

T.C  
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

**GÜNEŞ ENERJİSİ ÇATI UYGULAMALARI İÇİN BİR  
MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİSİ**

Yüksek Lisans Tezi

Tezi Hazırlayan:

**Nurhan HEDEF**

İstanbul, 2018

T.C  
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

**GÜNEŞ ENERJİSİ ÇATI UYGULAMALARI İÇİN BİR  
MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİSİ**

Yüksek Lisans Tezi

Tezi Hazırlayan:

**Nurhan HEDEF**

Öğrenci No:

150892009

Danışmanlar:

Yrd. Doç. Dr Ümit TERZİ

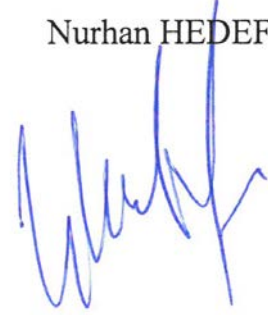
Yrd. Doç. Dr. Kenan ŞENTÜRK

İstanbul, 2018

## YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “**Güneş Enerjisi Çatı Uygulamaları İçin Bir Matematiksel Model Önerisi**” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmamın içinde kullanıldıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım 16.02.2018

Nurhan HEDEF



T.C.  
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ SAVUNMA SINAVI SONUÇ TUTANAĞI

Beykent Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

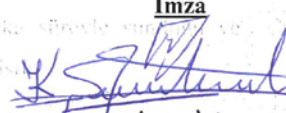


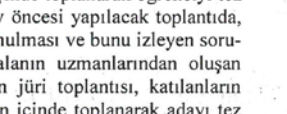
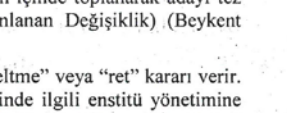
Aşağıda tez adı belirtilen yüksek lisans öğrencisi 150892009 no'lu NURHAN HEDEF'in 16/02/2018 tarihinde yapılan tez savunma sınavı<sup>1</sup> sonucunda 60 dakika süreyle sunduğu ve savunduğu tezi hakkında<sup>2</sup> oybirliği / oyçokluğu ile, kabul kararı verilmiştir.

Bilgilerinize saygılarımızla arz ederiz.

---

**Anabilim Dalı** : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ  
**Programı** : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ  
**Tez Başlığı<sup>3</sup>** : Güneş Enerjisi Çatı Uygulamaları İçin Bir Matematiksel Model Önerisi

---

<u>Tez Sınav Jürisi</u>	<u>Öğretim Üyesi</u>	<u>İmza</u>
<b>Danışman</b> : Yrd. Doç. Dr. Ümit TERZİ		
<b>Eş Danışman</b> : Yrd. Doç. Dr. Kenan ŞENTÜRK		
<b>Üye</b> : Prof. Dr. Kazım SARI		
<b>Üye</b> : Yrd. Doç. Dr. Didem YILMAZ ( İstanbul Gelişim Üniversitesi)		
<b>Üye</b> : Yrd. Doç. Dr. A. Yekta KAYMAN (Doğuş Üniversitesi)		

<sup>1</sup> Jüri üyeleri, söz konusu tezin kendilerine teslim edildiği tarihten itibaren en geç bir ay içinde toplanarak öğrenciyi tez sınavına alır. Tez savunma sınav süresi en az 45, en çok 90 dakikadır. Jüri üyeleri, sınav öncesi yapılacak toplantıda, kendi aralarından danışman dışında bir üyeyi başkan seçer. Tez sınavı, tez çalışmasının sunulması ve bunu izleyen soru-cevap bölümünden oluşur. Tez sınavı, öğretim elemanları, lisansüstü öğrenciler ve alanın uzmanlarından oluşan dinleyicilerin katılımına açık ortamlarda gerçekleştirilir. Belirlenen günde yapılamayan jüri toplantısı, katılanların hazırladığı bir tutanakla enstitü yönetimine bildirilir. Bu durumda, jüri en geç on beş gün içinde toplanarak adayın tez savunma sınavına alır. (05 Ağustos 2017 tarihli 30145 sayılı Resmî Gazetede Yayınlanan Değişiklik) (Beykent Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği-Madde 29-3)

<sup>2</sup> Tez sınavının tamamlanmasından sonra jüri, tez hakkında salt çoğunlukla "kabul", "düzeltme" veya "ret" kararı verir. Jüri başkanı, jüri üyelerince imzalanmış karar tutanağını, tez sınavını izleyen üç gün içinde ilgili enstitü yönetimine teslim eder. Tezi hakkında düzeltme kararı verilen öğrenci en geç üç ay içinde gerekli düzeltmeleri yaparak ve birinci fıkradaki usule göre tezini aynı jüri önünde yeniden savunur. Süresi içerisinde "düzeltme" savunmasına girmeyen öğrencinin enstitü ile ilişkisi kesilir. (Beykent Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği-Madde 29-4)

<sup>3</sup> İleride doğabilecek aksaklıkların engellenmesi için tezin başlığının yazılması gerekmektedir.

## TEŐEKKÜRLER

Danışmanlarım Yrd. Doç. Dr. Ümit TERZİ ve Yrd. Doç. Dr. Kenan ŞENTÜRK'e tüm araştırma boyunca rehberlikleri, tavsiyeleri, tenkitleri, ve destekleri için teşekkür ve Őükranlarımı sunarım.

Teknik verilerde yardımları için Gencay KISA'ya, lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca her zaman yardımlaşarak bana destek olan Buket KÜYÜK'e, tüm tez sürecinde manevi desteklerini sabırla hiç eksik etmeyen babam İbrahim HEDEF başta olmak üzere sevgili aileme, kişisel ve profesyonel olarak hayatımın her anında bana yol gösteren, bu süreçte desteğini en güzel şekilde ifade ederek daima yanımda olan Ufuk TURHAN'a teşekkür ve Őükranlarımı sunarım.

**Nurhan HEDEF**

Adı Soyadı : Nurhan HEDEF  
Danışmanları : Yrd. Doç. Dr. Ümit TERZİ  
Yrd. Doç. Dr. Kenan ŞENTÜRK  
Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans Tezi, 2018  
Alanı : Endüstri Mühendisliği  
Anahtar Kelimeler : Enerji, yenilenebilir enerji, güneş enerjisi, fotovoltaik sistemler, çatı sistemleri, optimizasyon, doğrusal programlama,

## ÖZ

### GÜNEŞ ENERJİSİ ÇATI UYGULAMALARI İÇİN BİR MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİSİ

Enerji ulusal refahın artırılarak, gelişmişlik düzeyinin belirli aşamaya getirilmesi, küresel rekabet alanında söz sahibi olunabilmesi açısından en önemli faktörlerden biri olarak gösterilmektedir. Bu nedenle ihtiyaçlar doğrultusunda enerji kaynaklarının verimli kullanımı artırılmalıdır.

Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça zengin bir ülkedir. Güneş bu kaynakların en önde gelenidir. Büyük güneş enerjisi üretim santrallerinin olduğu gibi artık bireysel tüketicinin ihtiyacına yönelik üretim yapılması için de gerekli yönetmelikler getirilmiş ve uygulanmaya başlanmıştır. Bireysel ev tipi çatı güneş sistemleri uygulamalarıyla enerjisini karşılamak isteyen tüketiciler, bir karar destek sistemine ihtiyaç duymaktadırlar. Bu tez kapsamında bireysel ya da kurumsal ihtiyaçları için, binaların çatılarında güneş enerjisi sistemi kurmak isteyen tüketicilerin ya da karar vericilerin kullanabilecekleri bir karar destek sistemi önerilmektedir. Böylece, bireysel kullanıcılar; kurulu gücünü karşılayabilecek, alana en uygun sistem eleman seçimini yapabilecek bu karar destek sistemi ile hedeflediği güneş enerjisi sistemine ulaşabileceklerdir.

Name Surname : Nurhan HEDEF  
Advisor : Asst. Prof. Dr. Umit TERZI  
Asst. Prof. Dr. Kenan ŞENTURK  
Type and Date : Master's Thesis, 2018  
Scope : Industrial Engineering  
Keywords : Energy, renewable energy, solar energy, photovoltaic systems,  
optimization, linear programming, rooftop solar systems

## **ABSTRACT**

### **A MATHEMATICAL MODEL SUGGESTION FOR SOLAR ENERGY ROOF APPLICATIONS**

Energy is shown as the most important factor in terms of being able to have a global competitive area, increasing national prosperity and bringing the level of development to a certain stage. In order to meet these needs, the use of energy resources should be increased.

Turkey is a very rich country in terms of renewable energy sources. The sun is at the forefront of these sources. Regulations have been introduced and started to be applied to the production network for the needs of the more individual consumers as well as the production plants of the big solar energy. Consumers who want to meet the energies with the applications of individual domestic roof solar systems need a decision support system. In this thesis, a decision support system is suggested for consumers or decision makers who want to install a solar energy system in the roofs of buildings for individual or institutional needs. By this way individual users will be able to reach the solar energy system they aim with this decision support system which can meet the installed power and can make the system element selection that is most suitable for the area.

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No.

<b>ÖZ</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	v
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	vi
<b>KISALTMALAR</b> .....	vii
<b>1.GİRİŞ</b> .....	1
<b>2..... YENİLENEBİLİR ENERJİ VE GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ</b> .....	3
2.1. Fotovoltaik Sistemler .....	4
2.2. Modern Fotovoltaik Sistemlerin Çalışma Prensibi .....	7
2.3. Dünya’da Fotovoltaik Sistemlerin Potansiyeli.....	10
2.4. Türkiye’de Güneş Enerjisi Sistemleri ve Önemi.....	12
2.5. Fotovoltaik Sistemlerin Çatı Uygulamalarındaki Özellikleri.....	15
2.6. Lisanssız Güneş Enerjisi Sistemleri Mevzuatı ve Başvuru Yol Haritası .....	17
<b>3. OPTİMİZASYON VE ENERJİ SEKTÖRÜNDEKİ UYGULAMALARI</b> .....	19
3.1. Optimizasyon Yöntemleri .....	20
3.1.1. Kesin Çözüm Veren Algoritmalar .....	22
3.1.2. Doğrusal Programlama .....	22
3.2. Doğrusal Programlama Modeli Ve Çözüm Yöntemleri.....	23
3.2.1. Dinamik Programlama.....	25
3.2.2. Dal-sınır Programlama .....	25
3.2.3. Yaklaşık Yöntemler .....	26
3.2.4. Sezgisel Algoritmalar .....	26
3.3. Enerji Sektöründe Optimizasyon.....	26
<b>4. ÇATI TİPİ GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEM KURULUM OPTİMİZASYONU</b> .....	28
4.1. Çatı Tipi Güneş Enerjisi Sistemleri.....	28
4.1.1. Şebeke Bağlantılı Sistemler (On-Grid).....	28



4.1.2. Şebeke Bağlantısı Olmayan Sistemler (off-grid).....	29
4.2. Çatı Sistemi Kurulumu Hesapları.....	30
4.2.1. Güneş Panelleri.....	30
4.2.2. Evirici .....	32
4.2.3. Akü .....	33
4.3. Çatı Tipi Güneş Enerjisi Sistemlerinin Doğrusal Programlama İle Çözümü.....	33
<b>5. ÖNERİLEN KARAR DESTEK MODELİ.....</b>	<b>34</b>
5.1. Panel .....	34
5.2. Evirici .....	36
5.3. Akü .....	37
5.4. Endüstriyel Yapı Uygulama Modeli.....	39
5.4.1. Panel Kısıtı.....	41
5.4.2. Panel Amaç Fonksiyonu ( Z ).....	42
5.4.3. Evirici Kısıtı.....	43
5.4.4. Evirici Amaç Fonksiyonu .....	44
5.4.5. Akü Kısıtları .....	45
5.4.6. Ana Amaç Fonksiyonu .....	45
5.4.7. Endüstriyel Model Sonucu .....	45
5.5. Ev Tipi Yapı Uygulama Modeli.....	46
5.5.1. Panel Kısıtları .....	48
5.5.2. Panel Amaç Fonksiyonu ( Z ).....	49
5.5.3. Evirici Kısıtı.....	49
5.5.4. Evirici Amaç Fonksiyonu ( Z ).....	50
5.5.5. Akü Kısıtı .....	51
5.5.6. Akü Amaç Fonksiyonu .....	51
5.5.7. Ana Amaç Fonksiyonu .....	51
5.5.8. Ev Tipi Yapı Modeli Uygulama Sonucu .....	52
<b>6. SONUÇ.....</b>	<b>53</b>
<b>7. KAYNAKÇA .....</b>	<b>54</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>62</b>

## TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa No.
<b>Tablo 1.</b> Güneş'in Fiziksel Özellik ve Boyutları .....	4
<b>Tablo 2.</b> Türkiye Bölgelerine Göre Işınım Süreleri .....	13
<b>Tablo 3.</b> Dizi ve Merkezi Evirici Özet Güç Tablosu .....	32
<b>Tablo 4.</b> Panel Model Tablosu .....	43
<b>Tablo 5.</b> Evirici Model Tablosu .....	44
<b>Tablo 6.</b> Akü Model Tablosu .....	45



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No.

