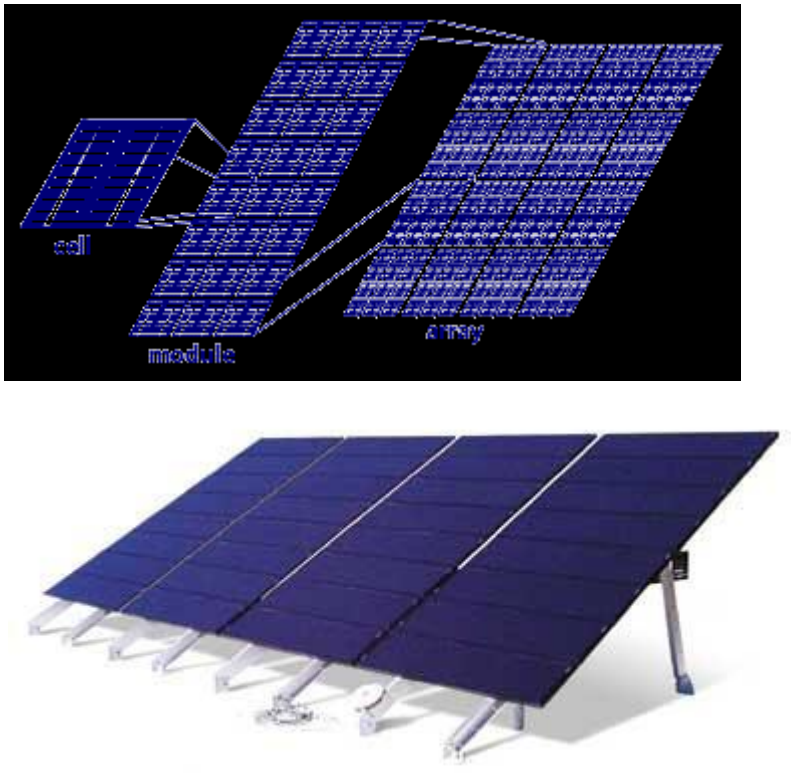
• Voc, Isc, Vmp, Imp değerleri belirtilir.

• Çok çeşitli ölçülerde ve güçlerde üretilir

• ~20 yıl güç üretme garantisi ile satılırlar (Boztepe, M., 2009).

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 (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. PV Dizilerin Oluşturulması

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 sistemlerde akü, üretilen elektriğin depolanmasını ve sonradan kullanılmasını sağlayan ünitedir.

PV 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 16-26^{0}C'dir (Öztürk, H., 2008).

Şarj kontrol cihazı:

Şarj kontrol cihazının PV 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 (Öztürk, H., 2008).

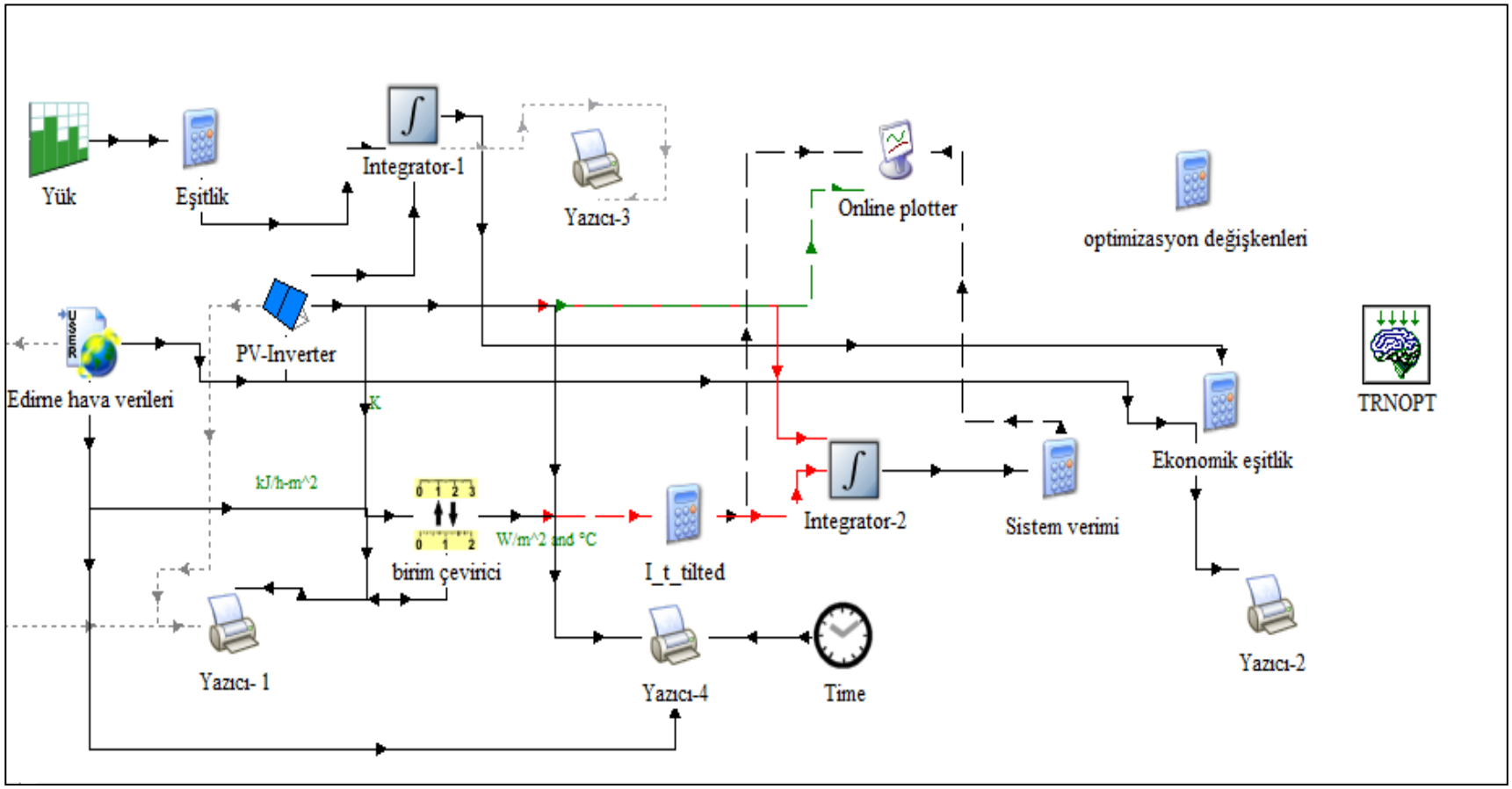
Inverter:

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. (Öztürk, H., 2008)

3. SİSTEM TASARIMI

Edirne iklim şartlarında, güneş enerjisinden elektrik üreten bir sistem tasarlanmıştır. Sistemin analizi, TRNSYS; "Transient System Simulation" programında yapılmıştır. Sistem tasarımında, Trakya Üniversitesi, Prof. Dr. Ahmet Karadeniz yerleşkesinde bulunan Mühendislik-Mimarlık Fakültesinin elektrik yükü baz alınmıştır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi fotovoltaik paneller aracılığı ile sağlanmaktadır. Sistem elektrik şebekesine bağlı olacak şekilde tasarlanmıştır.

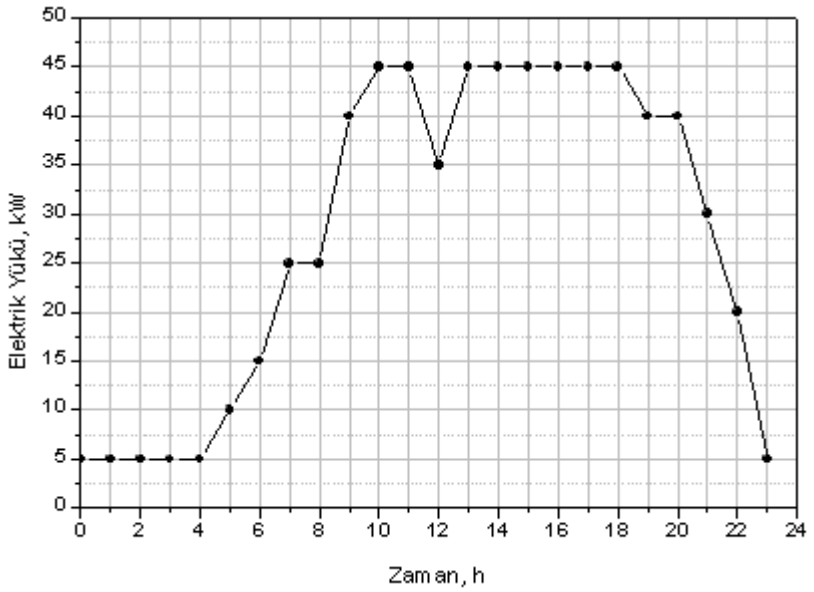
Sisteme ait tesisat şeması Şekil 3.1.'de verilmiştir. Sistem; inverter ile beraber düzenlenmiş PV modüllerden oluşmuş diziler, yük çizelgesi, Edirne iline ait hava veri okuyucusu, gerekli eşitlikler, online-plotter, yazıcılar ve optimizasyon ünitesinden oluşmaktadır. Inverter ile beraber düzenlenmiş PV modüller, verilen radyasyon şartlarında maksimum güç noktasında (MPP) çalışmaktadır.