<b>Şekil 1.</b> (a) Fotovoltaik Hücre, Modül ve Panel Fotovoltaik Hücre, (b) Modül ve Panel Vektörel Görüntüsü .....	6
<b>Şekil 2.</b> Silisyum Elementinin Özellikleri ve Doğada Bulunduğu Hali .....	7
<b>Şekil 3.</b> Yarı İletken Yapının Elektron Özellikleri .....	9
<b>Şekil 4.</b> Yarı İletken Yapının Yük Geçişi.....	9
<b>Şekil 5.</b> Valans Bandı ve İletkenlik Bandı .....	10
<b>Şekil 6.</b> Dünyada Fotovoltaik (PV) Pazarına Sahip Ülkeler Grafiği .....	11
<b>Şekil 7.</b> 2000-2015 Tarihleri Arası Fotovoltaik Kurulum Gücü Grafiği.....	11
<b>Şekil 8.</b> Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası .....	13
<b>Şekil 9.</b> Türkiye Aylara Göre Güneşlenme Süreleri Grafiği .....	14
<b>Şekil 10.</b> Türkiye’de Yıllara Göre Lisanssız Güneş Enerjisi Kurulu Gücü Grafiği (TÜİK).....	14
<b>Şekil 11.</b> Türkiye’de Lisanssız Güneş Enerjisinin Gelişimi Grafiği .....	15
<b>Şekil 12.</b> Türkiye Güneş Enerjisi Sistemlerinin Özellikleri .....	18
<b>Şekil 13.</b> Optimizasyon Yöntemleri .....	21
<b>Şekil 14 .</b> Enerji Sistemleri Modellerinin Sınıflandırılması .....	27
<b>Şekil 15.</b> Şebeke Bağlantılı (on-grid) Sistem .....	29
<b>Şekil 16.</b> Şebeke Bağlantısı Olmayan (Off-Grid) Sistemler.....	30
<b>Şekil 17.</b> Dikey ve Yatay Panel .....	31
<b>Şekil 18.</b> Çatı Panel Dizilimi .....	31
<b>Şekil 19.</b> Dizi Evirici Modeli.....	33
<b>Şekil 20.</b> Adana İli Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası .....	39
<b>Şekil 21.</b> Endüstriyel Model Çatı Ebatları.....	40
<b>Şekil 22.</b> Ev Tipi Model Çatı Ebatları .....	47

## KISALTMALAR

<b>AC</b>	: Alternatif Akım
<b>DC</b>	: Doğru Akım
<b>EPDK</b>	: Enerji Piyasası Denetleme Kurumu
<b>GEPA</b>	: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
<b>GES</b>	: Güneş Enerjisi Sistemleri
<b>kW</b>	: Kilowatt
<b>kWh</b>	: Kilowatt saat
<b>mW</b>	: Megawatt
<b>Pv</b>	: Fotovoltaik
<b>TEDAŞ</b>	: Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.
<b>TÜİK</b>	: Türkiye İstatistik Kurumu

## 1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji günümüzde giderek artan bir öneme sahiptir. Hem çevreci etkisinden hem de enerji maliyetlerinin yükselmesi nedeniyle yenilenebilir enerji alternatif ve tercih edilen bir enerji kaynağıdır. Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça zengin bir ülkedir. Güneş bu kaynakların en önde gelenidir. Güneş enerjisinin herhangi bir kısıtı olmadan gün içinde her yere güneş ışığının düşmesinden dolayı oldukça kullanılabilir bir enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde de güneşlenme oranlarının yüksek olması nedeniyle güneş enerjisi sistemlerinin tercih edilmesi söz konusudur.

Güneş enerjisi eskiden sadece güneş tarlalarında büyük yatırımlarla üretim yapılabilen bir sistem olmasıyla birlikte günümüzde bireysel kullanıcılar tarafından üretim ya da tüketim amaçlı kullanılmaya başlanması güneş enerjisi sistemlerinin kullanım alanını genişletmiş durumdadır. Bireysel kullanıcılar artık evlerinin çatılarında balkonlarında güneş enerjisi sistemlerini üretim ya da tüketimi karşılamak amacıyla kullanmak istemektedirler.

Bu tez kapsamında bireysel ya da kurumsal olarak binaların çatılarında güneş enerjisi sistemi kurmak isteyen tüketicilerin ya da karar vericilerin bu kuruluşları yaparken yararlanabilecekleri bir karar destek sistemi önerilmektedir. Karar destek sistemi alt yapısında doğrusal programlamadan ve karar vericinin aklına gelebilecek olan çeşitli karar problemlerinden faydalanmaktadır. Bu karar problemi ve doğrusal programlama bileşeni “excel solver” aracı kullanılarak çözülmüştür.

Bu çalışmanın ilk bölümünde; güneş enerjisi ve güneş enerjisi ile ilgili teknolojilerden, dünyada ve ülkemizde güneş enerjisinin öneminden, enerji üretimi için gerekli olan mevzuatlardan bahsedilmektedir. İkinci bölümünde optimizasyon modelleri ve enerji sektöründe optimizasyon uygulamalarının öneminden bahsedilmektedir. Son bölümde ise kullanıcının ihtiyacına yönelik olan çatı uygulamasında gerekli olan güneş enerjisi sistem tasarım elemanlarının seçilmesi, bu

seçimlerin bir karar destek programı ile yapılmasından bahsedilmekte, maliyet optimizasyonları ve güneş enerjisi sistemlerinin çatı kurulumundaki tasarımı yine kullanılan doğrusal programlama ile hesaplanarak anlatılmakta, endüstriyel ve ev tipi olarak örnek uygulamalar ile sunulmaktadır.



## 2. YENİLENEBİLİR ENERJİ VE GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ

Enerji, içinde bulunduğumuz evrenin temel taşlarını oluşturmaktadır. Enerji aynı zamanda medeniyetler arası gelişmişlik ve kalkınmanın da göstergesi haline almıştır.

Sonu olan enerji kaynakları kullanılarak üretim ve tüketimin sağlandığı bu dönemlerde, yenilenemeyecek olan kaynakların kullanımı sonucunda da doğada onarılamayacak tahribat, kirliliğe yol açılmış bulunmaktadır.

Fosil kaynaklarının sınırlı oluşu, üretim süresince meydana gelen çevre kirliliği, insanı farklı alternatifler arar hale getirmiştir.

Çevre kirliliğini minimuma indirerek üretimdeki kaynakların sonlanamayacağı alternatif enerji kaynağı olan 'Yenilenebilir Enerji Kaynakları' ndan olan Güneş Enerjisi de tüm talepleri karşılayarak maksimum verime ulaşabilecek en önemli enerji kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Dünyanın en önemli enerji kaynağı olan Güneş, atmosferdeki fiziksel oluşumları başlıca etkileyen ışınlarla sahiptir. Rüzgar, deniz dalgası, okyanus sıcaklık farkı ve biyokütle enerjisi, güneş enerjisinin etkilerinden dolayı oluşmaktadır. Doğal enerji kaynaklarının pek çoğunun kökenini Güneş enerjisi oluşturmaktadır [1].

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde bulunan Hidrojen gazının Helyuma dönüşmesiyle oluşan füzyonun açığa çıkardığı ışın enerjisi olmaktadır. Güneş'ten çıkan ışın enerjisi yaklaşık  $1370 \text{ W/m}^2$  dir. Yeryüzüne gelen miktarı  $0-1100 \text{ W/m}^2$  aralığındadır. Dünyaya gelen bu ışınlar, tüm dünya canlılarının tüketecekleri enerjiden çok daha fazlasıdır [2].

Güneş enerjisi ışınları yarıçapı 150 milyon kilometredir ve Dünya'ya 8 dakika içinde gelmektedir. Bu uzun yola rağmen yerküre dünya üzerinde bir yılda tüketilen toplam enerjisi 40 dakika içinde Güneş'ten karşılamaktadır. Eski uygarlıkların da güneşe tapma nedenleri güneşin bu olağanüstü gücüdür[3].

Güneş enerjisi ile ilgili çalışmalar 1970 yıllarından sonra başlamış olup, güneş enerjisi ve teknolojileri olarak kullanılması çevreye zararsız bir enerji kaynağı olarak kabullendirilmiştir [4].

**Tablo 1.** Güneş'in Fiziksel Özellik ve Boyutları [5]

<b>GÜNEŞ</b>	
<b>Çap</b>	1.391.980 km ( 109 Dünya çapı )
<b>Kütle</b>	$1.989.100 \times 10^{24}$ kg
<b>Hacim</b>	$1.412.000 \times 10^{12}$ km <sup>3</sup>
<b>Dünya'dan Uzaklık</b>	Minimum 147.100.000 km
<b>Merkez Basıncı</b>	$2,477 \times 10^{11}$ bar
<b>Merkez Sıcaklığı</b>	$1,571 \times 10^7$ K
<b>Merkez Yoğunluğu</b>	$1,622 \times 10^5$ kg/m <sup>3</sup>
<b>Merkez Bileşimi</b>	%35 H, %63 He, %2 C, N, O
<b>Yaşı</b>	$4,57 \times 10^9$ yıl

## 2.1. Fotovoltaik Sistemler

Fotovoltaik sistemler güneşten gelen ışığa enerjisini elektrik akımına dönüştüren sistemlerdir. Fotovoltaik sistemler güneş hücrelerinin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Fotovoltaik hücrelerin yapısında pozitif ve negatif kutuplar bulunmaktadır. Kutuplar arasında bir elektrik alan oluşmaktadır. Hücre yüzeyine düşen ışınların yarı iletken maddeden geçerek kopardığı elektronlar, elektrik alanda elektrik akımına dönüşmektedir.



Fotovoltaik etki 1839 yılında Alexander Becquerel tarafından Platin tabakalar ile yaptığı bilimsel çalışmalar sırasında saptanmıştır.

1873 yılında Willoughby Smith Selenyum'un içindeki fotoiletkenlik durumunu keşfetmiştir. İlk basit fotovoltaik düzenek oluşturulmuştur.

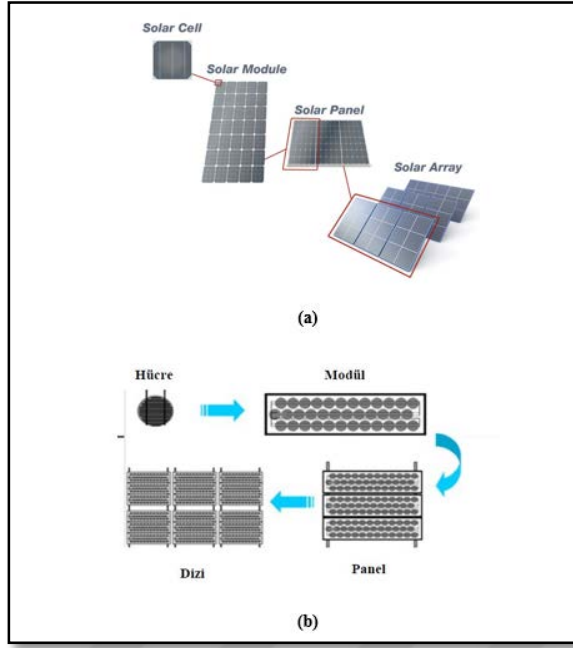
1877 yılında W.G. Adams ve R.E. Day, fotoelektrik olayın katı maddelerde de olabildiğini kanıtlamışlardır.

1883 yılında Charles Fritts, selenyum ile %1 verimli fotovoltaik hücreyi geliştirmiştir.

1946'da Russell Ohl, modern fotovoltaik hücresi patentini almıştır.

Fotovoltaik terimi eski Yunan dilinde ışık anlamına gelen "pos" ve elektriksel gerilimin birimi olan Volt kelimelerinden oluşmaktadır.

Fotovoltaik hücreler diğer adıyla Güneş hücreleri, yüzeyine gelen güneş ışığını direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir. Hücre yüzeyleri dikdörtgen, kare, daire şeklinde olabilen, 100 cm<sup>2</sup> civarı bir alana sahip, 0.1 – 0.4 mm arası hücre kalınlığına sahiptirler. Güç çıkışını artırmak için hücreler birbirine paralel ya da seri bağlanarak yüzeye sabitlenmektedir ve fotovoltaik modül adı verilmektedir[6].



**Şekil 1.** (a) Fotovoltaik Hücre, Modül ve Panel Fotovoltaik Hücre, (b) Modül ve Panel Vektörel Görüntüsü [6]

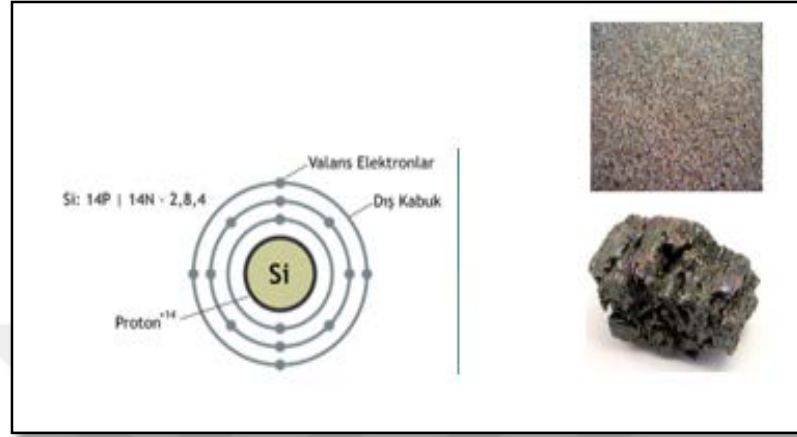
Yarı iletken maddelerden oluşan hücrelerin yapısında genellikle; Silisyum, Galyum Arsenit, Kadmiyum Tellür gibi anorganik maddeler kullanılmaktadır.

**Kristal silisyum:** Kristal Silisyum bloklar halinde ilk olarak büyütülüp sonrasında 200 mikron kalınlık halini alınca ince tabakalar halinde dilimlenerek hücreler oluşturulmaktadır. %24 verim sağlamaktadır. Silisyumun temel kaynağı kum ve topraktır. Dünya üzerinde yeterli miktarda bulunmaktadır.

**Galyum Arsenit:** Diğer yarı iletkenlerle oluşturulmaktadır. %30 civarı bir verim oranı bulunmaktadır. Optik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılmaktadır.

**Amorf Silisyum:** Kristal yapı özelliği bulunmamaktadır. Küçük elektronik cihazlarda kullanılmaktadır. %5.7 arası bir verim sağlamaktadır.

Kadmiyum Tellürid: Çok kristal yapıya sahiptir. %16 civarı bir verim sağlamaktadır [7].



**Şekil 2.** Silisyum Elementinin Özellikleri ve Doğada Bulunduğu Hali [8]

Güneş evrende sürekli bir reaktör gibi çalışarak füzyon tepkimesi açığa çıkarmaktadır. Bu tepkime Güneş'te her an kesintisiz doğal olarak gerçekleşmektedir. Tepkime; Güneşten gelen ısı ve ışık, Hidrojen çekirdeklerinin birleşerek Helyuma dönüşmesi ve bu dönüşüm sırasında kütle kaybından dolayı enerji açığa çıkmasıyla oluşmaktadır. Açığa çıkan bu enerji Foton enerjisidir [9].

Güneş ışınımının da dahil olduğu tüm elektromanyetik radyasyonlar, foton, spektrum değerlerine bağlı olarak enerji taşıyan parçacıklardan oluşmaktadır. Fotonlar ışınım özelliği gösterdiği gibi dalga özelliği de göstermektedirler [10].

## **2.2. Modern Fotovoltaik Sistemlerin Çalışma Prensibi**

Fotovoltaik hücreler yarı iletken yapıdadırlar. Yarı iletken olan bu fotovoltaik hücreler iki katmanlı silisyumdan oluşmaktadır. P tipi taban ve üzerinde N tipi malzeme bulunmaktadır.

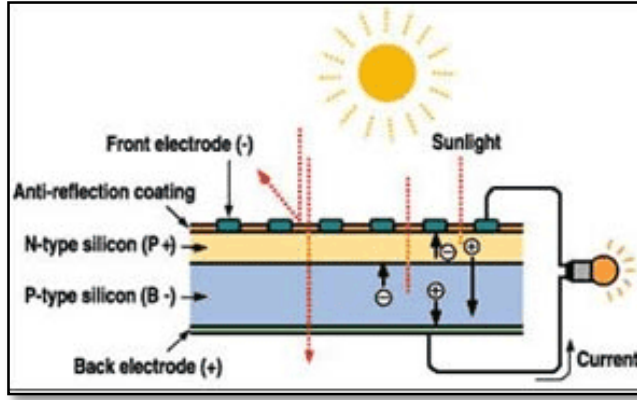
Yarı iletken maddelerin fotovoltaiik yapıda kullanılabilmesi için katkılanması gerekmektedir. Yani elektronların uyarılması gerekmektedir.

Doğada en yaygın bulunan silisyum maddesinden N-tipi (Negatif) silisyum maddesi elde etmek için Silisyum(14)'a periyodik cetvelden 5. Grup bir element olan Fosfor (15) eklenir. Silisyumun en dış yörüngesinde 4, Fosforun en dış yörüngesinde 5 elektron bulunmaktadır. Fosforda fazla olan bir elektron yarı iletken yapıya verilmektedir. Bu sebepten dolayı 5. Grup elementler “verici” (donör) ya da “N- tipi” elementler olarak adlandırılmaktadır.

Silisyumdan P-tipi silisyum elde etmek için ise 3.grup elementleri kullanılmaktadır. Bunlardan biri olan Bor (5) elementinin en dış yörüngesinde 3 elektron bulunmaktadır. Yarı iletken yapı bir elektrona ihtiyaç duymaktadır. Bu elektron boşluğuna “boşluk” ya da “hol” denir. Bu boşluk pozitif yük özelliği göstermektedir. Bu sebepten dolayı 3. Grup elementleri “alıcı” (akseptör) ya da “P-tipi” elementler olarak adlandırılmaktadır.

Oluşturulan N-tipi ve P-tipi yapı bir araya getirildiğinde yarı iletken yapıyı ortaya çıkarmaktadır. Bir araya getirilmeden önce bu iki yapı elektrik bakımından nötr özellik göstermektedirler. N tipinde pozitif enerji ve elektron sayıları eşit, P tipinde negatif enerji ve hol sayıları eşittir.

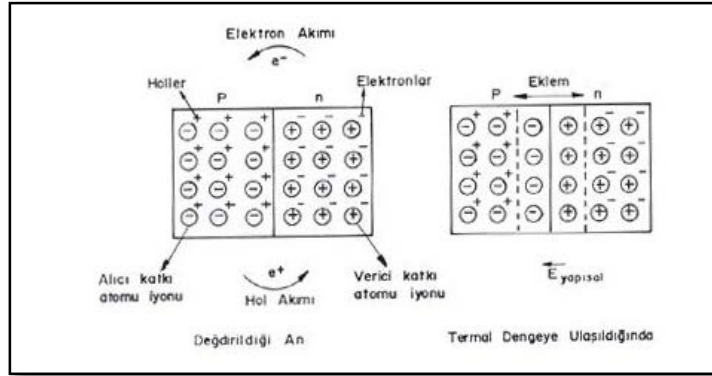
P ve N eklemi oluştuğunda N tipinde çoğunlukta bulunan elektronlar P tipine doğru bir akışa geçmektedir. Yük dengesi sağlanana kadar bu süreç devam etmektedir. Süreç sonunda “ PN” tipi maddenin eklem yüzeyinde P bölgesi negatif, N bölgesi pozitif yüklenmektedir. Bu bölgeye “geçiş bölgesi” adı verilmektedir. Bu bölgede oluşan elektrik alana da “ yapısal elektrik alan” denilmektedir (E<sub>y</sub>).



**Şekil 3.** Yarı İletken Yapının Elektron Özellikleri [11]

Yarı iletken hücre yapısının fotovoltajik dönüşüme ihtiyacı bulunmaktadır. Bu fotovoltajik dönüşüm, eklem bölgesinde oluşmaktadır ve iki aşamadan meydana gelmektedir.

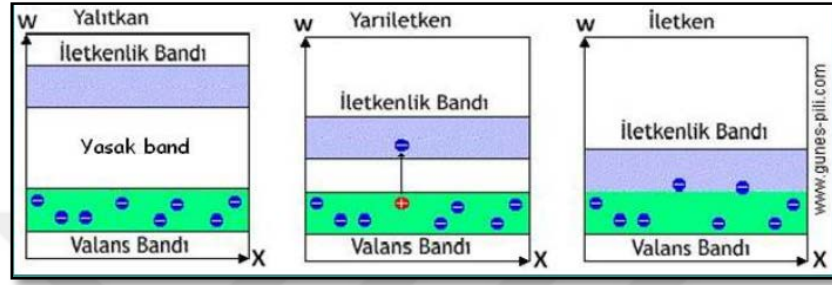
1. Eklem bölgesine ışın düşürülerek elektron-hol çifti oluşturulur,
2. Oluşturulan elektron-hol çiftleri elektrik alan ile birbirinden ayrılır [11].



**Şekil 4.** Yarı İletken Yapının Yük Geçişi [11]

Yarı iletkene gelen fotonun büyük ya da eşit olmasını kısıtlayabilmek için yasak enerji aralığı denilen sınır tarafından iki enerji bandı oluşturulmaktadır. Bunların isimleri “Valans bandı” ve “iletim bandıdır”. Gelen foton yasak enerji aralığından büyük ya da eşit enerjiye sahipse yarı iletken tarafından soğurulan enerjisini valans bandındaki bir elektrona vererek iletkenlik bandına geçişi sağlanmaktadır. Elektron-

hol çifti bu şekilde oluşmaktadır. Gelen ışınlar PN fotovoltaiik eklem yüzeyinde meydana geldiğinde elektron-hol çiftleri elektrik alan tarafından birbirinden ayrılarak elektronlar N bölgesine, holleri de P bölgesine pompalayan bir fotovoltaiik hücre görevini üstlenmiş olmaktadır. Ayrılan bu elektron ve holler fotovoltaiik hücrenin uçlarına iletilerek bir enerji çıkışı elde etmektedirler [12].



Şekil 5. Valans Bandı ve İletkenlik Bandı [12]

### 2.3. Dünya’da Fotovoltaiik Sistemlerin Potansiyeli

İlk fotovoltaiik santral California’da 1 MW gücünde kurulmuştur. İkinci olarak 6,5 MW ‘lık “Carisa Plains Santrali” nin kurulduğu bilinmektedir [13].

İngiltere’de Ford Fabrikasının çatısına fotovoltaiik sistem kurulmuştur. Bu sistem 100 kW gücündedir. Bir yıllık üretimi 110.000 kWh olarak bilinmektedir. Kurulum amaçlarının bir nedeni CO<sub>2</sub> salınımını azaltmaktır. Fotovoltaiik sistemle bu salınımın sene bazında 3.000 ton azaltılması hedeflenmiştir. Sonraki yıllarda kurulan ve en büyük alana sahip olduğu kabul edilen fotovoltaiik çatı uygulaması sene bazında 1.000.000 kWh enerji üretmektedir. 7.812 adet güneş modülü içermektedir [14,15].

Almanya, İtalya, İsviçre ve İspanya fotovoltaiik üretim potansiyelinin en yüksek olduğu ülkelerdir. Karbon salınımını azaltmak ve temiz enerji üretimi için fotovoltaiik sistemler tercih edilen üretim sistemleridir. Bu tercihlerin gelecek yıllarda fosil yakıtların önüne geçeceği düşünülmektedir [14,15].

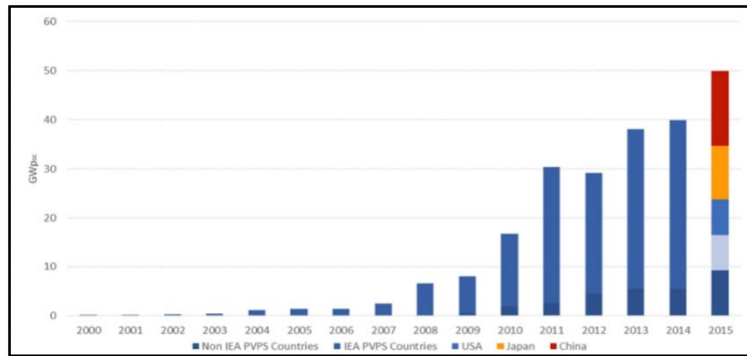


**Şekil 6.** Dünyada Fotovoltaik (PV) Pazarına Sahip Ülkeler Grafiği [16]

Son 10 yılda dünyada güneş kaynaklı enerji kapasitesi yaklaşık %1000 artış göstermektedir. 2007 yılından itibaren güneş enerjisi de dahil yenilenebilir enerjiye, santral inşaatlarına ve bu konulardaki araştırmalara dünya çapında 100 milyar dolar harcanmıştır. 2003 yılına göre kıyaslandığında yenilenebilir enerji 2007 yılında %50 olarak bir artış göstermiştir ve bu sayı 240 GW' a tekabül etmektedir.

Şebekeye bağlı fotovoltaik enerji sistemleri 2006 ve 2007 yıllarında kurulu güçteki artış oranı %50' yi aşarak 7,7 GW' a yükselmiştir. Yaklaşık 1,5 milyon hane çatı fotovoltaik sistemleri kullanarak şebekeye enerji vermiştir.

2000-2015 yılları arasında belirli ülkelere ve yıllara göre fotovoltaik sistemlerin kurulum gücü giderek artış göstermiş özellikle 2010 yılından itibaren ciddi oranda artışların olduğu aşağıdaki grafikte belirtilmektedir.



**Şekil 7.** 2000-2015 Tarihleri Arası Fotovoltaik Kurulum Gücü Grafiği [17]

2014 yılında dünyada yenilenebilir enerji projelerine yapılan yatırımlar 2013 yılına oranla %16 artmıştır ve yaklaşık 310000000 ABD dolarına ulaşmıştır. En fazla yatırım yapan ülke Çin olmuştur. Ardından ABD ve Japonya olarak yer almıştır.

2014 yılında Güneş enerjisine yapılan yatırımlar %25 artarak 150 milyar doları bulmuştur. 2014 yılında ilk defa güneş enerji sistemleri yenilenebilir enerji sistemleri içinde en büyük pay değerine ulaşmıştır[18,19].

Almanya 2014 yılında kurulu gücünü 38200 MW' a çıkarmış, 2050'ye kadar enerjisinin %80'ini yenilenebilir enerjiden sağlamayı hedeflemektedir.

Japonya'nın da 2020 yılına kadar kuracağı sistemlerle 32000 okulun elektrik ihtiyacını güneş enerjisi ile karşılamayı öngörmektedir[20].

#### **2.4. Türkiye'de Güneş Enerjisi Sistemleri ve Önemi**

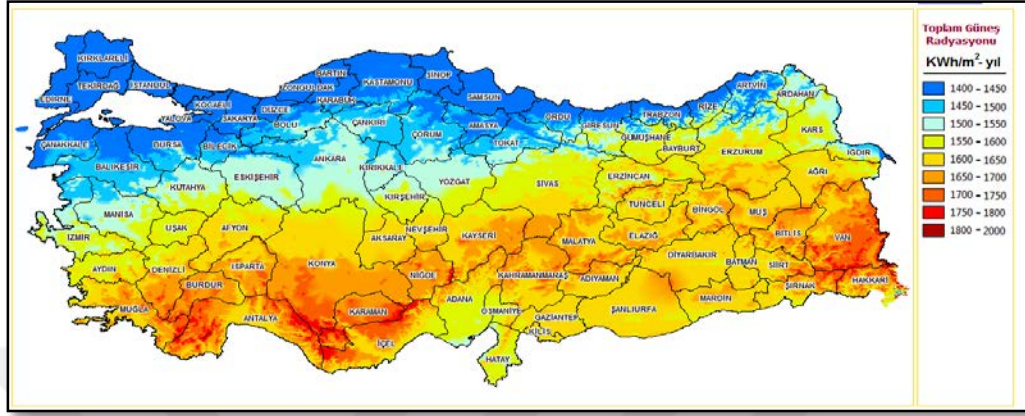
Türkiye, coğrafi konumları 36- 42° kuzey, 26- 45° doğu enlem ve boylamlar içinde yer almaktadır [21]. Türkiye'nin coğrafi özelliklerinden dolayı yıllık  $380 \times 10^9$  kWh' lık güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu bilinmektedir.

Ülkemizde hemen hemen her bölgede güneş enerjisi sistemlerinden faydalanılması mümkündür. Türkiye'de güneş enerjisi, 2014 yılında ilk defa kurulu güç dağılımı içine dahil olmuştur ve 2017 yıl sonundaki verilere göre yaklaşık 800 MW lisanssız güneş enerjisi santrali ve bulunmaktadır [22].

Türkiye'de güneş enerjisi, fotovoltaik sistemlerin yaygınlaştırılması için gerekli olan 5346 sayılı "Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunu" 29.12.2010 yılında revize edilmiş ve 2013'te mevzuat çalışmaları tamamlanmıştır. Giderek fotovoltaik sistemlerin veriminin artması ve maliyetinin de düşmesi Güneş enerjisi sistemlerinde



faydalanma oranını artırmıştır. Zamanla, 3000 MW lisanslı PV santral kurulu güç amaçlanmıştır[23].



Türkiye'nin güneşlenme süresi "Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına" göre  
**Şekil 8.** Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası [24]

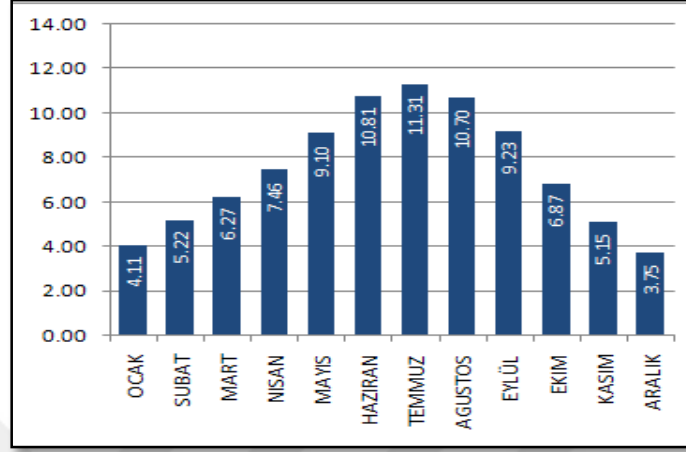
yıllık 2737 saattir (günlük 7,5) [25]. Yıllık güneşlenme süresi oldukça yüksek olan ülkemizde gerekli yatırımlar yapılırsa birim metre karesinden oldukça yüksek enerjiler elde edilmesi öngörülmektedir.