Şekil 3.1. Sisteme ait tesisat şeması

3.1. Sistem Yükü

T.Ü. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesinin aylık elektrik tüketimleri incelenmiş ve aylık toplam tüketimlerin günlük ortalama tüketim değerleri belirlenmiştir. Her aya ait günlük ortalama tüketimlerin yıllık ortalaması alınmıştır. En yüksek tüketim 45 kW değerindedir. Şekil 3.2.'de gerekli günlük elektrik yükü verilmiştir.



Şekil 3.2. Günlük elektrik yükü

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.

Program kütüphanelerinde Türkiye'ye ait belli illere ait hava verileri bulunmaktadır. Edirne ili için programın istediği formatta (Compaq Visual Fortran 6'da) 1995 yılına ait hava verileri saatlik olarak oluşturulmuştur.

Çizelge 3.1. Hava veri okuyucusunda kullanılan parametreler

Gösterim	**Tanımlama**	**Birim**
G_{bH}	Yatay yüzeye gelen direkt ışınım	W/ m^2
G_{bn}	Normal doğrultusunda gelişte direkt ışınım	W/ m^2
G_{dH}	Yatay yüzeye gelen difüz ışınım	W/ m^2
G_H	Yatay yüzeye gelen toplam ışınım	W/ m^2
T	Saatlik güneşlenme süresi	Saat
T_a	Dış hava sıcaklığı	˚C
R_h	Bağıl nem	%
W_r	Rüzgar hızı	m/s
$W_{r\text{-}dir}$	Rüzgar yönü	Derece

Bu çalışmada Perez eğimli yüzey ışınımı modeli kullanılmıştır. Azaltılmış parlaklık katsayıları F'_1 ve F'_2, gökyüzü açıklığı ϵ ve gökyüzü parlaklığı Δ'nın fonksiyonudur (Perez, R., Stewart, R., Seals, R. ve Guertin, T., 1988).

$$\varepsilon \equiv \frac{\frac{(G_d + G_{dn})}{G_d} + 1.04\theta_z^3}{[1 + 1.041\theta_z^3]} \tag{3.1}$$

θ_z güneş zenit açısı olup birimi radyandır.

$$\Delta \equiv \frac{G_d m}{G_{on}} = \frac{G_d}{G_o} \tag{3.2}$$

Gökyüzü açıklığı ve gökyüzü parlaklığı parametreleri, aşağıdaki tabloda verilen azaltılabilir parlaklık katsayılarını hesaplamak için kullanılır. Bu katsayılara Perez katsayıları denir.

$F'_1=F_{11(\varepsilon)}+ F_{12(\varepsilon)}. \Delta+ F_{13(\varepsilon)}. \theta_z$ (3.3)

$F'_2=F_{21(\varepsilon)}+ F_{22(\varepsilon)}. \Delta+ F_{23(\varepsilon)}. \theta_z$ (3.4)

Çizelge 3.2. Perez katsayıları

ε	**ε İçin Üst Limit**	**Durumlar (%)**	**F11**	**F12**	**F13**	**F21**	**F22**	**F23**
1	1.065	13.60	-0.196	1.084	-0.006	-0.114	0.180	-0.019
2	1.230	5.60	0.236	0.519	-0.180	-0.011	0.020	-0.038
3	1.500	7.52	0.454	0.321	-0.255	0.072	-0.098	-0.046
4	1.950	8.87	0.866	-0.381	-0.375	0.203	-0.403	-0.049
5	2.800	13.17	1.026	-0.711	-0.426	0.273	-0.602	-0.061
6	4.500	21.45	0.978	-0.986	-0.350	0.280	-0.915	-0.024
7	6.200	16.06	0.748	-0.913	-0.236	0.173	-1.045	0.065
8	-	13.73	0.318	-0.757	0.103	0.062	-1.698	0.236

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

$$\frac{a}{c} = \frac{\max(0, \cos\theta)}{\max(\cos 85, \cos\theta z)} \quad (3.5)$$

Eğimli yüzeye gelen difüz ışınım aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$G_{dT} = G_C\,(0.5(1 - F'_1)(1+\cos\beta) + F'1(a/c) + F'_2 \sin\beta) \quad (3.6)$$

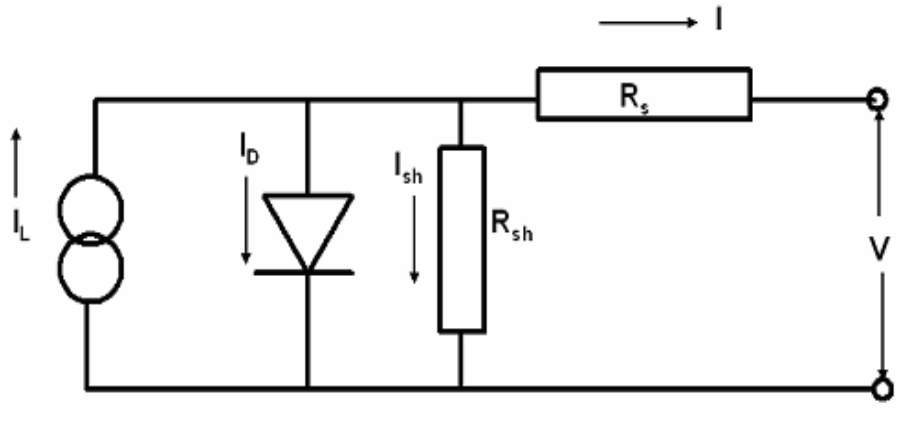
Buna göre eğimli yüzeye gelen toplam ışınım, eğimli yüzeye gelen direkt, difüz ve yansıyan ışınımların toplamı olmak üzere (3.7) eşitliği ile verilir.

$$G_{T=}G_{bT}+G_{dT}+G_{gT} \quad (3.7)$$

3.3. Inverter İle Beraber Düzenlenmiş PV Dizileri

Inverter (çevirici) akümülatördeki DC gerilimi, 220 V ve 50 Hz'lik alternatif akıma dönüştürür. Bu bileşen beş parametre modelini kullanarak, fotovoltaik dizilerin elektrik performansını belirler. Bu model belirtilmiş gerilim değerlerinde akım ve gücü belirler. Bu bağlantı, fotovoltaik dizinin performansını doğrudan etkilediği için inverterin minimum ve maksimum kabul edilebilir giriş voltajı ve maksimum kabul edilebilir giriş gücü sınırlarını belirler.

Beş parametre eşitliğinde devre modeli aşağıdaki gibidir. Bu modelin başlıca dayanağı üreticinin diğer çalışma koşullarına göre standart koşullarda güvenilir tahmini performans bilgisi sağlamasıdır. Standart koşullar; 1,000W/m^2, 25^{0}C'dir (TRNSYS kütüphanesi).



Şekil 3.3. Güneş pili eşdeğer devresi

Beş parametreyi değerlendirmek için beş bağımsız bilgiye ihtiyaç vardır. Genel olarak bu parametreler dizideki güneş ışınımının ve dizi sıcaklığının fonksiyonudur. Bu parametrelerin referans değerleri standart koşullarda belirlenir. Bu beş parametre; ışınım akımı I_L, diyot akımı I_D, seri direnç R_S, paralel (şönt) direnç R_{SH} ve sıcaklık katsayısı a'dır.

$$a = N_s.n_1.k.T_c/q \qquad (3.8)$$

Hücre çıkışı maksimum güç noktasında olabilir. Maksimum güç takipçileri, hücre devresinin alternatif akım direncini (empedans) en iyi çalışma seviyelerinde tutar

ve yük ihtiyacı olan gerilimi PV dizisinden dönüştürür. AC güç ihtiyacı olursa, DC/AC inverter ihtiyacı olur.

Sistem performansı üzerinde inverterin etkisi, PV dizisi tarafından sağlanan ek verim ile karakterize edilir. Dizinin güç ve gerilim fonksiyonu olarak inverterin verimini sağlamak için bir veri dosyası kullanılır.

Inverter, minimum ve maksimum giriş gerilimi arasında çalıştırılmalıdır. Eğer giriş gerilimi, inverterin maksimum geriliminden yüksekse, inverterin dışındaki güç çıkış gerilimine sınırlandırılmıştır. Eğer MPP gerilimi inverterin minimum giriş geriliminin altına düşerse, inverter, dizinin açık devre gerilimi minimum inverter geriliminin üzerine çıkıncaya kadar azaltılmış verim ile çalışır. Eğer MPP gerilim ve açık devre gerilimi birlikte inverter minimum geriliminin altına düşerse inverter kapanır. Inverter gücüde ayrıca sınırlıdır. Eğer giriş gücü inverter kapasitesinin üzerine çıkarsa inverter çıkış gücü sınırlanır.