Türkiye'de yıllık en küçük güneş ışınım bölgesi 1120 kWh/m<sup>2</sup> ile Karadeniz Bölgesi, en büyük güneş ışınım bölgesi 1460 kWh/m<sup>2</sup> ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi olarak belirlenmiştir[26].

**Tablo 2.** Türkiye Bölgelerine Göre Işınım Süreleri [26]

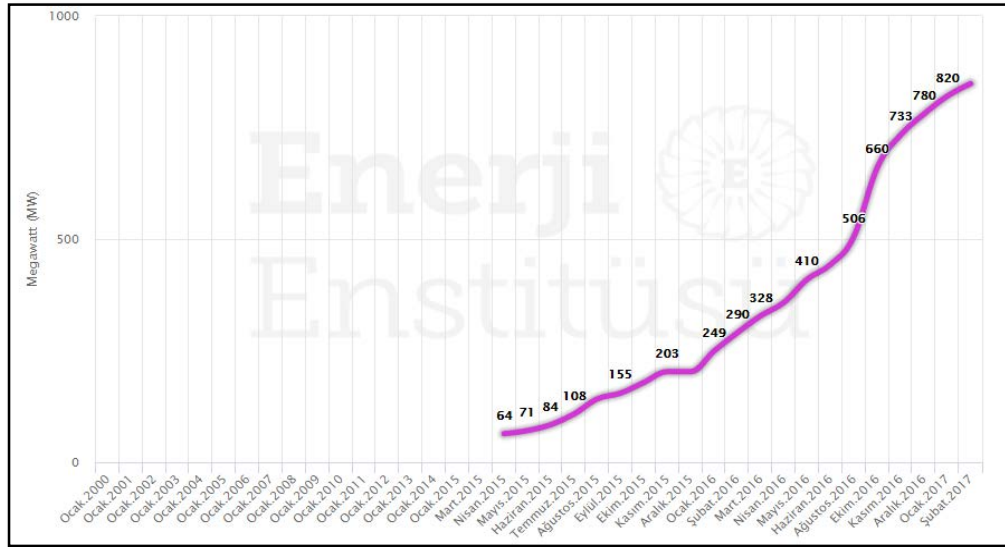
Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/ m <sup>2</sup> -Yıl)	Güneşlenme Süresi (saat/yıl)
Güneydoğu Anadolu	1460	3016
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2712
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2528
Karadeniz	1120	1971

Türkiye güneşlenme sürelerinin aylara göre dağılımı “Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası” na göre aşağıda gösterilmiştir[27].



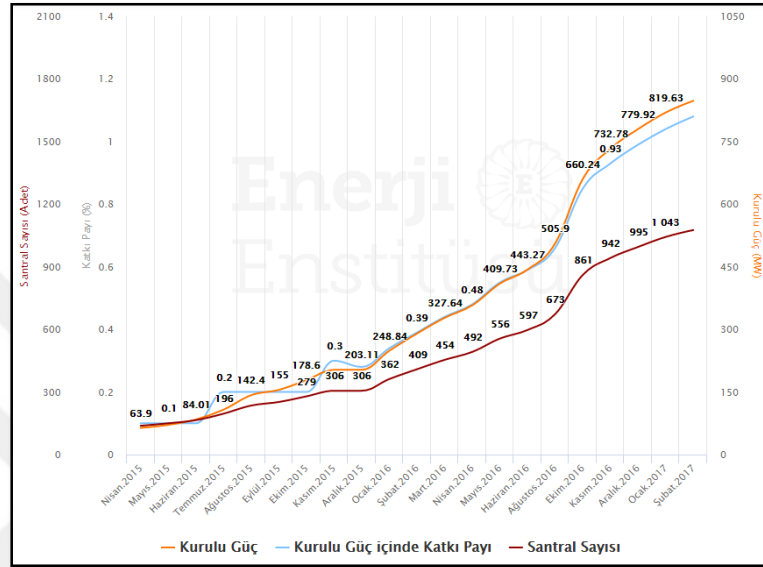
Şekil 9. Türkiye Aylara Göre Güneşlenme Süreleri Grafiği [27]

Türkiye’de 2015 – 2017 yılları arasındaki lisanssız Güneş enerjisi kurulu gücü 820 MW olarak belirlenmiştir. TÜİK istatistiklerine göre aşağıda gösterilmektedir[28].



Şekil 10. Türkiye’de Yıllara Göre Lisanssız Güneş Enerjisi Kurulu Gücü Grafiği (TÜİK)[28]

Türkiye’de lisanssız güneş enerjisi 2015 yılından itibaren artış göstermektedir. Bu artışla birlikte 2017 yılının Şubat ayı dahil olmak üzere lisanssız güneş enerjisi santralleri 1043 adeti bulunmaktadır. Kurulu güç, güneş enerjisinin kurulu güç içindeki katkı payı ve santral sayısı olmak üzere değişim grafiği aşağıdaki gibidir[28].



Şekil 11. Türkiye’de Lisanssız Güneş Enerjisinin Gelişimi Grafiği [28]

## 2.5. Fotovoltaik Sistemlerin Çatı Uygulamalarındaki Özellikleri

Ev tipi güneş enerjisi sistemleri bugüne kadar genelde ısıtma sistemi olarak kullanılmıştır. Fakat enerji ihtiyacının artışı, güneş enerjisinden elektrik üretimi sağlamanın maliyeti düşük olmasından dolayı bina çatılarında uygulama alanını artırmış, kullanımı yaygınlaştırmıştır.

Ev tipi güneş enerjisi sistemi uygun çatıya enerji tüketimine, ihtiyaca göre hesaplanarak panellerin yerleştirilmesiyle oluşmaktadır. Ev tipi güneş enerjisi fiyatları oldukça değişkenlik göstermektedir. Enerji piyasasının genişlemesiyle birlikte panel fiyat aralığı oldukça genişlemiştir. Geniş ürün seçenekleri bulunan sistemde doğru ürünle etkin üretimi ve uygun fiyatı dengelemek gerekmektedir.

Ev tipi güneş enerjisi sistemlerinde en etkin üretimi sağlamak için;

- Çatının ideal büyüklükte olması (tüketim gücünü karşılayabilecek panel yerleşimi açısından),
- Çatının güney bölgesine bakıyor olması (güneş ışığını fazla alabilme),
- Çatının açısı 15-35 derece aralığında olması gerekmektedir. Fakat bu ideal koşulları sağlamayan çatılarda da uygun panel seçimi ve uzmanların dikkatli tasarımı ile birlikte maksimum verimli sonuçlar elde edilmektedir.

Panellerin güney, güney doğu, güney batıya bakacak şekilde yerleştirilmesi üretim verimliliğini artırmaktadır. Panellerin doğuya ya da batıya bakacak şekilde yerleştirilmesi üretimi %15 azaltmaktadır.

Çatıya yerleştirilen panellerin eğiminin üretim açısından en verimli aralığı 30-45 derece aralığıdır. Ancak 15-50 derece aralığına kadar monte edilmektedir. Çatı eğer ki düz açılı ise panel aparatları kullanılarak ideal yerleşim açısı sağlanabilmektedir.

Çatı alanı önemli olan noktalardandır. Minimum 24m<sup>2</sup> olması gerekmektedir. Bu da bir otomobilin kapladığı alana tekabül etmektedir. Çatı alanımızın büyüklüğü kurulacak panel sistemlerinin sayısını bu da üretim gücünü etkileyecektir. Bu nedenle ilk hesaplamalar çatı büyüklüğü ile panel sayısı olarak belirlenmektedir.

Tüm sistemler ortalama 275 kg'ı bulmaktadır. Nadirde olsa bu ağırlığı taşıyamayacak çatılarla karşılaşılacaktır. Bu nedenle dikkat edilmesi gereken bir husustur[29].

## 2.6. Lisanssız Güneş Enerjisi Sistemleri Mevzuatı ve Başvuru Yol Haritası

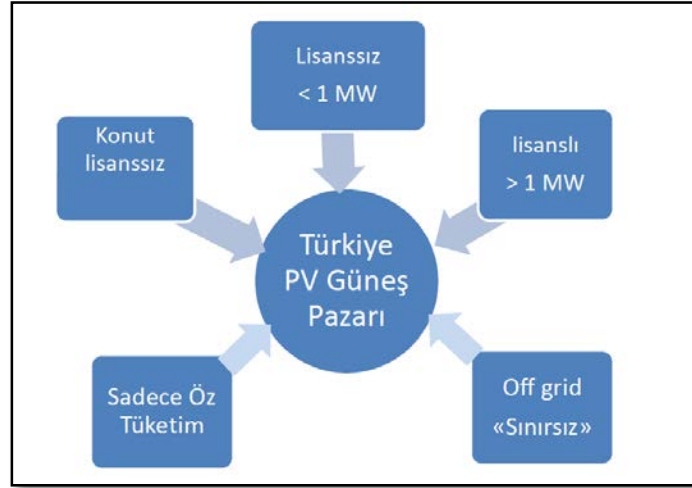
Güneş Enerjisi Sistemlerinin (GES) maliyetlerinin düşmesi, öztüketim elektrik fiyatları ile birbirine yaklaşmasını sağlamaktadır. Bu da, enerji ihtiyacını üreterek karşılamanın daha avantajlı olabileceği düşüncesini ve güneş enerjisi çatı kurulum uygulamalarının artabileceğini göstermektedir. [30]

Türkiye’de 2016 yılında lisanssız güneş enerji santrali projesi sayısı 6050’ye ulaşmıştır. Bunlardan 3300’ü TEDAŞ tarafından onaylanmıştır. 3300 projenin toplam kurulu gücü yaklaşık 3000 MW olarak belirlenmiştir. [31]

31 Aralık 2020 tarihine kadar kurulmuş, kurulacak ve uygulaması başlatılan santraller için ekipman katkı ilavesi yapılmaktadır. Yerli ekipman kullanımlarında 5346 sayılı kanuna göre belirlenen fiyatlar eklenmektedir. Bu katkı ilavesi tesis işletmeye başladığı andan itibaren beş yıl ek süre ile devam etmektedir

Elektrik Piyasası Denetleme Kurumu Lisanssız Elektrik Üretimi Yönetmeliğine göre Madde 1 de, elektrik piyasasında; 14 Mart 2013 tarihinde belirlenen 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanununun 14 üncü maddesine göre; enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla herhangi bir lisans alma veya şirket kurmaya gerek kalmadan enerjisini üretilip kullanabilecekleri bu sayede şebekeden kaynaklanan kayıpları da minimuma indirgeyebilecekleri, üretim yapmak istemeyen tüketicilerin de kendilerine en yakın üretim tesislerinden enerji ihtiyacını karşılayabilecekleri belirtilmiştir.

Aynı kanunun 2. Maddesinde ise; kurulacak enerji üretim tesislerinin başvurularına ilişkin gerekli belgeler, ve kurulumun uygulamaya alınması için gerekli esaslar belirtilmiştir. Ayrıca öztüketim ihtiyacını karşılayacak üreticilerin, ihtiyacından fazla ürettiği enerjiyi şebekeye verme durumunun esasları da belirtilmiştir [32].



**Şekil 12.** Türkiye Güneş Enerjisi Sistemlerinin Özellikleri [33]

Kurulu güç üst sınırı 1 MW olan, üretilen enerjinin tamamını kullanan, üretimi ve tüketimi aynı güçte olan her tüketici lisanssız elektrik üretimi için başvuruda bulunabilmektedir.

Enerji Piyasası Denetleme Kurumu'na yapılacak olan lisanssız elektrik üretimi başvurusu için gerekli evraklar;

- Tapu kaydı ve kira sözleşmesi veya arazi kullanım hakkını gösterir belge
- Başvuru ücretinin İlgili Şebeke İşletmecisinin hesabına yatırıldığına dair makbuz veya dekont
- Yönetmelikte yer alan Lisanssız Üretim Bağlantı Başvuru Formu Kurulacak tesisin teknik özelliklerini gösteren Tek Hat Şeması
- Elektrik aboneliği
- Onaylı Aplikasyon Krokisi
- Teknik Değerlendirme Formu [33].

### 3. OPTİMİZASYON VE ENERJİ SEKTÖRÜNDEKİ UYGULAMALARI

Optimim kelimesi Latince bir kelimedir ve anlamı “nihai ideal” demektir. Optimizasyon, var olan bir problemin en iyi çözümünü ve tasarımını bulma işlemi anlamına gelmektedir [34].

Optimizasyon, problem/sistemde bulunan kaynaklardan en verimli şekilde faydalanarak amaca ulaşılma teknolojisidir. Problemdeki işgücü, zaman, ekipman, kapasite ve daha fazlası olabilecek kısıtları kullanarak asıl amaca yani maksimum verim ve kar elde etmeye, minimum maliyete, sistem kapasitesini maksimuma çıkarmaya odaklı çalışan bir teknoloji sistematiğidir.

Optimizasyon teknolojisi, karar süreçlerini hızlandırmakta ve karar kalitesini artırarak en etkin ve doğru şekilde çözümünü sağlamaktadır.

Optimizasyon teknolojisinde iki ana süreç vardır; bunlar modelleme ve çözümlenmedir.

Modelleme: İyileştirilmesi gereken bir sistemin yada problemin, sorunlarının optimum seviyeye getirilmesinin matematiksel olarak ifadesidir.

Çözümleme: Ele alınan bu modellemenin kısıtlarıyla, amaca en ideal şekilde ulaşmaktaki çözümleme sistemidir.

Optimizasyon teknoloji tarihinde ilk incelemeler modellemeler üzerinden yürütülmüştür ve bu alandaki ilk çalışmalar “Leontief” tarafından yapılmıştır. Leontief çalışmalarında Amerika Birleşik Devletleri’ nin dış ticaretini ve ekonomik yapısını incelemiştir. Üretim sistemlerinde en çok ihtiyaç duyulan optimizasyon ve yöntemlerini Rus matematikçi Kantorovich yayınladığı makalelerle anlatmış, üretim

sistemlerindeki sık karşılaşılan problemlerin modellenmesini, en iyi sonuçları bulma metodlarını ele almıştır. Kantorovich dokuz farklı problem tanımlamış ve bu problemler için dokuz ayrı optimizasyon çözüm algoritması geliştirmiştir.

Tarihte zamanla; ulaştırma, ekonomi, üretim-dağıtım ve birçok güncel problemler modellenerek çözüm yoluna gidilmiştir [35]

### 3.1. Optimizasyon Yöntemleri

Optimizasyon modelleri, sistemin işleyişini ve özelliklerini yansıtan ve sistemin kendisi ile çevresi arasındaki ilişkiyi çözümlen matematiksel ifadelerdir. Matematiksel model ifadeleri; parametreler, değişkenler, kısıtlar ve iyileştirilecek amaç ölçütünden oluşmaktadır.

$$Z_{max} = f(x, y) \quad (1)$$

$$k.s. = g(x, y) = 0$$

$$= h(x, y) \leq 0$$

$$= x \in K^n$$

$$= y \in \{0, 1, 2, \dots, m\}$$

(1) numaralı ifadede amaç fonksiyonu Z fonksiyonu, değişkenler; x ve y, kısıtlar ise G ve H fonksiyonlarıdır.

Bir değişkende Y fonksiyonu bulunmuyorsa ve f, g, h fonksiyonları doğrusalsa o problem “doğrusal” problemdir. Eğer bir sistemde y fonksiyonu bulunmuyorsa ve f,



g, h fonksiyonlarından herhangi biri doğrusal değilse o problem “doğrusal olmayan” problemidir [35].

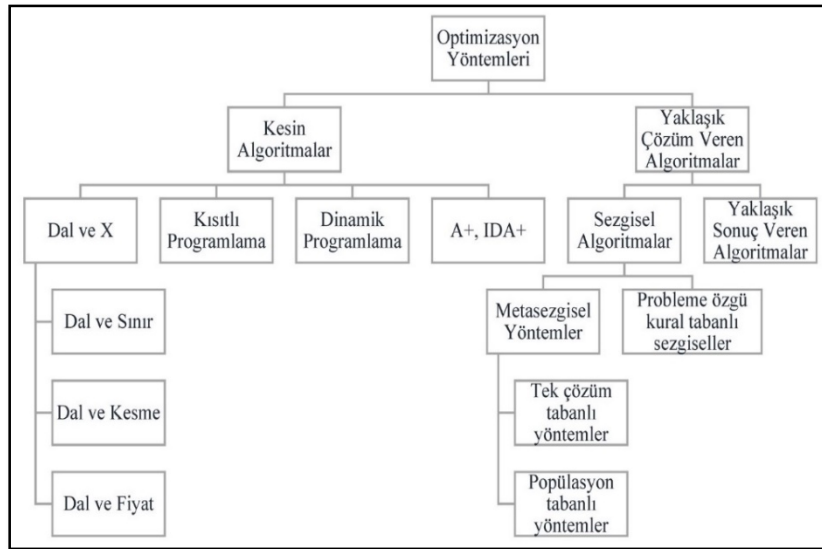
Bir çok optimizasyon algoritması bulunmaktadır. Bu algoritmaların geneli belirli tür problemleri çözmek için geliştirilmiştir. Bu nedenle optimizasyon probleminin belirli bir metodu seçerek çözümlenmesi için, optimizasyon probleminin türünü belirlemek gerekmektedir [36].

#### Kesin Çözüm Veren Algoritmalar

- Doğrusal Programlama
- Dinamik Programlama
- Dal-Sınır Algoritması

#### Yaklaşık Çözüm Veren Algoritmalar ( Sezgisel Algoritmalar )

- Çözüm Kurucu Algoritmalar
- Yerel Arama Algoritmalar
- Genel Amaçlı Algoritmalar (Metasezgisel Algoritmalar) [37].



Şekil 13. Optimizasyon Yöntemleri [37]

### **3.1.1. Kesin Çözüm Veren Algoritmalar**

Bir problemde karar alma süreçleri modellerle yapılmaktadır. Karar almada kullanılacak birçok model ve teknolojiler geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntemlerle kesin çözüme ulaşabilmek mümkün olmaktadır [38].

### **3.1.2. Doğrusal Programlama**

Karar alma sürecinde geliştirilen modellerden biri olan doğrusal programlama, problemdeki doğrusal eşitlik kısıtını ve aynı zamanda eşitsizlik kısıtını çözümlerken bu çözümü doğrusal fonksiyon kullanılarak sonuca ulaştırmasıdır. Problem kaynaklarının kullanımını optimum olacak şekilde tasarlayan bir modeldir. Doğrusal programlama bir matematiksel model olup 2. Dünya savaşı boyunca maliyet, gelir planlaması, ordu masraflarının azaltılması ve düşmana verilen zararı maksimuma çıkartmak gibi konularda gelişme sağlamıştır [39].

Leonid Kantorovich doğrusal programlamanın kurucularından olarak gösterilmektedir.

Optimizasyon yöntemlerinde yöneylem araştırmasında genelde doğrusal programlama kullanılmaktadır.

Sağlık sistemleri, askerlik, petrol işletmeleri, gıda sektörü, finans yönetimi, sermaye bütçeleme, stok kontrol, üretim hattı dengeleme gibi çeşitli alanlarda amaç fonksiyonumuzu yani geliri maksimize ederken maliyeti minimize ederek çözüm iyileştirilmektedir [40].

### 3.2. Doğrusal Programlama Modeli Ve Çözüm Yöntemleri

Doğrusal Programlama, bilgi kaybını en aza indirerek dönüşümü gerçekleştirmektedir. Doğrusal karar modeline dönüşüm işlemi yapılırken sistemin bazı özellikleri içermesi gerekmektedir. Bunlar;

Oranlılık (Proportionality): Değişkenin alacağı değerlere göre amaç fonksiyon ve kısıtlar aynı oranda etkileniyorsa bu oranlılık özelliği taşıyan bir programlama demektir.

Toplanabilirlik (Additivity): Amaç fonksiyonunu ve kısıt değerlerini etkileyecek olan kaynak parametrelerin, her birinin ayrı ayrı girdiler olarak toplanabilir olmasıdır.

Bölünebilirlik (Divisibility): Karar değişkenleri her değeri alabilir, fakat sıfır veya sıfırdan büyük olması durumudur.

Belirlilik (Certainty): Karar problemlerinde tüm parametreler sonlu olmalıdır. Değerlerinin bilinmesi durumudur [41].

Problemin bileşenleri çeşitli simgelerle tamamlanır ve aralarındaki ilişkiler matematiksel fonksiyonlarla ifade edilir buna, **matematiksel model** denilmektedir. Problem çözücüsüne bağlı karar değişkenleri adı verilen değişkenler bulunmaktadır. Bu değişkenlerin değerlerinin belirlenmesini sağlayan modellere **karar modeli** denilmektedir. Karar vericinin kontrolünde olmayan bileşenler bulunmaktadır. Bunlara **parametre** denilmektedir. Modelde karar değişkenleri ve parametreler arasında kurulan zorunlu ilişkilere **kısıt** adı verilmektedir.

Karar verici, karar değişkenlerinin fonksiyonunu en büyük hale getirmek (gelir, kâr vb. için ) ya da en küçük hale getirmek (gider, maliyet vb.) istemektedir. En büyüklenen ya da en küçüklenen bu fonksiyon amaç fonksiyonu adını almaktadır [42].

Amaç fonksiyonu;

$$Z_{max,min} = \sum_{j=1}^n C_j X_j$$

(2)

Kısıt denklemleri;

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq, \geq b_i \quad (i = 1, \dots, m)$$

$$x_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, n)$$

(3)

Bir doğrusal programlama modeli (DP) üç bölümden oluşmaktadır.

1. Amaç fonksiyonu: Karar değişkenlerinin ( $x_1, x_2, x_3, \dots$ ) doğrusal bir fonksiyon oluşturarak amaç fonksiyonuna bağlanmasıdır. Amaç fonksiyonu maksimizasyon ya da minimizasyon amaçlı olabilmektedir.

2. Karar değişkenlerinin alabileceği değerleri kısıtlayan bir kısıt serisi içermektedir. Her kısıt doğrusal eşitlik veya doğrusal eşitsizlik biçiminde gösterilmelidir.

3. Karar değişkenlerinin bölünebilirlik/negatif olamama kısıtını içermektedir.  $X_j > 0$  (j: 1,... n) [43].

Doğrusal programlama modelinde etkin sonuca ulaşılabilişmesi için; amaç fonksiyonunun şeffaf şekilde nicel olarak belirlenmesi gerekmektedir. Amaç fonksiyonu kazançya yönelik ise maksimizasyon, masraf, maliyetlemeye yönelik ise minimizasyonla Z ifade edilmektedir.

Modelin amaç fonksiyonunda karar değişkenleri ( $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ ) kar, maliyet de

( $C_1, C_2, \dots, C_n$ ) olarak ifade edilirse, amaç fonksiyonu;

Max veya Min ( Z ) = ( $X_1 C_1 + X_2 C_2 + X_3 C_3 + \dots, X_n C_n$ ) şeklinde yazılmaktadır. Doğrusal programlamada amaç fonksiyonu değişkenleri doğrusal olmak zorundadır bu nedenle değişkenler küp, karekök, kare gibi ilişkiler söz konusu olmamaktadır[44].

### 3.2.1. Dinamik Programlama

Kesin çözüm yöntemlerindedir. Alt problemler ve alt yapı özelliklerini sergilemektedir. Zamanı ve işlem sayısını azaltmaktadır. Bu algoritmanın karmaşıklığı kolay hesaplanabilmektedir. Kısıt ve değişken sayısının çok olduğu ve katsayıların büyük olduğu problemlerde kullanılması etkili olmaktadır [45].

### 3.2.2. Dal-sınır Programlama

Kesin çözüm yöntemlerindedir. Sistemli bir şekilde uygun çözümleri saymaya dayanmaktadır. Olasılıkların etkin olan kısımları sayılmaktadır. Hızlı bir programlama sistemidir. Hesaplama süresindeki çözümler genelde en iyi yaklaşık

çözümlerendir. Dezavantaj olarak bilgisayar belleğine ihtiyaç duymasdır. Bulunan çözümün optimal sonuç olduğunu kanıtlamak uzun zaman almaktadır [45].

### **3.2.3. Yaklaşık Yöntemler**

Optimizasyonda kesin yöntemlerin tersi olarak yaklaşık yöntemlerde kesin çözüm garanti edilmemektedir. Verilen problemin kesin çözüm yönteminin olmadığı durumlarda tek seçenek yaklaşık çözümler olmaktadır. Uzun zamanda bulunan kesin çözümdense kısa zamanda bulunan tahmini sonuç daha önemlidir bu yöntemde. Kesin çözüm sürecindeki yoğun hesaplama ve süresi yaklaşık yöntemleri kullanmayı tercih sebebi kılmaktadır.

### **3.2.4. Sezgisel Algoritmalar**

Sezgisel algoritmalar ele alınan problemin özelliğine göre tasarlanmış ve sonucun doğruluğunu, kesinliğini ispatlama gereği duyulması gerekmeyen bir yöntemdir. Çözüme oldukça yakın sonuçlarla hızlı ulaşılmaktadır. Kötü bir performans ile çalışan algorithmada sonuç olması gerekenden çok uzaklaşabilmektedir [46].

#### **Sezgisel Algoritma Çeşitleri**

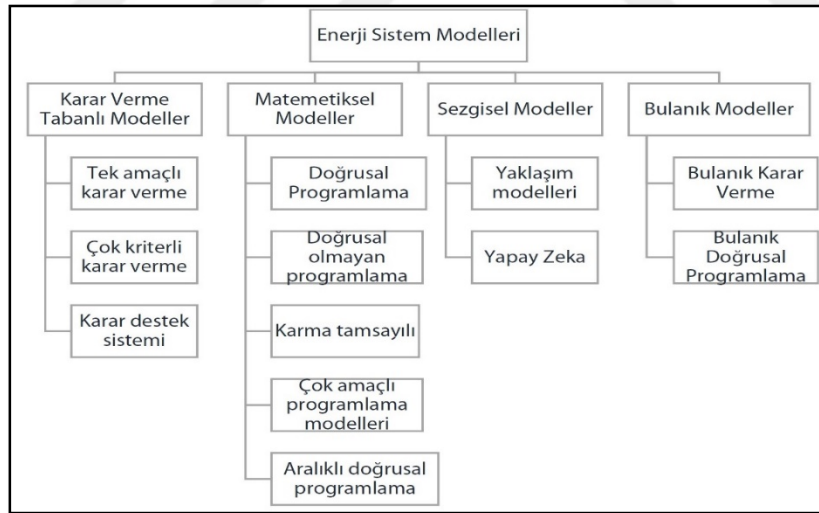
- Greedy Algoritmalar,
- Yerel Arama (Local search),
- Genetik Algoritmalar,
- Tabu Araması (Tabu search),
- Karınca Aolonisi (Ant colony) vs.

### **3.3. Enerji Sektöründe Optimizasyon**

Enerji üretilebilecek kaynaklar iki şekilde ayrılabilir. Günümüze kadar kullanılan ana enerji kaynakları ve ana enerji kaynaklarına alternatif olan yenilenebilir

enerji kaynakları olarak ifade edilebilirler. Ana enerji kaynaklarının ( su, kömür, petrol, gaz, nükleer) zamanla tükenme ihtimali, çevreye zararı bulunan sera gazı salınımı, küresel ısınmaya sebep olmaları nedeniyle alternatif enerji kaynaklarına yönelim başlamıştır. Yenilenebilir enerji olarak adlandırılan alternatif enerji kaynakları, sürekliliği olan güneş, rüzgar, jeotermal, hidroelektrik, biyokütle, dalga gücü olarak çeşitlendirilebilir. Yenilenebilir enerji ana enerji kaynaklarına göre zamanla maliyetli, yer seçimi konusunda belirsizlikler oluşturabilmektedir. Bu belirsizlikleri en etkin biçimde çözebilmek için çeşitli optimizasyon uygulamalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Enerji kaynaklarının iklim şartlarına bağlı olması tasarım, planlama ve kontrol süreçlerinde optimizasyon yöntemlerinden faydalanılması gerektiğini göstermektedir [47].

Enerji problemlerinde amaç, enerji verimliliği artırma, enerji tesisi yer seçimi, en uygun yatırım planlaması, enerji yönetim inşası ve proje planlama gibi durumlar olabilmektedir.



**Şekil 14 . Enerji Sistemleri Modellerinin Sınıflandırılması [48]**

Enerji sistemlerinde kullanılan optimizasyon modelleri problemin yapısına, amaç fonksiyonlarına göre tercih edilebilmektedir. Genelde optimize edilecek problemin parametreleri, kısıtları, amaç fonksiyonları ekler kısmında bulunan Ek1’ deki gibi değişim gösterebilmektedir [49].