Çizelge 3.3. PV özellikleri

Modül tipi	**Siemens SR100 (12V)**	**“ c-Si ”**
Tanımlama	**Gösterim**	**Değer**
Referans şartlarda mak. güç noktasında modül voltajı	V_{MPP} (V)	17.7
Referans şartlarda mak. güç noktasında modül akımı	I_{MPP}(A)	5,6
Referans şartlarda modül gücü	P_{MPP} (W_p)	100
Referans şartlarda modül açık devre gerilimi	V_{oc} (V)	22
Referans şartlarda modül kısa devre akımı	I_{sc} (A)	6.3
Referans sıcaklık	$T_{c,ref}$ (K)	298.15
Referans şartlarda gelen toplam ışınım	$G_{T,ref}$ (W/ m^2)	1000
Referans şartlarda modül kısa devre akımı için sıcaklık katsayısı	α_{Isc} (1/K)	0.000396
Referans şartlarda modül açık devre gerilimi için sıcaklık katsayısı	β_{Voc} (V/K)	-0.0905
Seri bağlı hücre sayısı		36
Modül alanı	A_m (m^2)	0.89
Normal geliş açısında yutma geçirme çarpımı	$\tau\alpha_n$	0.95
Modül sıcaklığı NOCT*	$T_{m,NOCT}$ (K)	313
Çevre sıcaklığı NOCT*	$T_{a,NOCT}$ (K)	293
Güneşlenme NOCT*	$G_{T,NOCT}$ (W/m^2)	800
Dizi içindeki paralel modül sayısı	N_P	7
Dizi içindeki seri modül sayısı	N_S	5
Dizi sayısı	N	13
Bir invertere bağlanacak dizi sayısı		1

* NOCT (Normal Operating Cell Temperature/Normal Hücre Çalışma Sıcaklığı)

-NOCT test ile ölçülmüş bir sıcaklıktır. Kataloglarda verilir.

-Aşağıdaki koşullar altında çalışan bir modülün hücre sıcaklığıdır.

Işınım : 800 W/m^2

Spektral dağılım : AM 1.5

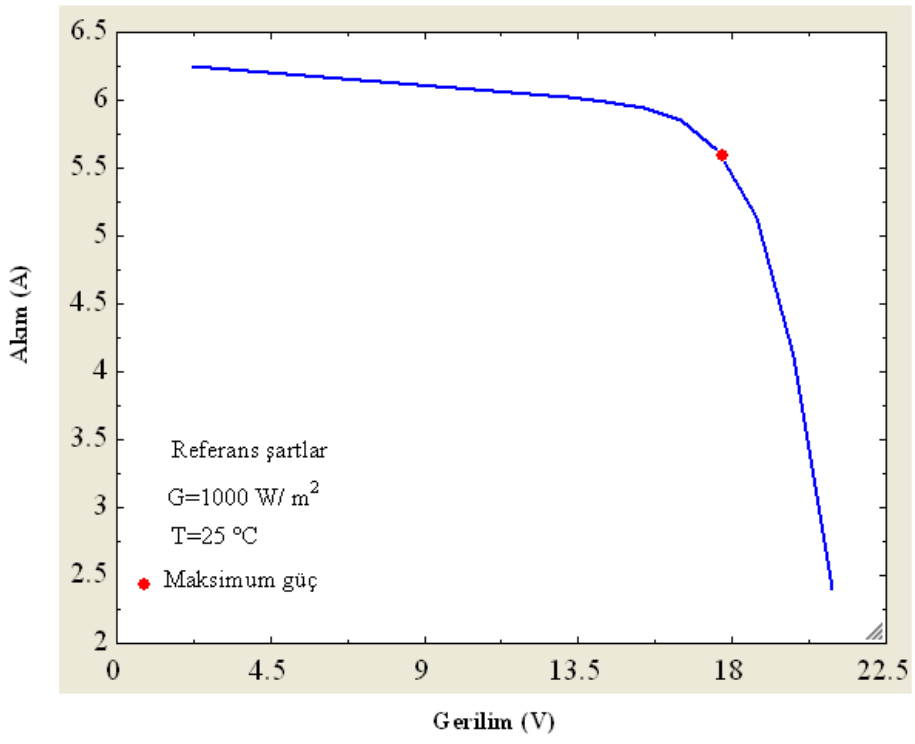
Ortam sıcaklığı : 20^0C

Rüzgar hızı : 1m/s'den büyük

-NOCT genellikle 42^0C ile 46^0C arasındadır.

-NOCT herhangi bir ışınım ve hava sıcaklığında modül hücre sıcaklığını tahmin etmek için kullanılır.

PV modülünün referans şartlarda Akım-Gerilim grafiği Şekil 3.4.'de verilmiştir.



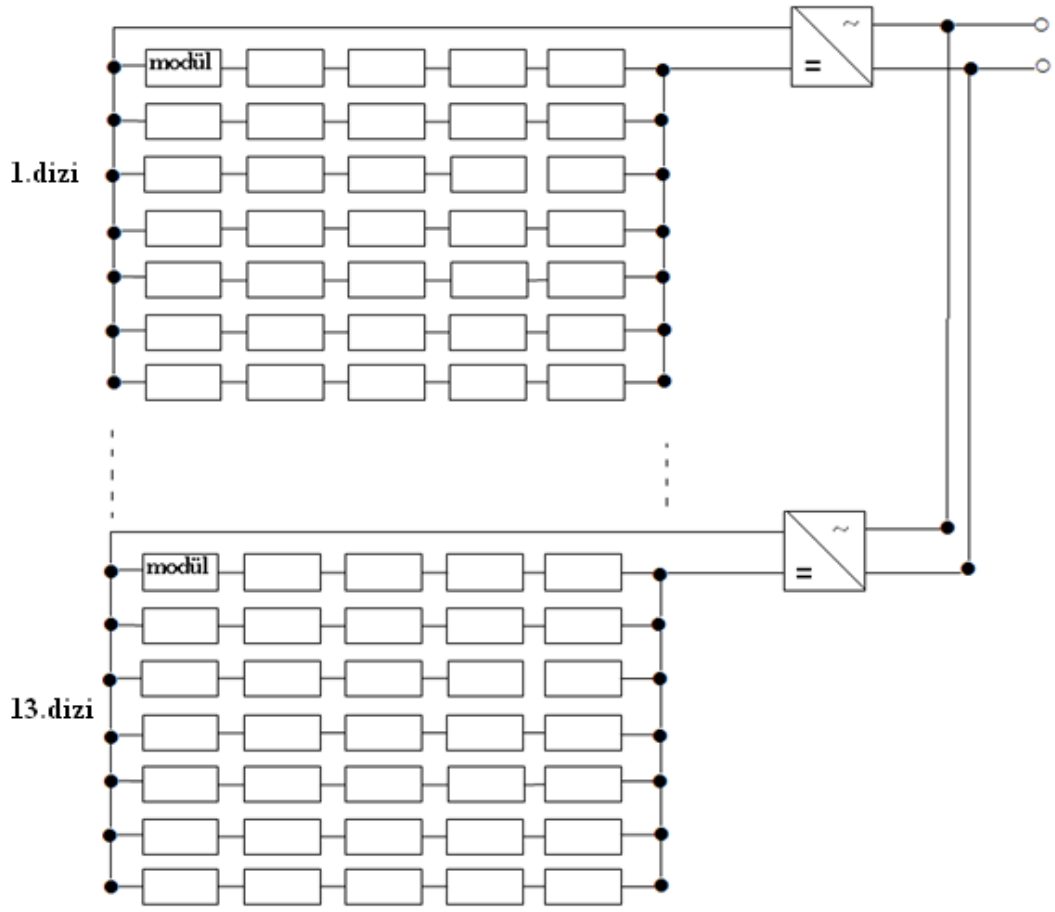
Şekil 3.4. Referans şartlarda PV modülünün Akım-Gerilim değişimi

Sistemde kullanılan invertere ait özellikler Çizelge 3.4.'de verilmiştir. Sistemde yük profili oluşturulurken ortalama inverter verimi hesaplanmıştır. Çizelge 3.4.'deki verim değerleri referans olarak alınmıştır.

Çizelge 3.4. Inverter özellikleri

İnverter gücü (W/ m^2)	350-3500	
İnverter gerilimi (V)	104-164	
İnverter verimi	**Güç (W)**	**Gerilim (V)**
0.797	**0**	**104**
0.780	0	135
0.748	0	164
0.797	350	104
0.780	350	135
0.748	350	164
0.862	700	104
0.843	700	135
0.827	700	164
0.885	1050	104
0.867	1050	135
0.860	1050	164
0.929	1750	104
0.920	1750	135
0.916	1750	164
0.922	2450	104
0.921	2450	135
0.919	2450	164
0.918	3500	104
0.919	3500	135
0.915	3500	164

Şekil 3.5.’ de sistemdeki PV dizilerinin sıralanışı verilmiştir.



Şekil 3.5. PV dizilerinin yerleştirilmesi

3.4. Optimizasyon Ünitesi

Optimizasyon ünitesi; maliyet fonksiyonunun minimizasyonu için harici bir simülasyon programı tarafından değerlendirilen optimizasyon programıdır.

Optimizasyon ünitesi, aşağıdaki özellikler taşıyan problemlerin optimizasyonu için kullanılabilir.

1- Maliyet fonksiyonunu türevlenebilir bir fonksiyon olmayabilir.

2- Bağımsız değişken sayısı az olabilir.

3-Maliyet fonksiyonunun değerlendirilmesi veya çözümlenmesi değerlerin bir sonraki iterasyon için belirlenmesinden çok daha fazla hesaplama zamanı gerektiriyor olabilir.

4- Maliyet fonksiyonunun analitik ya da çözümsellik özelliği olmayabilir.

Optimizasyon ünitesinin özellikleri aşağıdaki gibidir:

1- Optimizasyon ünitesi, programında herhangi bir değişiklik ya da düzenleme gerektirmeden, girdilerini bir metin dosyasından okuyan, çıktılarını yine bir metin dosyasına yazan, herhangi bir simülasyon programı ile birleştirilebilir.

2- Kullanıcı, bir algoritma kitaplığından bir optimizasyon algoritması seçebilir ya da kendisi bir algoritma oluşturabilir.

Optimizasyon ünitesi; maliyet fonksiyonunun minimizasyonu için harici bir simülasyon programı (Genopt) tarafından değerlendirilen optimizasyon programıdır. Bu çalışmada Genopt→Hooke-Jeeves algoritması kullanılmıştır (Şekil 3.5).

En genel halde optimizasyon problemleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

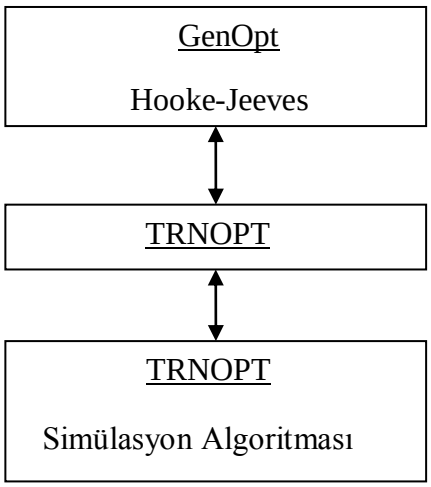
X: Kullanıcı tarafından tanımlı kısıt kümesi

f: X→R kullanıcı tanımlı bir maliyet fonksiyonu

Kısıt kümesi X, tüm olası tasarım seçeneklerini ve maliyet fonksiyonu f (x) sistem performansını ölçer.

$\min_{x \in X} f(x)$

Problemin çözümü için iteratif yöntemler kullanılarak en iyi yaklaşımlarla optimal şartlarda en iyi noktalar belirlenir (Hooke, R. ve Jeeves, T., 1961).



Şekil 3.6. Yazılım yapısı

Bu çalışmada, maliyet fonksiyonunu minimum yapan PV eğim açısı belirlenmiştir. Optimizasyon bir yıllık simülasyon sonuçlarına dayanmaktadır. Sisteme ait optimizasyon parametreleri Çizelge 3.5.'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Optimizasyon parametreleri

		Kollektör Eğim Açısı,°
Sürekli Değişkenler	İlk değer	40
	Min. Değer	0
	Mak. Değer	90
	Adım değeri	5

4. EKONOMİK ANALİZ

Güneş enerjisi sistemlerinin maliyet analizinde kullanılan yöntem, her şeyden önce sistemin tüm yaşamı boyunca yaratacağı faydaları göz önünde bulundurmalıdır. Bu tarz sistemlerinin maliyet hesabında iki faktör önemlidir. Bunlardan birincisi, ilk yılda yapılan yakıt tasarrufu ile direkt orantılı olan faktör, ikincisi ise sistem için ilk yatırım, bakım ve işletim gibi artan bakiye ile direkt orantılı olan faktördür.

Güneş sisteminin yıllık hareketinin simülasyonuna dayalı bir yaşam döngüsü maliyeti analizi yapılır. Sermayeyi ve güneş sistemi maliyetlerini, güneş sistemi olmayan bir konvansiyonel sistemin yakıt masrafları ile karşılaştırılır.

Brandemuehl ve Beckmann, güneş enerjili ısıtma sisteminden tüm yaşamı boyunca maliyeti için, bu faktörleri net şimdiki değerleriymiş gibi kullanarak aşağıdaki formülde basit bir kombinasyon yapmışlardır (Brandemuehl ve Beckmann, 1991).

$$LCC = P_1 \left[\int_0^t \dot{C}_{FA}\dot{Q}_{AUX}dt\right] + P_2[C_A A + C_E] \qquad (4.1)$$

$\left[\int_0^t \dot{C}_{FA}\dot{Q}_{AUX}dt\right]$ ilk yıl için toplam yardımcı yakıt maliyetidir.

C_{FA}: anlık yardımcı yakıt fiyatı oranıdır. (dolar/kJ)

Q_{AUX}: yardımcı yakıtın anlık kullanımıdır. (kJ/saat)

t: % olarak yatırımın dolar başına emlak vergi oranıdır.

C_A: kolektör ve depolama ünitesi gibi elemanları da içeren alana bağlı toplam maliyettir.

A: kolektör alanıdır.

C_E: kolektör alanından bağımsız elemanların toplam maliyetidr.

P_1: sistem ömrü boyunca yakıt tasarrufunun birinci yıldaki yakıt tasarrufuna oranıdır.

P_2: ek masrafların ilk yatırıma oranıdır.

P_1 ve P_2 aşağıdaki eşitlikler yardımı ile hesaplanır.

$$P_1 = (1 - C\bar{t})PWF(N_E, i_{FCF}, d) \tag{4.2}$$

$$\begin{aligned} P_2 = {} & D + (1 - D)\frac{PWF(N_{min}, 0, d)}{PWF(N_L, 0, m)} \\ & - (1 - D)\bar{t}\left[PWF(N_{min}, m, d)\left(m - \frac{1}{PWF(N_L, 0, m)}\right)\right. \\ & \left. + \frac{PWF(N_{min}, 0, d)}{PWF(N_L, 0, m)}\right] + (1 - C\bar{t})M_s PWF\left(N_E, i_g, d\right) \\ & + t(1 - \bar{t})VPWF\left(N_E, i_g, d\right) - \frac{C\bar{t}}{N_D}PWF(N'_{min}, 0, d) - \frac{SAL}{(1 + d)^{N_E}} \end{aligned} \tag{4.3}$$

$$PWF(a, b, c) = \begin{cases} \dfrac{1}{c - b}\left[1 - \left(\dfrac{1 + b}{1 + c}\right)^a\right] & if\ b \neq c \\ \dfrac{a}{(b + c)} & if\ b = c \end{cases} \tag{4.4}$$

Tasarlanan sistem için LCC aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned} \mathrm{LCC} = {} & \mathrm{P_1}\left[\int_0^t \dot{\mathrm{C}}_{\mathrm{FA}}(\mathrm{P_L} - \mathrm{P_{max}})\mathrm{dt}\right] + \mathrm{P_2}\left[(\mathrm{V_{MPP}A_{MPP}N_S N_P NC_{PV}} + \mathrm{NP_{imax}C_{iNV}}) + \right. \\ & 0.15(\mathrm{V_{MPP}A_{MPP}N_S N_p NC_{PV}} + \mathrm{NP_{imax}C_{iNV}}) + 0.004(\mathrm{V_{MPP}A_{MPP}N_S N_p NC_{PV}} + \\ & \left. \mathrm{NP_{imax}C_{iNV}})\right] \end{aligned} \tag{4.5}$$

Bu eşitlikte P_L-P_{max}, Q_{AUX} tekabül etmektedir. Şebekeden kullanılacak elektrik miktarını belirtmektedir.

$\mathrm{C_{PV}} + \mathrm{C_{PiNV}} = (\mathrm{V_{MPP}A_{MPP}N_S N_p NC_{PV}} + \mathrm{NP_{imax}C_{iNV}})$ terimi PV dizi ve inverter maliyetidir.

$C_{M,B} = 0.15(V_{MPP}A_{MPP}N_SN_pNC_{PV} + NP_{imax}C_{iNV}$ terimi mekanik kısım, bağlantılar, kurulum vs. kısmının maliyetidir.

$C_i = 0.004(V_{MPP}A_{MPP}N_SN_pNC_{PV} + NP_{imax}C_{iNV}$ terimi sistemin işletme maliyetidir. Çizelge 4.1.'de ekonomik analizde kullanılan parametreler verilmiştir.

Çizelge 4.1. Ekonomik analizde kullanılan parametreler

Parametre	**Açıklama**	**Değer**
C	Ticari olmayan	0
$\boldsymbol{C_{PV}}$	Güneş pili modül fiyatı ($/W)	3.5
$\boldsymbol{C_{İNV}}$	İnveter fiyatı ($/W)	0.721
$\boldsymbol{\dot{C}_{FA}}$	Elektrik fiyatı oranı ($/kW)	0.14
$\boldsymbol{\bar{t}}$	Efektif Federal-Devlet gelir vergisi oranı (%)	45%
T	Orijinal yatırımın dolar başına gerçek emlak vergisi oranı (%)	2%
$\boldsymbol{N_E}$	Ekonomik analiz periyodu (yıl)	20
$\boldsymbol{i_{FCF}}$	Konvansiyonel yakıt enflasyon oranı (%/yıl)	9.5% yıllık
$\boldsymbol{i_g}$	Genel enflasyon oranı (%/yıl)	10% yıllık
D	Market indirim oranı (%)	8% yıllık
D	Toplam sistem yatırımı için peşinatlar oranı	0.1
M	Mortgage faiz oranı (%/yıllık)	9% yıllık
$\boldsymbol{M_S}$	Bir yıllık extra sigorta, bakım, vs.	1%
SAL	İlk yatırım için hurda değeri oranı	0.4
V	Ilk yıl için güneş enerjisi sistemi değerlendirmesinin sistemin ilk yatırımına oranı	1.0

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

5.1. Sonuçlar

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

TRNSYS17→GenOpt→Hooke-Jeeves belirlenen optimizasyon sonuçları Şekil 5.1.'de verilmiştir.