## **4. ÇATI TİPİ GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEM KURULUM OPTİMİZASYONU**

Ev tipi güneş enerjisi sistemleri bugüne kadar genelde ısıtma sistemi olarak kullanılmıştır. Fakat enerji ihtiyacının artışı güneş enerjisinden elektrik üretimi sağlamanın maliyetinin düşük olmasından dolayı bina çatılarında uygulama alanını artırmış, kullanımı yaygınlaşmıştır.

Çatı sistemlerinin seçiminde, kurulumunda birçok alternatif bulunmaktadır. Marka seçeneğinin çok olması, fiyat aralığının genişliği de dahil olmak üzere bireysel tüketicinin sistem seçiminde bir karar destek programına ihtiyaç duymaktadır.

Bu bölümde bireysel ya da kurumsal olarak binaların çatılarında güneş enerjisi sistemi kurmak isteyen müşterilerin ya da karar vericilerin bu kurulumları yaparken yararlanabilecekleri bir karar destek sistemi önerilmektedir. Karar destek sistemi alt yapısında doğrusal programlamadan ve karar vericinin aklına gelebilecek olan çeşitli karar problemlerinden faydalanmaktadır. Bu karar problemi ve doğrusal programlama bileşeni “excel solver” aracı kullanılarak çözülmüştür. Bireysel tüketicinin çatı uygulamasına geçmek istemesiyle amaçladığı hedef unsuru en optimum şekilde karşılayabilecek ve bu amacı karşılarken sistem kurulumunda gerekli olan tüm hesapları içeren örnek uygulamalar sunulmuştur.

### **4.1. Çatı Tipi Güneş Enerjisi Sistemleri**

Çatı tipi güneş enerjisi sistemleri şebeke bağlantılı (on-grid), şebekeden bağımsız (off-grid) olarak iki şekilde kullanılmaktadır.

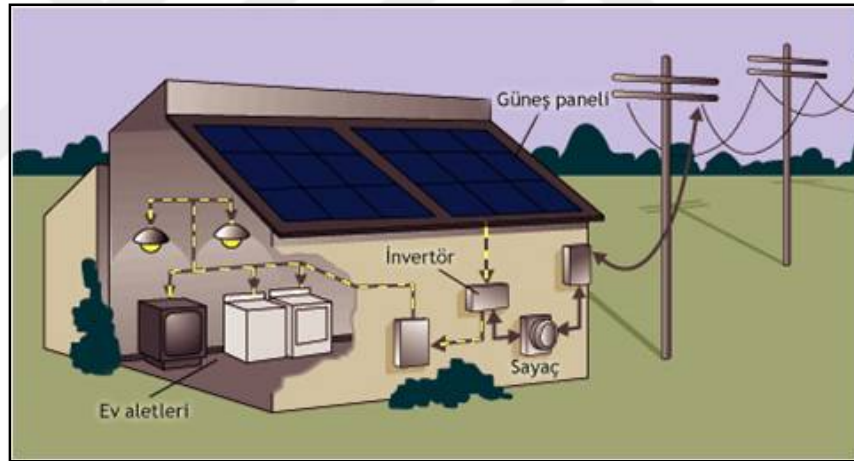
#### **4.1.1. Şebeke Bağlantılı Sistemler (On-Grid)**

Şebekeye bağlı güneş enerjisi sistemleri dünyada en çok kullanılan sistemlerdir. Büyük santral güçlerinde olduğu gibi, daha küçük bireysel kullanıcı çatı sistemlerinde de kullanılarak küçük bir elektrik santrali gibi çalışmaktadırlar.



Bu sistemler şebekeye direkt bağlantılı olmaktadır. Doğru akım (DC) alternatif akıma (AC) eviriciler (evirici) tarafından çevrilerek, çift yönlü sayaçlar ile ürettikleri fazla enerjiyi direkt olarak sistemden şebekeye vermektedir. Bu sayede öz tüketim dışına çıkılarak fazla enerji şebekeye satılabilmektedir. Ters durumda ise sistem üretimin az olduğu durumda şebekeden gerekli enerjiyi çekebilmektedir. Üretilen fazla elektriği şebekeye satmak için kullanılan sayaçlar ikiye ayrılır; üretimin ve tüketimin aynı olduğu yerlerde çift yönlü sayaçlar, üretim ve tüketimin farklı olduğu alanlarda çift sayaç kullanılmaktadır.

Şebeke bağlantılı sistemlerde en önemli avantaj enerji depolamaya gerek duyulmamasıdır. Akü ihtiyacı bulunmamaktadır. Şebeke bağlantısı olmayan sistemlere göre daha az sistem elemanı bulunmaktadır [50,51].

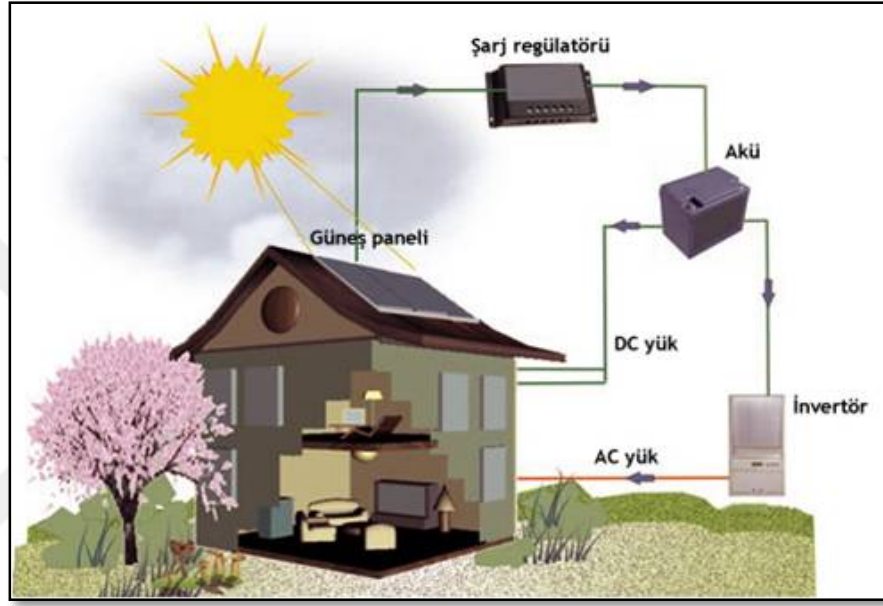


**Şekil 15.** Şebeke Bağlantılı (on-grid) Sistem [52]

#### 4.1.2. Şebeke Bağlantısı Olmayan Sistemler (off-grid)

Şebeke bağlantısı olmayan güneş enerjisi sistemleri şebekeden uzak, ulaşımın zor alanlarda kullanılmaktadır. Şebeke bulunan ve şebeke desteği olarak çalışan sistemlerde de kurulabilmektedir fakat şebekeye enerji verilemediğinden yine şebekeden bağımsız olarak adlandırılmaktadır.

Çatı uygulamalarında bireysel kullanıcılar, sadece tüketim ihtiyacını karşılamak amacıyla sistem kurmak istediklerinde bu tür sistemler kullanılmaktadır. Üretilen fazla enerji şebekeye verilememekte, enerji üretiminin az olduğu dönemlerde şebekeden enerji ihtiyacı karşılanamamaktadır. Bireysel kullanıcının ihtiyacını tam karşılayacak güçte panel kurulumu yapılmakta, fazla enerji aküler ile depolanarak ihtiyaç durumunda kullanılmaktadır [53, 54].



**Şekil 16.** Şebeke Bağlantısı Olmayan (Off-Grid) Sistemler [55]

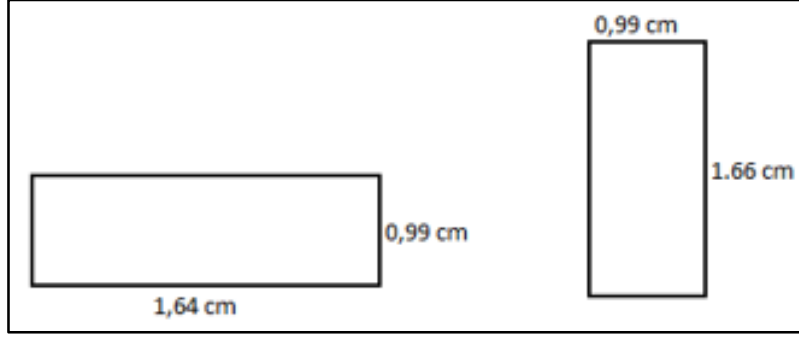
## 4.2. Çatı Sistemi Kurulumu Hesapları

Çatı kurulumu yapılırken güneş panelleri, evirici, akü ve panellerin çatının boyutuna uygun yerleşimi temel karar bileşenleridir.

### 4.2.1. Güneş Panelleri

Güneş ışınlarını elektrik enerjisine çeviren ve sistemin ana elemanı olan ekipmandır. Fotovoltaik modüllerin biraraya getirilmesiyle oluşmaktadır. Yarı iletken yapıdaki fotovoltaik hücreler güneşten gelen ışın enerjisini elektrik enerjisine

çeviren cihazlar olarak kullanılmaktadırlar. Bu nedenle güneş panelleri, sistemin en önemli parçaları olmaktadır [56,57].



**Şekil 17.** Dikey ve Yatay Panel

Fotovoltaik paneller 250-270 wp güçleri arasındaki ortalama ebatları 0,99- 1,64 cm olmaktadır.

Paneller dizi şeklinde yerleştirilmektedir. Bu yerleşim yapılırken iki panel arası mesafenin 2 cm olması gerekmektedir.

Çatı alanına göre zemine kaç panel yerleştirilmesi gerektiği hesaplanmaktadır. Paneller çatı düzlemine yatay ve dikey olarak yerleştirilmektedir. Çatı alanına hangi şekilde daha çok panel yerleştiriliyorsa o şekil tercih edilmektedir [56,57].



**Şekil 18.** Çatı Panel Dizilimi [58]

#### 4.2.2. Evirici

Evirici, sistem devrelerindeki frekans ayarını düzenlemektedir. Alternatif akımı (AC), doğru akıma (DC), doğru akımı da alternatif akıma dönüştürebilen, gerilim ve frekans ayarı yapabilen cihazlardır. Panellerden çıkan doğrusal akımı, alternatif akıma çevirmektedirler. Bu nedenle isimleri evirici olarak da kullanılmaktadır.

Güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan eviriciler şebeke bağlantılı ve şebekeden bağımsız olarak ayrılmaktadırlar. Şebeke bağlantılı eviriciler, şebekenin voltaj seviyesi ve frekansına göre enerji beslemesini sisteme vermektedir. Şebekeden bağımsız eviriciler, akü grupları ile tüketici arasında güç çevrimini sağlamaktadır.

Çeşitli güç ve markalarda seçilebilmektedir. Merkezi ve dizi eviriciler olarak ikiye ayrılırlar. Merkezi eviriciler daha çok büyük santral kurulumlarında kullanılmaktadır. Dizi eviriciler küçük sistemlerde, çatı uygulamalarına daha uygun olmaktadır.

Dizi eviricilerin amacı, bir üretim santralini çoklu sistem olarak düşünerek birbirlerinden bağımsız çalışmasını, üretim yapmasını sağlamaktır.

Merkezi eviriciler, büyük enerji üretim sahalarında kullanıldığı gibi küçük üretim sisteminde de kullanılabilir. kW ve MW güçlerini karşılayabilecek cihazlardır.

**Tablo 3.** Dizi ve Merkezi Evirici Özet Güç Tablosu

	Dizi Evirici	Merkezi Evirici
Güç aralıkları	2-33 kW	100-2000 kW
AC aralıkları	230-400 V	350, 400, 690 V

Evirici seçiminde; panel gücünü karşılayacak kapasitede olması gerekmektedir. Fakat eviricilerde bu gücü karşılarırken kayıplar olmaktadır. Bu kayıplara istinaden %20 daha fazla bir kapasiteli evirici seçilmesi sistem gücünü karşılarırken herhangi bir aksaklığı önleyecektir. Sistem gücünden %20 fazla güçte bir evirici seçimi gerekmektedir [59,60].



**Şekil 19.** Dizi Evirici Modeli [61]

#### **4.2.3. Akü**

Akü şebekeden bağımsız sistemlerde kullanılmaktadır. Üretimin olduğu sırada fazla enerjiyi depolama görevi görmektedir. Enerji ihtiyacı olduğu durumda ise eviriciler ile tüketiciye çevrilerek kullanılacak enerji ihtiyacını gidermektedir.

Sistemin günlük enerji ihtiyacını (gücünü) karşılayacak şekilde kaç Amper olması gerektiği hesaplanmaktadır, buna göre akü sayısı belirlenmektedir [62].

#### **4.3. Çatı Tipi Güneş Enerjisi Sistemlerinin Doğrusal Programlama İle Çözümü**

Çatı güneş enerjisi sistemleri kurulumunda karar vericinin uğraştığı temel problemin bileşenleri bir doğrusal model ile çözümlenmiştir.

## 5. ÖNERİLEN KARAR DESTEK MODELİ

Ev tipi güneş enerjisi sistemi uygun çatıya enerji tüketimine, ihtiyaca göre hesaplanarak panellerin yerleştirilmesiyle oluşmaktadır. Ev tipi güneş enerji sistemleri fiyatları oldukça değişkenlik göstermektedir. Enerji piyasasının genişlemesiyle birlikte panel fiyat yelpazesi de oldukça genişlemiştir. Geniş ürün seçenekleri bulunan sistemde doğru ürünle etkin üretimi ve uygun fiyatı dengelemek gerekmektedir [63]

Bu tür çatı uygulamalarında sistem kurulumu açısından karar vermede zorluklar yaşanmaktadır. Sistem gücü, fiyatı, verimliliği, teknik özellikleri gibi karar verilmeyi

zorlaştıran bir çok unsur bulunmaktadır. Bu tür unsurların bireysel kullanıcı tarafından karar verilmeye çalışılması, oldukça zordur. Bu çalışmada, bireysel veya endüstriyel tesis kullanıcılarının çatı güneş enerjisi sistemi kurulumu kararına destek verebilecek bir optimizasyon modeli önerilmiştir. Aşağıda öncelikle önerilen matematiksel model anlatılmış daha sonra örnek problemler üzerinden uygulaması anlatılmış ve çözümleri sunulmuştur.