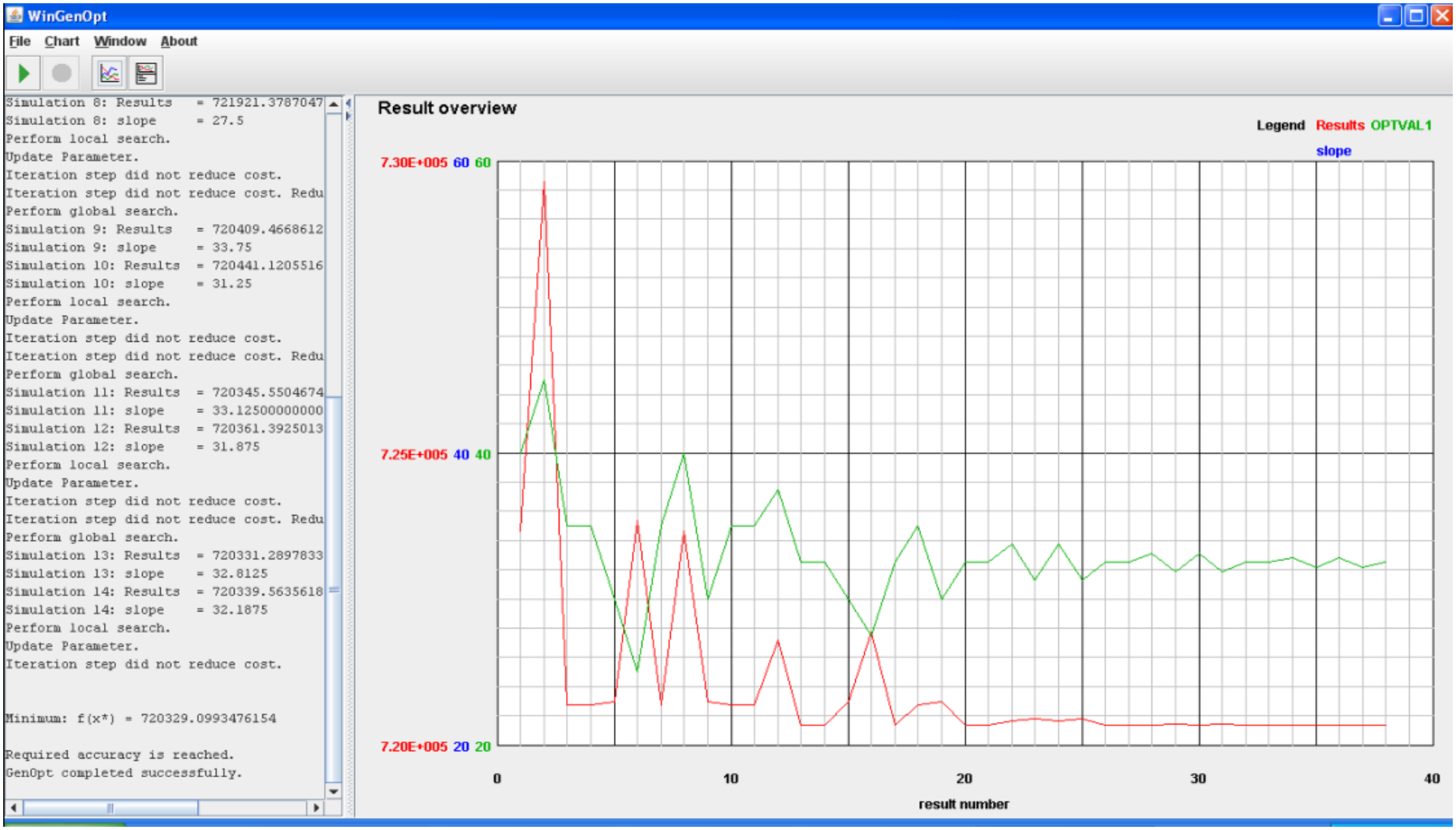
Şekil 5.1.'den görüldüğü üzere, güneş enerjisinden elektrik üreten sistemin tüm yaşamı boyunca maliyeti LCC=720329.099 $ olarak belirlenmiştir. Sistem için optimum PV panel eğim açısı β ise 32.5˚ bulunmuştur. Sistemde optimum eğim açısı 33˚ alınarak simülasyon yapılmıştır.

Maksimum güç noktasındaki üretilen gücün, fotovoltaik paneller üzerine gelen toplam ışınımına oranına sistemin verimi denir ve

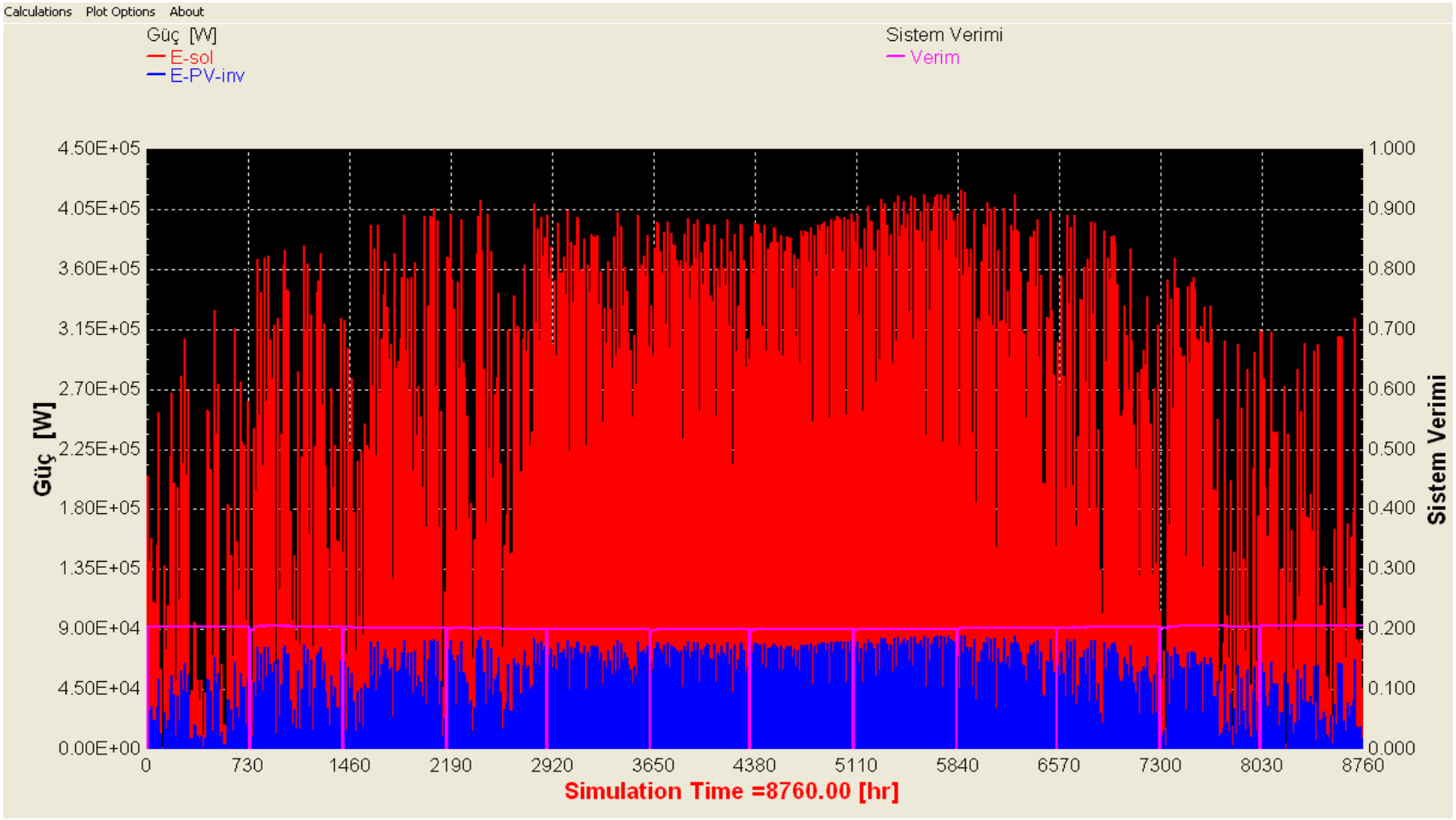
$$\eta_{sis} = \frac{P_{max}}{I_{TT}} \tag{5.1}$$

şeklinde formüle edilebilir.

Optimum PV panel eğim açısında, PV panellerine gelen toplam ışınım, PV-İnverter sisteminden elde edilen toplam güç ve sistem veriminin yıl içindeki dağılımı Şekil 5.2.'de verilmiştir.

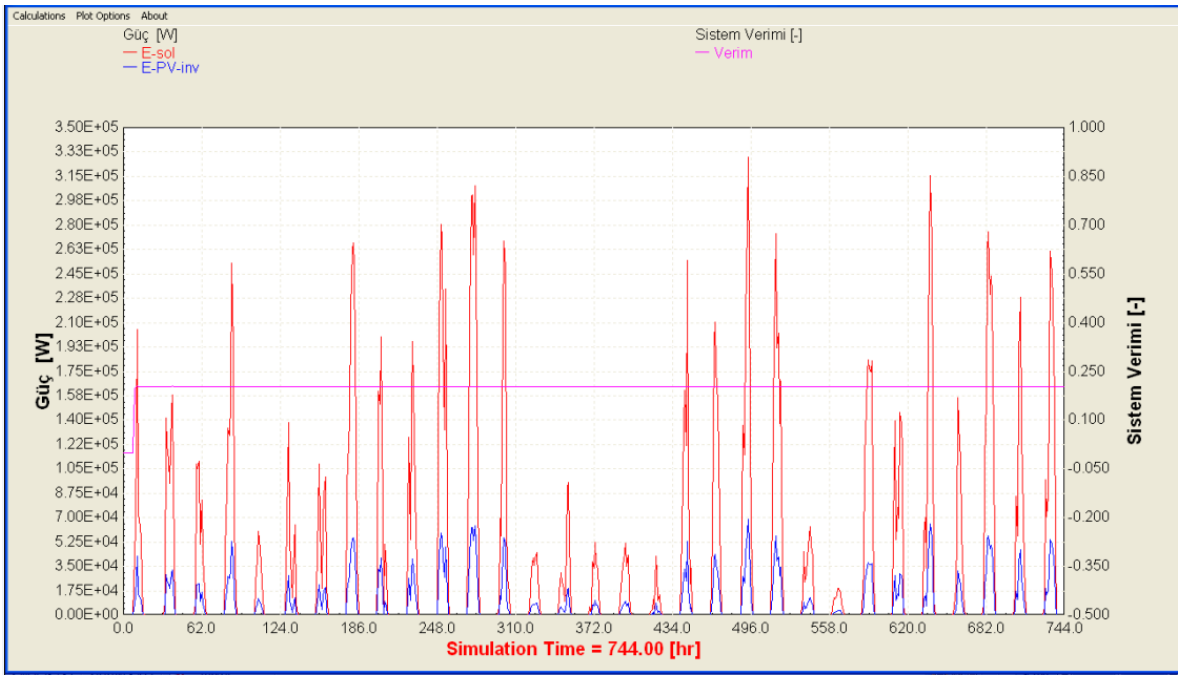


Şekil 5.1. Optimizasyon sonuçları



Şekil 5.2. Yıllık simülasyon sonuçları

Yıl içinde en düşük ışınım değerinin olduğu Ocak ayı için güneş enerjisinden sağlanan güç, PV sisteminden sağlanan güç ve sistem verimi Şekil 5.3. verilmiştir. Güneş enerjisi ve elektrik üretiminin sıfır olduğu değerler gece saatleri içindir.



Şekil 5.3. Ocak ayı için simülasyon sonuçları

Genel olarak güneş enerjisinden elektrik üreten PV sisteminden aylık faydalanma oranı f, maksimum güç noktasında sistemden sağlanan gücün aylık toplam elektrik yüküne oranı olarak Eşitlik 5.2.'de tarif edilmiştir.

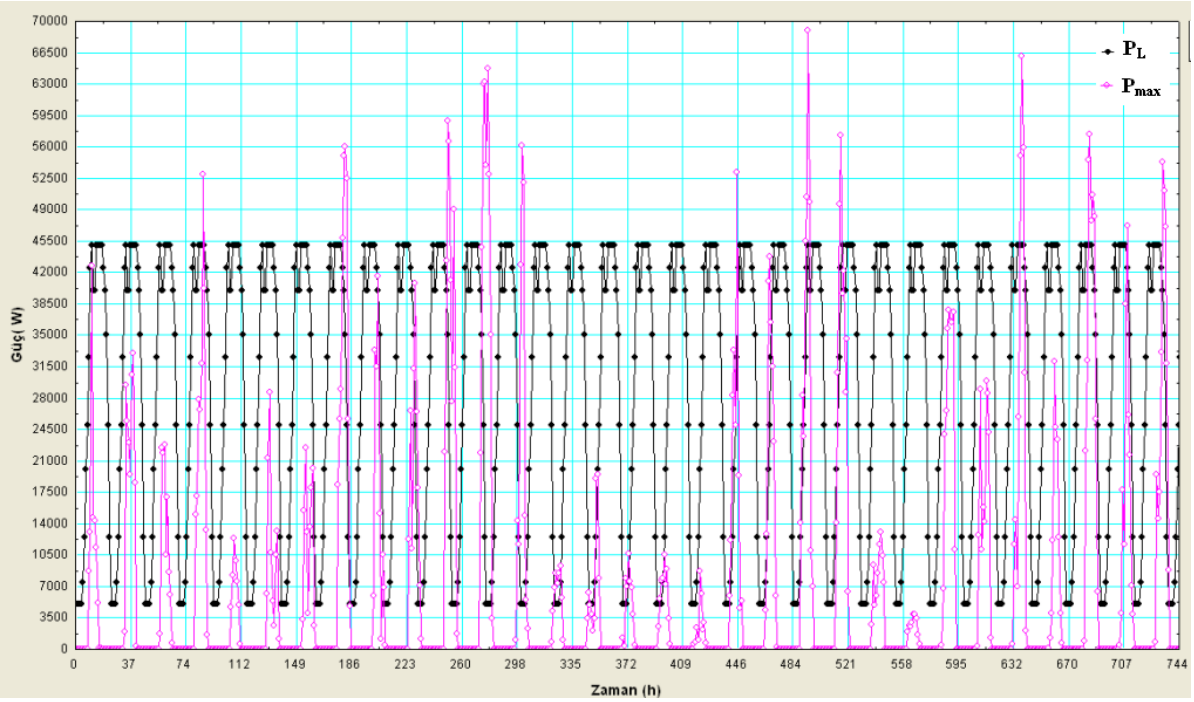
$$f = \frac{P_{max}}{P_L} \tag{5.2}$$

Sistemde Ocak ayı için faydalanma oranı

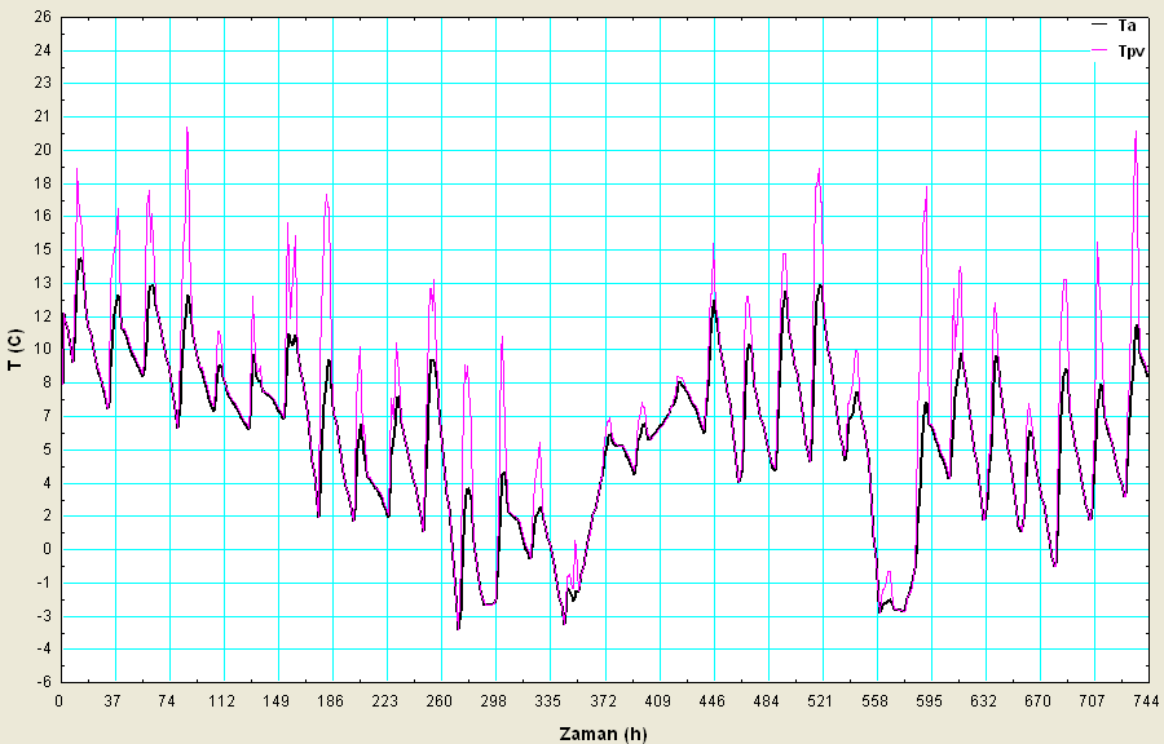
f_{oc} = 5401836.89/21370000.00= 0.25

olarak hesaplanmıştır.