### 5.1. Panel

Farklı marka panellerin ürettiği akım ve gerilim değerleri farklılık gösterdiğinden bir sistemde farklı markalardan oluşan bir kurulum elektriksel sorunlar çıkarabilmektedir. Bu nedenle tek marka panel kullanılması ilk kısıttır.

Modelde, tek marka panel seçiminin sağlanması için yapay değişken kullanılmaktadır. Yapay değişkenler sistemde kaç adet panel gereksinim olduğunu göstermektedir. Yapay değişkenin işlevini sağlamak aşağıdaki gibi kısıtlara ihtiyaç duyulmaktadır.

$$x_i = i \text{ marka panelden kullanılan adet karar değişkeni, } x_i \in Z^+$$

$y_i = 1$  i marka panelden kullanılıp kullanılmayacağını gösteren yapay değişken ,  
 $y_i \in \{0,1\}$

$PVP_i = i$ . marka panelin güç verisi

$PvK = Panel\ kapasitesi$

Paneller ile ilgili doğrusal kısıtlar aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

1. Aşağıdaki kısıt (M büyük bir katsayı olmak üzere) x değişkeni 0'dan farklı bir değer aldığı anda y yapay değişkeni 1 değer almasını sağlamaktadır.

$$x_i - My_i \leq 0 \quad \forall i \text{ markası için}$$

2. Aşağıdaki kısıt yapay değişken yardımı ile ( $y_i$ ) sadece tek marka panel kullanılması gerektiğini göstermektedir.

$$\sum y_i = 1$$

Aşağıdaki kısıt güneş sistemi için kapasite alt limitini belirlemektedir. Bireysel kullanıcılarda hesaplarda aylık tüketim faturasının alt sınır alınması uygundur. Endüstriyel tesislerde alt sınır olarak kurulu gücün tercih edilmesi daha mantıklı olmaktadır.

$$PVP_i \times x_i \geq PvK$$

Önerilen modelde panel seçimindeki amaç tüm kısıtları sağlayan en düşük maliyetli çözümü bulmaktır.  $c_i$  , i panelinin birim maliyeti, ve  $x_i$  , i panelinden

kullanılan adet olmak üzere panel maliyet fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

$$Z_{min1} = \sum c_i x_i$$

## 5.2. Evirici

Modelde bulunan eviricilerin markalarına göre fiyat ve güç verileri mevcuttur. Bu değişkenlere göre modelin seçeceği sistem ihtiyaca göre değişecektir. Paneldeki gibi tek marka kullanımı zorunlu değildir.

Sistem gücünü karşılayabilecek eviriciler karar destek modelinde seçilmektedir. Fakat eviriciler akımı çevirirken bazı kayıplar vermektedir. Endüstriyel kurulumlarda bu kayıplar %10, ev tipi küçük kurulumlar da %20 olarak alınmaktadır. Bu nedenle sistem gücünü karşılayabilecek evirici kapasitesini 1.2 veya 1.1 katsayı fazlasını kabul etmek gerekmektedir.

$I$  = Evirici değişken

$I_i$  = *i. inverterden kullanılan adet*

$I_i \in Z^+$

$IP_i$  = *i. inverterin güç verisi*

$IK$  = evirici ihtiyacı olan kapasite

Evirici kapasite hesabı;



$$PvK \times 1.2 = IK$$

Evirici ile ilgili doğrusal kısıtlar aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

Aşağıdaki kısıt ihtiyaç duyulan evirici gücünün kurulan sistem tarafından karşılanmak zorunda olduğunu göstermektedir.

$$IP_i \times I_i \geq IK$$

Modelde evirici seçiminden dolayı ikinci bir maliyet kalemi oluşmaktadır.  $f_i$ ,  $i$  eviricinin birim maliyeti ve  $I_i$ ,  $i$  eviricisinden kullanılan adet olmak üzere evirici maliyet fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

$$Z_{min2} = \sum f_i I_i$$

### 5.3. Akü

Modelde bulunan akü markalarına göre farklı güç ve fiyatta seçenekler mevcuttur. Bu değişkenlere göre modelin seçeceği sistem her ihtiyaca göre değişecektir. Paneldeki gibi tek marka kullanımı zorunlu olmamaktadır.

Akü off-grid şebekelerde kullanılmaktadır. Bu nedenle on-grid şebekelerde akü kullanmaya gerek yoktur. Günlük enerji ihtiyacına göre akü kapasitesi seçilmektedir. Günlük enerji kapasitemiz ile güneşlenme süresini çarparak günlük depolanması gereken enerji miktarı hesaplanır ve akü kapasitesi buna tekabül etmektedir.

Akü değişken = A

$A_i = i.$  aküden kullanılan adet

$AKP =$  Akü kapasitesi gücü

$AKA =$  Akü kapasitesi akımı

$GGs =$  Günlük güneşlenme süresi (saat)

$A_i \in Z^+$

$$PvK \times GGS \text{ (saat)} = AKP$$

$$AKP/12 = AKA$$

Akü ile ilgili doğrusal kısıtlar aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

1. Akü kapasite kısıtı : İhtiyaç duyulan günlük akü gücünü kurulan sistem karşılamak zorundadır.

$$AP_i \times A_i \geq AKP$$

Modelde akü seçimimizden dolayı üçüncü bir maliyet kalemi oluşmaktadır.  $h_i$ ,  $i$  aküsünün birim maliyeti ve  $A_i$   $i$  aküsünden kullanılan adet olmak üzere akü maliyet fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

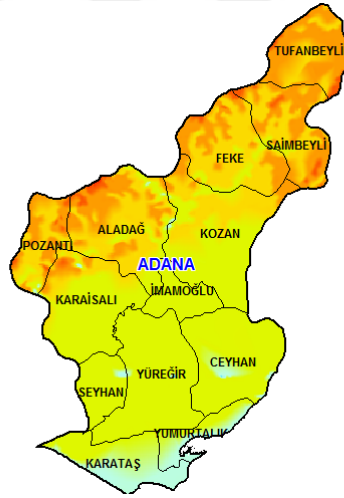
$$Z_{min3} = \sum h_i A_i$$

Toplam maliyet fonksiyonu panel, evirici ve akü bileşenlerinin minimize edilen maliyetlerinin toplamı olmaktadır.

$$Z_{min1} + Z_{min2} + Z_{min3}$$

#### 5.4. Endüstriyel Yapı Uygulama Modeli

Adana'da bulunan bir A endüstriyel yapının çatısına güneş enerji sistemi kurulmak istenmiştir. Çatıda kurulacak olan güneş enerjisi sistemi için gerekli veriler modele yerleştirilmek üzere işletmeden alınmıştır. Karar destek modelinin çalışma mekanizması aşağıdaki gibidir.

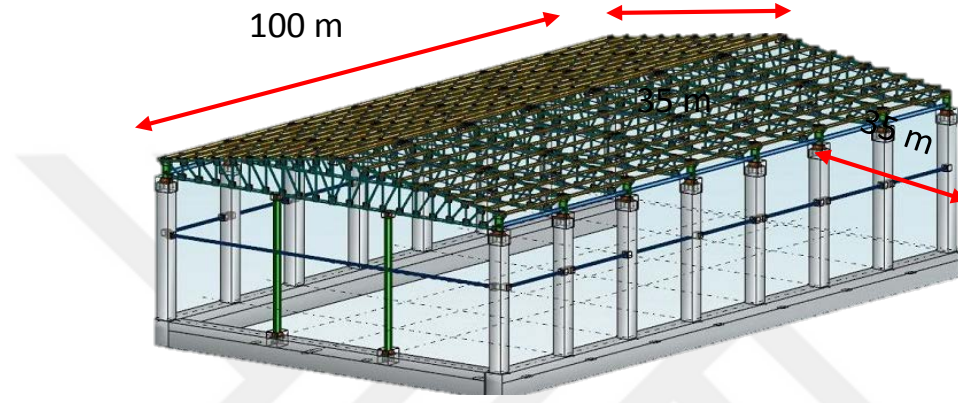


Şekil 20. Adana İli Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası [61]

İşletme yetkililerinden çatı alanı ve kurulu güç bilgileri temin edilmiştir. Endüstriyel kullanıcılarda aylık tüketim faturasından ziyade kurulu gücün alt sınır alınarak yapıldığı hesaplar daha optimum hesaplar olmaktadır. Bu nedenle kurulu güce

göre hesaplar yapılarak model oluşturulmuştur. Kullanıcı yapının bulunduğu Adana'da güneşlenme süresi günlük 7 saat olarak belirlenmiştir.

Ayrıca çatı ölçüleri 70 – 100 m olarak verilmiştir.



**Şekil 21.** Endüstriyel Model Çatı Ebatları

Tüketicinin ihtiyacına yönelik verilerin elde edilmesiyle doğrusal programlama sistemi kullanılarak panel, evirici ve akü seçimi yapılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan doğrusal programlama sisteminin hedefi, kurulum maliyetini minimum olacak şekilde panel, evirici ve akü elemanlarından ihtiyaç duyulan adet ve güçte marka seçimi yapmaktır.

Modelde 9 farklı panel markası bulunmaktadır. Markaların güç, fiyat, verim, garanti süresi ve en boy ölçüleri gibi değişkenler mevcuttur. Bu değişkenlere göre modelin seçeceği sistem her ihtiyaca göre değişecektir.

Farklı marka panellerin ürettiği akım ve gerilim değerleri farklılık gösterdiğinden bir sistemde farklı markalardan oluşan bir kurulum elektriksel sorunlar çıkarabilmektedir. Bu nedenle tek marka panel kullanılması ilk kısıttır.

İlk olarak yapay değişken kurulmaktadır. Yapay değişken kurma sebebi tek markadan bir adet seçilmesi gerektiğindedir. Yapay değişken sistemde kaç adet panele gereksinim olduğunun sonucunu vermektedir. Yapay değişkeni sağlamak için bir kısıta ihtiyaç olmaktadır. Bu kısıt değişkeni karar değişkeni olmaktadır.

$$x_i - 1000y_i \leq 0$$

#### 5.4.1. Panel Kısıtı

Yapay değişkenin tek marka panel seçim yapabilme kısıtı :

$$y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8 + y_9 = 1$$

$x - My$  ; M büyük bir katsayı olmak üzere x değişkeni 0'dan farklı bir değer aldığıında y değişkeninin 1 değerini almasını sağlayan kısıtlar :

$$x_i - 1000y_i \leq 0$$

Endüstriyel yapılarda kurulu gücün alt sınır alınması gerektiği kısıt aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$260 \times x_1 \geq 450000$$

$$260 \times x_2 \geq 450000$$

$$250 \times x_3 \geq 450000$$

$$250 \times x_4 \geq 450000$$

$$265 \times x_5 \geq 450000$$

$$265 \times x_6 \geq 450000$$

$$265 \times x_7 \geq 450000$$

$$265 \times x_8 \geq 450000$$

$$265 \times x_9 \geq 450000$$

#### 5.4.2. Panel Amaç Fonksiyonu (Z)

Önerilen modelde panel seçimindeki amaç tüm kısıtları sağlayan en düşük maliyetli çözümü bulmaktır.  $c_i$  ,  $i$  panelinin birim maliyeti, ve  $x_i$  ,  $i$  panelinden kullanılan adet olmak üzere panel maliyet fonksiyonu aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$Z_{min1} = 112,42 \times x_1 + 102,65 \times x_2 + 115,15 \times x_3 + 119,85 \times x_4 + 109,60 \times x_5 + 124,55 \times x_6 + 99,64 \times x_7 + 124,55 \times x_8 + 163,00 \times x_9$$

Modelde 9 adet marka evirici bulunmaktadır. Markaların fiyat ve güç verileri mevcuttur. Bu değişkenlere göre modelin seçeceği sistem her ihtiyaca göre değişecektir. Paneldeki gibi tek marka kullanımı zorunlu olmamaktadır.

Sistem gücünü karşılayabilecek eviriciler karar destek modelinde seçilmektedir. Fakat eviricilerin kayıp oranlarını göz önünde bulundurarak sistem gücünü karşılayabilecek evirici kapasitesini 1.2 katsayı fazlasını kabul etmek gerekmektedir.

Evirici kapasite hesabı;

$$450000 \text{ w} \times 1.2 = 540000 \text{ w}$$

(Karşılanan enerjinin evirici kapasitesi)

**Tablo 4.** Panel Model Tablosu

Panel	Güç (Watt)	En (m)	Boy (m)	Fiyat (Euro)	Birim Fiyat (Euro)	Verim	Garanti Süresi
Csun	260	0,99	1,64	112,42	0,43	16.01%	10
Jinko Solar	260	0,99	1,65	102,64	0,39	16.50%	10
Bereket Enerji	250	0,98	1,65	115,15	0,46	15.0%	10
First Solar	250	0,98	1,66	119,85	0,47	15.0%	10
Hanwha	265	1	1,66	109,60	0,41	16.9%	12
Schmid Pekintaş	265	1,01	1,66	124,55	0,47	15.9%	10
JA Solar	265	0,99	1,65	99,64	0,37	16.19%	12
BenQ Solar	265	0,98	1,63	124,55	0,47	16.4 %	10
Gazioğlu Solar	265	0,99	1,64	163	0,61	16.31%	10

#### 5.4.3. Evirici Kısıtı

İhtiyaç duyulan evirici gücünün, kurulan sistem tarafından karşılanmak zorunda olduğunu gösteren evirici doğrusal kısıtı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$7,5 \times I_1 \geq 540000$$

$$5 \times I_2 \geq 540000$$

$$2,5 \times I_3 \geq 540000$$

$$10 \times I_4 \geq 540000$$

$$6 \times I_5 \geq 540000$$

$$3 \times I_6 \geq 540000$$

$$20 \times I_7 \geq 540000$$

$$30 \times I_8 \geq 540000$$

$$27 \times I_9 \geq 540000$$

#### 5.4.4. Evirici Amaç Fonksiyonu

Modelde evirici seçimimizden dolayı ikinci bir maliyet kalemi oluşmaktadır.  $i$  eviricisinin birim maliyeti ve  $I_i$ ,  $i$  eviricisinden kullanılan adet olmak üzere evirici maliyet fonksiyonu aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$Z_{min2} = 1350 \times I_1 + 1200 \times I_2 + 980 \times I_3 + 1650 \times I_4 + 3210 \times I_5 \\ + 1338 \times I_6 + 850000 \times I_7 + 70000 \times I_8 + 125000 \times I_9$$

Modelde 7 adet marka akü bulunmaktadır. Markaların farklı güç ve fiyattaki verileri mevcuttur. Bu değişkenlere göre modelin seçeceği sistem her ihtiyaca göre değişecektir. Paneldeki gibi tek marka kullanımı zorunlu olmamaktadır.