Şekil 3.2.'de günlük elektrik ihtiyacı saat bazında ifade edilmişti. Buna göre en fazla elektrik ihtiyacı saatte 45 kW olarak belirlenmişti. Şekil 5.4.'de Ocak ayı için gerekli elektrik yükü ve maksimum güç noktasında sistemden sağlanan elektrik yükünün değişimi verilmiştir. PV sisteminden sağlanan gücün elektrik ihtiyacını karşılayamadığı zamanlarda elektrik ihtiyacı şebekeden karşılanacaktır.



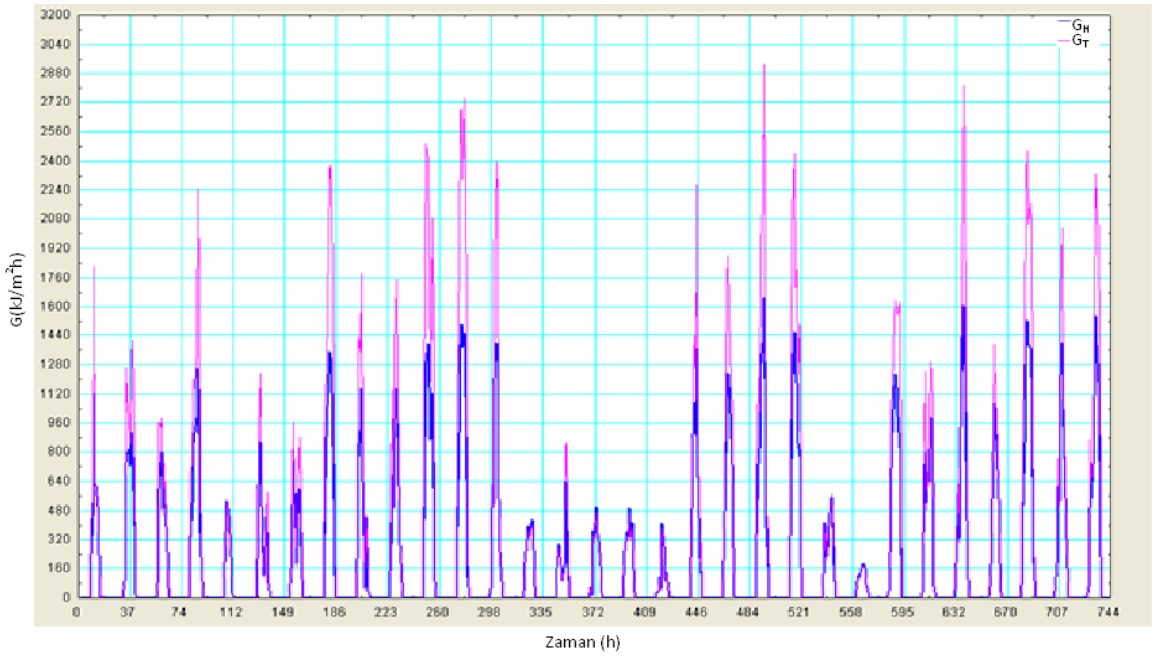
Şekil 5.4. Ocak ayında elde edilen gücün saatlere bağlı değişimi



Şekil 5.5. Ocak ayı için dış hava ve PV panelinin sıcaklık değişimi

Şekil 5.5.'te verilen dış hava ve PV panelinin sıcaklık eğrileri birbiriyle uyumlu olarak azalıp, artmaktadır. PV panelinin sıcaklık değeri, en yüksek günlük sıcaklık ve ışınımın olduğu öğle saatlerine denk gelmektedir.

Şekil 5.6.'da Ocak ayı için PV paneli üzerine gelen ışınım ve yatay yüzeye gelen ışınımın değişimi verilmiştir. G_H yatay yüzeye gelen ışınım, G_T ise 33˚ eğimli PV panel üzerine gelen ışınımdır.



Şekil 5.6. Ocak ayında ışınım değerlerinin saatlere bağlı değişimi

En yüksek ışınım değerinin olduğu Temmuz ayı için sistemin gücü Şekil 5.7.'de saat bazında değişimi verilmiştir.

Şekilden görüldüğü üzere güneş enerjisinden karşılanan güç miktarı oldukça yüksektir. Buna bağlı olarak inverter gücü daha kararlıdır ve şebekeden karşılanacak elektrik enerjisi ihtiyacı oldukça azdır.



Şekil 5.7. Sistem gücünün Temmuz ayında değişimi

Şebekeye bağlı güneş enerjisinden elektrik üretimi sisteminden faydalanma oranının aylara göre değişimi Şekil 5.8.'de verilmiştir. En yüksek faydalanma oranı Temmuz ayında %87 olarak belirlenmiştir. En düşük faydalanma oranı ise Ocak ayında %25 olarak belirlenmiştir.

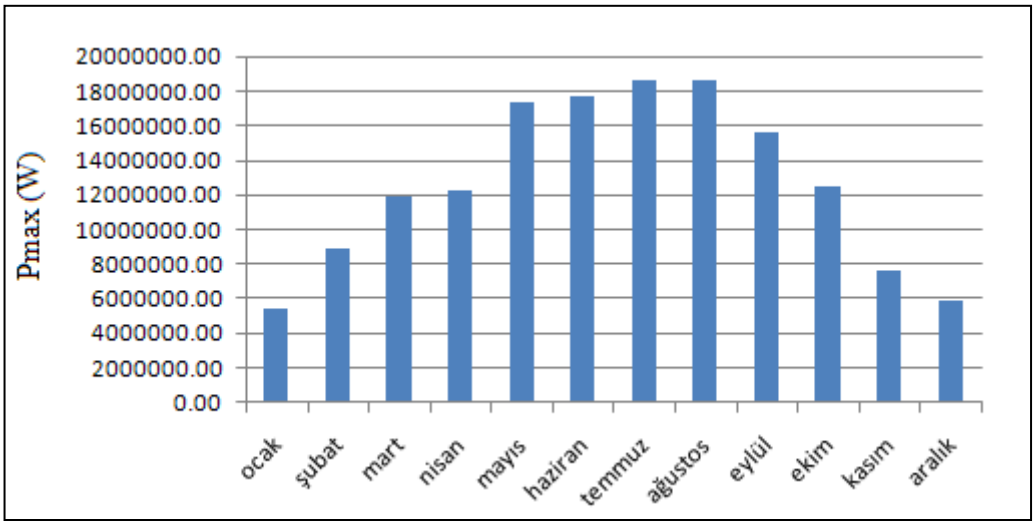
Temmuz ayı faydalanma oranı

f_{tem} = 18666928.93/21380000.00= 0.87 ve

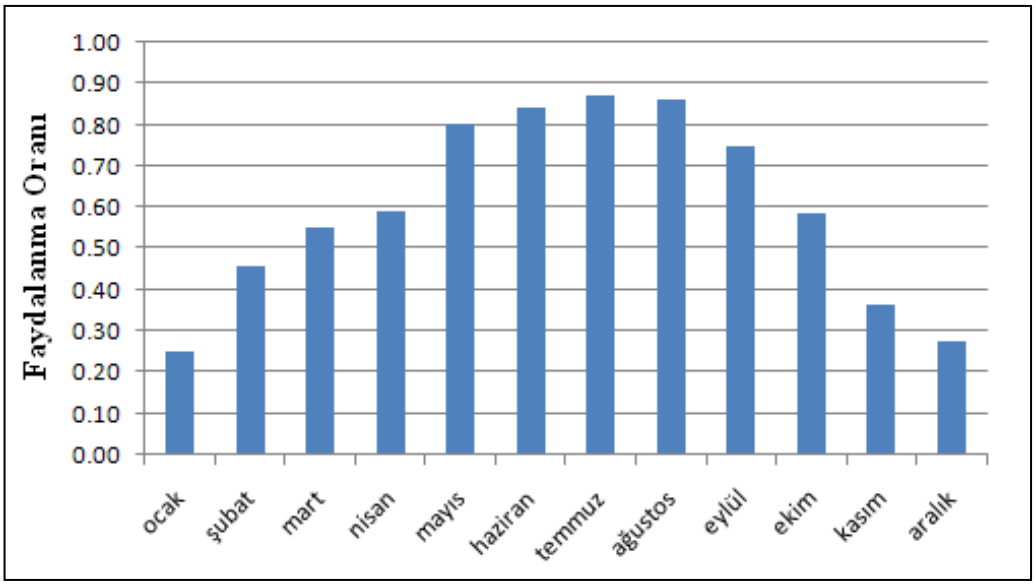
Ağustos ayı faydalanma oranı

$f_{ağ}$ = 18570265.58/21537500.00= 0.86

olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.8. Maksimum güç noktasında elde edilen güç miktarının aylara bağlı değişimi



Şekil 5.9. Sistemden faydalanma oranının aylara bağlı değişimi

Güneş enerjisinden elektrik üreten PV sisteminden yıllık faydalanma oranı F Eşitlik 5.3.'de verilmiştir.

$$F = \frac{\sum_{n_1}^{n_{12}} P_{max}}{\sum_{n_1}^{n_{12}} P_L} \tag{5.3}$$

Sistemde yıllık elektrik yükü 253.2975 MW, üretilen elektrik 152.3812 MW'tır. Güneş enerjisinden elektrik üreten sistemde yıllık faydalanma oranı % 60 olarak belirlenmiştir. Yıllık faydalanma oranı olarak % 60 iyi bir değerdir ancak sistem hakkında karar verirken aylara göre faydalanma oranları önem kazanmaktadır. Güneş ışınımın en düşük olduğu zaman kış aylarından ocak ayıdır. Bu ay için 21.370 MW elektrik ihtiyacına karşılık, 5.4018 MW enerji üretilebileceği hesaplanmıştır.

Tasarlanan sistemin geri ödeme süresi (5.4) Eşitliği ile verilebilir (Duffie ve Beckmann, 1991).

$$n_p = \frac{\ln\left[\frac{C_S(i_F - d)}{FP_L C_F} + 1\right]}{\ln\left[\frac{1 + i_F}{1 + d}\right]} \tag{5.4}$$

Sisteme ait ekonomik değerler Çizelge 5.1.'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Ekonomik değerler

C_{PV}	Güneş pili modül fiyatı, $	157848.6
$C_{İNV}$	İnverter fiyatı, $	32805.5
$C_{M,B}$	Mekanik kısım bağlantılar vs.,$ $(C_{PV} + C_{\text{İ}NV}) * 0.15$	28598.115
C_S	Toplam maliyet, $	219252.215
$C_{\text{İ}}$	İşletme maliyeti, $ $C_S * 0.004$	124
P_L	Yıllık gerekli elektrik yükü, kW	253297.5
n_p	Sistemin geri ödeme süresi, yıl	10
LCC	PV sisteminin 20 yıllık ömrü boyunca maliyeti, $	720329.099

Sisteme ait genel sonuçlar Çizelge 5.2.'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Sisteme ait genel sonuçlar

Tanımlama	**Gösterim**	**Değer**
Dizi içindeki paralel modül sayısı	N_p	7
Dizi içindeki seri modül sayısı	N_s	5
Dizi sayısı	N	13
Toplam inverter sayısı		13
Optimum kolektör eğim açısı	β	32.5^o
Optimum kolektör eğim açısına bağlı fotovoltaik sistemin ömür boyu maliyeti	LCC	720329.099 $
Sistem verimi	η_{sis}	% 20
Sistem geri ödeme süresi	n_p	10 yıl
Yıllık faydalanma oranı	F	%60

5.2. Değerlendirme

Bu projede, güneş enerjisinden elektrik üreten sistem tasarımı yapılmıştır. Sistemin geri ödemesi 10 yıl olarak hesaplanmıştır. Kış aylarında elektrik kullanımı fazla fakat güneş ışınımı daha az olduğu için yaz aylarına göre elektrik üretimi daha azdır. Yaz aylarında ise elektrik kullanımı azalmakta fakat güneş ışınımı daha fazla olduğu için elektrik üretimi fazladır.

TRNSYS simülasyon programı kullanılarak optimum sistem tasarımı yapılmıştır. Güneş enerjisinden elektrik üreten sistemin tüm yaşamı boyunca maliyeti LCC=720329.099 $ olarak belirlenmiştir. Sistemin toplam ilk yatırım maliyeti 219252.215 $'dır. Sistem için optimum PV panel eğim açısı β ise 32.5˚ bulunmuştur. Sistemde optimum eğim açısı 33˚ alınarak simülasyon yapılmıştır.

Sistemde elektrik depolanmamaktadır. Yıllık elektrik yükü 253.2975 MW, üretilen elektrik 152.3812 MW'tır. Elektrik ihtiyacının karşılanamadığı durumlarda şebekeden elektrik alınmaktadır. Özellikle yaz ayları olmak üzere üretilen elektriğin fazlasının satılması ise sistemin ekonomikliğini artıracaktır. Bunun için şebekeye satılabilecek elektrik miktarı hesaplanmıştır.

Şebekeye satılabilecek yıllık elektrik yükü 69.717 MW'tır. Şebekeden alınması gereken elektrik miktarının ise yıllık 170.63 MW olduğu hesaplanmıştır.

Buna göre satın alınan elektriğin % 41'i şebekeye tekrar satılabilmektedir. Bu oran oldukça yüksektir ve değerlendirilmelidir.

Ayrıca bu çalışmada analizi yapılan sistem olmadan, kampüsün şimdiki elektrik şebekesine bağımlı durumunda 20 yıl için maliyeti hesaplandığında LCC=786468.4737$ olarak bulunmuştur (gerekli elektrik yükü direkt elektrik şebekesinden karşılandığında). İlk kurulum masrafları olmamasına rağmen tasarlanan sistemden daha masraflı olduğu görülmektedir.

Ülkemizde elektrik üretimi en fazla doğalgaz ile yapılmaktadır. Ancak çevreye zararı ve dış kaynaklara olan ihtiyaç dikkate alındığında olumsuzluklar görülmektedir.

Yapılan çalışmada, sistemdeki işletme maliyetlerinin düşüklüğü artık ülkemizde enerji sektöründe ciddi reformlar yapılması gerektiğini göstermektedir.

Yenilenebilir enerji ve özellikle güneş enerjisinden elektrik üretimi konusunda ülkemizde ar-ge'den üretime, üretimden de sistem uygulamalarına geçiş yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

Amrouche, S.O., Belhamel, M., Malek, A., Maafi, A., 2000, 'DC/AC Solar inverter for solar applications', World Renewable Energy Congress VI.

Arruda Lima, J.B., 2006, 'Optimization of tank and flate-plate collector of solar water heating system for single-family households to assure economic efficiency through the TRNSYS program', Renewable Energy, 31, 1581-1595.

Boztepe, M., 2009, EES 487 Yeni Enerji Kaynakları.

Bulut H., vd., 1999, Güneş Günü Sempozyumu '99-028 Kayseri, 'Bazı iller için güneş ışınım şiddeti, güneşlenme süresi ve berraklık indeksinin yeni ölçümler ışığında analizi'.

Chow, T.T., 2010, 'A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology', Applied Energy, 87, 365-379.

Coventry, J.S., Lovegrove, K., 2003, 'Development of an approach to compare the value of electrical and thermal output from a domestic PV/thermal system', Solar Energy, 75, 63-72.

Çıtıroğlu, A., 2004, 'Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi', Mühendis ve Makine Cilt 41 Sayı 485.

Duffie, J., Beckmann, W., "Solar Engineering of Thermal Processes", John Wiley&Sons, New York, 1991.

Durisch, W., Struss, O., Robert, K., 2000, 'Efficiency of selected photovoltaic modules under varying climatic conditions', World Renewable Energy Congress VI.

Hooke, R., Jeeves, T. A.,"Direct Search' solution of Numerical and Statistical Problems", Journal of the Association for Computing Machinery, 8(2), 212-229, 1961.

Kwan, K.L., Kwan, T.J., 2011, 'The financials of constructing a solar PV for net-zero energy operations on college campuses', Utilities Policy, 226-234.

Li, S., Haskew, T.A., Li, D., Hu, F., 2011, 'Integrating photovoltaicand power converter characteristics for energy extraction study of solar PV systems', Renewable Energy, 36, 3238-3245.

Li, Z., Boyle, F., Reynolds, A., 2011, 'Domestic application of solar PV systems in Ireland: The reality of their economic viability', Energy, 36, 5856-5876.

MMO, 21-22 Ekim 2011, 'Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Sonuç Bildirgesi'

Öztürk, H., 2008, Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Birsen Yayınevi.

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

Quesada, B., Sanchez, C., Canada, J., Royo, R., Paya, J., 2011, 'Experimental results and simulation with TRNSYS of a 7.2 kWp grid connected photovoltaic system', Applied Energy, 88, 1772-1783.

Silvestre, S., "Review of system design and sizing tools', Practical handbook of Photovoltaics; Fundamentals and Application, Universidad Politecnica de Catalunya, Barcelona, Spain.

TRNSYS 17, programı kütüphanesi.

Ulleberg, O., Morner, S.O., 1997, 'TRNSYS Simulation models for solar-hydrogen systems', Solar Energy, 59, 271-279.

Üçgül, İ., Şenol, R., Acar, M., 2006, 'Güneş Pillerinin Dünü, Bugünü ve Geleceğe Bakış', Mühendis ve Makine Cilt 47 Sayı 560.

World Energy Council, 2004, 'Solar Energy', Survey of Energy Resources.

Yeşilata, B., Mutlu, İ. H., Aktacir, M. A., 2006, 'Fotovoltaik Güç ve Harran Üniversitesi Temiz Enerjili Kampüs Entegre Projesi-1: Stratejik Esaslar'.

Zahedi, A., 2011, 'Maximizing solar PV energy penetration using energy storage technology', Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 866-870.

ÖZGEÇMİŞ

1973	İstanbul'da doğdu.
1984-1991	Kadıköy Anadolu Lisesi
1991-1995	İTÜ Makine Mühendisliği, Lisans
1995-1997	Korun Yangın ve Güvenlik A.Ş.
1997-1998	EEC Kontrol ve Otomasyon Sistemleri A.Ş.
1998-1999	Güven Mühendislik Elektromekanik Sistemler Ltd. Şti.
2008-2012	TÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Anabilim Dalı, Yüksek Lisans