Akü off-grid şebekelerde kullanılmaktadır. Bu nedenle on-gridd şebekelerde akü kullanmaya gerek yoktur.

**Tablo 5.** Evirici Model Tablosu

Evirici	Güç (KW)	Fiyat (Euro)
Sma	7,5	1350
Chint	5	1200
Abb	2,5	980
Fronius	10	1650
Goodwe	6	3210
Piko	20	1921
Fronius	20	85000
Huawei	30	70000
Solaredge	27	125000
Piko	10	1340



#### 5.4.5. Akü Kısıtları

İhtiyaç duyulan günlük akü gücünü kurulan sistem tarafından karşılamak zorunda olduğunu gösteren kısıt uygulanmamıştır, bunun sebebi büyük güçlerde akünün kullanılmamasıdır.

**Tablo 6.** Akü Model Tablosu

<b>Akümülatör</b>	<b>Kapasite (A)</b>	<b>Fiyat (Euro)</b>
Orbus	100	190,91
Orbus	200	363,64
Panasonic	200	422,73
Ritar	100	164,55
FZA	200	434,02
Gel Energy	150	346
Exide jel	210	410

#### 5.4.6. Ana Amaç Fonksiyonu

Ana amaç fonksiyonu olan panel, evirici ve akü bileşenlerinin minimize edilmiş maliyetlerinin toplamını gösteren kısıt aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Sistem elemanı olarak akü kullanılmadığından sistem elemanı olan panel ve evirici toplamı dikkate alınmıştır.

$$Z_{min1} + Z_{min2}$$

#### 5.4.7. Endüstriyel Model Sonucu

Endüstriyel model uygulamasında aşağıdaki veriler kullanılmıştır. Veriler sonucunda excel solver programlama sistemi jinko marka panelden 1717 adet

seçmiştir. Paneller çatıda 17 sıra dikey dizilimli belirlenmiştir. Fronuis marka eviriciden 10kw 54 adet seçilmiştir. Seçilen sistem elemanları minimum maliyet hedeflenerek belirlenmiştir. Toplam sistem maliyeti 219107 Euro olarak belirlenmiştir.

### 5.5. Ev Tipi Yapı Uygulama Modeli

Tüketim faturasına göre, A müşterisi aylık 700 TL elektrik faturası ödemektedir.. Modelde kullanılan sistemin karşılayacağı enerji miktarının hesaplanması için aylık ödenen fatura miktarı bu hesap için yeterli olmuştur. Ev tipi sistemlerde tüketim faturasının alt limit olarak alınması optimum sonucu vermektedir kWh başına düşen enerji maliyeti Türkiye için 0,37 TL dir.

Buna göre;

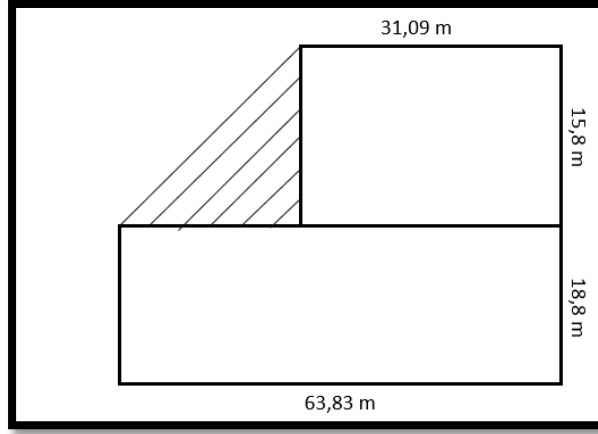
$$100/0.37 = 270,27 \text{ kwh aylık karşılanması gereken enerji miktarı}$$

$$270/30 = 9 \text{ kwh günlük karşılanması gereken enerji miktarı}$$

$$9/7 = 1,29 \text{ kwh saatlik karşılanması gereken enerji miktarı}$$

$$1,29 \text{ kw} = 1290 \text{ w}$$

Sistem 1,29 kwh  $\cong$  2 kwh enerjiyi sağlaması gerekmektedir.



**Şekil 22.** Ev Tipi Model Çatı Ebatları

Tüketicinin ihtiyacına yönelik veriler elde edilmesiyle doğrusal programlama sistemi kullanılarak panel, evirici ve akü seçimi yapılmaktadır. Bu doğrusal programlama sistemi, kurulum maliyetini minimum olacak şekilde hedefleyerek panel, evirici ve akü elemanlarından ihtiyaç adet ve güçte marka seçimi yapmaktadır.

Modelde 9 farklı panel markası bulunmaktadır. Markaların güç, fiyat, verim, garanti süresi ve en boy ölçüleri gibi değişken verilerimiz mevcuttur. Bu değişkenlere göre modelin seçeceği sistem her ihtiyaca göre değişecektir.

Farklı marka panellerin ürettiği akım ve gerilim değerleri farklılık gösterdiğinden bir sistemde farklı markalardan oluşan bir kurulum elektriksel sorunlar çıkarabilmektedir. Bu nedenle tek marka panel kullanılması ilk kısıttır.

İlk olarak yapay değişken kurulmaktadır. Yapay değişken kurma sebebi tek markadan bir adet seçilmesi gerekmesidir. Yapay değişken sistemde kaç adet panel gereksinim olduğunun sonucunu vermektedir.

Yapay değişkeni sağlamak için bir kısıta ihtiyacımız olmaktadır. Bu kısıt değişkeni bizim karar değişkeni olmaktadır.

$$x_i - 1000y_i$$

### 5.5.1. Panel Kısıtları

Yapay değişkenin yardımı ile tek bir marka seçim yapmayı sağlayan kısıt aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8 + y_9 = 1$$

Aşağıdaki kısıt (M büyük bir katsayı olmak üzere) x değişkeni 0'dan farklı bir değer aldığında y değişkeninin 1 değerini almasını sağlayan kısıt aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$x_i - 1000y_i \leq 0$$

Bireysel kullanıcılarda hesaplarda aylık tüketim faturasının alt sınır alınması gerektiği kısıt aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$260 \times x_1 \geq 2000$$

$$260 \times x_2 \geq 2000$$

$$250 \times x_3 \geq 2000$$

$$250 \times x_4 \geq 2000$$

$$265 \times x_5 \geq 2000$$

$$265 \times x_6 \geq 2000$$

$$265 \times x_7 \geq 2000$$

$$265 \times x_8 \geq 2000$$

$$265 \times x_9 \geq 2000$$

### 5.5.2. Panel Amaç Fonksiyonu ( Z )

Önerilen modelde panel seçimindeki amaç tüm kısıtları sağlayan en düşük maliyetli çözümü bulmaktır.  $c_i$  ,  $i$  panelinin birim maliyeti, ve  $x_i$  ,  $i$  panelinden kullanılan adet olmak üzere panel maliyet fonksiyonu aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$Z_{min1} = 112,42 \times x_1 + 102,65 \times x_2 + 115,15 \times x_3 + 119,85 \times x_4 + 109,60 \times x_5 + 124,55 \times x_6 + 99,64 \times x_7 + 124,55 \times x_8 + 163,00 \times x_9$$

Modelde 9 adet marka evirici bulunmaktadır. Markaların fiyat ve güç verileri mevcuttur. Bu değişkenlere göre modelin seçeceği sistem her ihtiyaca göre değişecektir. Paneldeki gibi tek marka kullanımı zorunlu olmamaktadır.

Evirici kapasite hesabı;

$$2000 w \times 1.2 = 2400 w \text{ (Karşılanan gücün evirici kapasitesi)}$$

### 5.5.3. Evirici Ksıtı

İhtiyaç duyulan evirici gücünün, kurulan sistem tarafından karşılanmak zorunda olduğunu gösteren evirici doğrusal kısıtı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$7,5 \times I_1 \geq 2400 w$$

$$5 \times I_2 \geq 2400 w$$

$$2,5 \times I_3 \geq 2400 w$$

$$10 \times I_4 \geq 2400 w$$

$$6 \times I_5 \geq 2400 w$$

$$3 \times I_6 \geq 2400 w$$

$$20 \times I_7 \geq 2400 w$$

$$30 \times I_8 \geq 2400 w$$

$$27 \times I_9 \geq 2400 w$$

#### 5.5.4. Evirici Amaç Fonksiyonu ( Z )

Modelde evirici seçimimizden dolayı ikinci bir maliyet kalemi oluşmaktadır.  $i$  eviricisinin birim maliyeti ve  $I_i$  ,  $i$  eviricisinden kullanılan adet olmak üzere evirici maliyet fonksiyonu aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$Z_{min2} = 1350 \times I_1 + 1200 \times I_2 + 980 \times I_3 + 1650 \times I_4 + 3210 \times I_5 \\ + 1338 \times I_6 + 850000 \times I_7 + 70000 \times I_8 + 125000 \times I_9$$

Modelde 7 adet marka akü bulunmaktadır. Markaların farklı güç ve fiyattaki verileri mevcuttur. Bu değişkenlere göre modelin seçeceği sistem her ihtiyaca göre değişecektir. Paneldeki gibi tek marka kullanımı zorunlu olmamaktadır.

Akü off-grid şebekelerde kullanılmaktadır. Bu nedenle on-grid şebekelerde akü kullanmaya gerek yoktur. Günlük enerji ihtiyacına göre akü kapasitesi seçilmektedir. Günlük enerji kapasitemiz ile güneşlenme süresini çarparak o gün depolanması gereken enerji bulunur ve akü kapasitesi buna tekabül etmektedir.

$$2000 \text{ w} \times 7 \text{ h} = 14000 \text{ wh}$$

(Günlük depolama ihtiyacını karşılayacak akü kapasitesi)

$$1400/12 = 1167$$

(Günlük ihtiyaç duyulan akü amper kapasitesi)

### 5.5.5. Akü Kısıtı

İhtiyaç duyulan günlük akü gücünü kurulan sistem tarafından karşılamak zorunda olduğunu gösteren kısıt aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$100 A \times A_1 \geq 1167$$

$$200 A \times A_2 \geq 1167$$

$$200 A \times A_3 \geq 1167$$

$$100 A \times A_4 \geq 1167$$

$$200 A \times A_5 \geq 1167$$

$$150 A \times A_6 \geq 1167$$

$$210 A \times A_7 \geq 1167$$

### 5.5.6. Akü Amaç Fonksiyonu

Modelde akü seçimimizden dolayı üçüncü bir maliyet kalemi oluşmaktadır.  $h_i$ ,  $i$  aküsünün birim maliyeti ve  $A_i$   $i$  aküsünden kullanılan adet olmak üzere akü maliyet fonksiyonu aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$Z_{min3} = 190,91 \times A_1 + 363,64 \times A_2 + 422,73 \times A_3 + 164,55 \times A_4 \\ + 434,02 \times A_5 + 346,00 \times A_6 + 410,00 \times A_7$$

### 5.5.7. Ana Amaç Fonksiyonu

Ana amaç fonksiyonu olan panel, evirici ve akü bileşenlerinin minimize edilmiş maliyetlerinin toplamını gösteren kısıt aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$Z_{min1} + Z_{min2} + Z_{min3}$$

### 5.5.8. Ev Tipi Yapı Modeli Uygulama Sonucu

Tablodaki kullanılan veriler sonucunda excel solver programlama sistemi aylık 700 TL elektrik faturası gelen ev tipi yerleşkede Jinko marka panelden 265w 38 adet seçmiştir. Piko marka eviriciden 20 kW 1 adet seçilmiştir. Ritar marka aküden 59 adet seçilmiştir. Seçilen sistem elemanları minimum maliyet hedeflenerek belirlenmiştir. Toplam sistem maliyeti 15416 Euro olarak bulunmuştur. (Bkz: Tablo (4,5,6))





## 6. SONUÇ

Günümüzde yenilenebilir enerji ihtiyacının giderek arttığı ve kullanımına yönelik alınan aksiyonlar oldukça fazla görülmektedir. Santral uygulamaları dışında bireysel ihtiyaca yönelik enerji üretimi uygulamaları örnekleri gittikçe artmaktadır. Güneş enerjisinden elektrik üretiminin ülkemizdeki önemi göz önünde bulundurularak çatı uygulamaları enerji üretiminin bu alanda payı oldukça büyüktür. Çatı güneş enerjisi uygulamalarının artışı bireysel tüketici ihtiyacını karşılaması yanı sıra sistem kurulumundaki zorluklarla birlikte oluşan sıkıntıları da meydana çıkarmıştır. Temel sorunlar kullanıcıların sistem kurulum kararını vermelerinde, optimizasyon ve teknik bilgi konu eksikliğinden kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmada bu zorluklardan kaynaklanan sıkıntıları giderebilmek, sistem kurulumunun optimize halini oluşturmak, karar verici programı ile birlikte çözümünü sağlamak amacı ile yapılmıştır. Çalışma içinde karar verici programı destekleyici matematiksel modeller önerilmiştir. Bu matematiksel model önerisinin iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Sistem elemanları ve maliyet açısından optimize sonuçlar ortaya çıkarılmıştır.

İleride kullanıcıların zorluk yaşadığı ihtiyaçların kolay hale getirilmesi için bu modelin yazılım hale getirilmesi, böylece yenilenebilir enerji kullanımının kurulum açısından kolaylaştırılması sağlanacağı hedeflenmektedir.

Kullanıcıların çatı güneş sistemi kurulumu talep etmesi aşamasında yaşadıkları teknik bilgi eksikliklerinden kaynaklanan karar verme zorluklarını çözebilecek olan bu program sisteminin yazılım haline getirilmesi ile yenilenebilir enerji kullanımının kurulum açısından kolaylaştırılması ve taleplerin artırılması hedeflenmektedir.

## 7. KAYNAKÇA

[1] Mutlu YILMAZ, “Türkiye’nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi” , Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi 4(2), 33-54 (2012)

[2] [http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g\\_enj\\_tekno.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx) “Güneş Enerjisi ve Teknolojileri” erişim tarihi : 05.04.2017

[3] World Energy Council Turkish National Committee, “Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi Raporu” Ankara / Haziran 2009

[4] [http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g\\_enj\\_tekno.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx) , “Güneş Enerjisi ve Teknolojileri” erişim tarihi : 15.05.2017

[5] Jamey L. Jenkins, The Sun and How to Observe It, Springer, 2009

[6] [http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g\\_enj\\_tekno.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx); “Güneş Enerjisi ve Teknolojileri” erişim tarihi: 15.05.2017

[7] Prof. Dr. Eralp ÖZİL, Dr. Sedat Şişbot, Dr. Burak OLGUN, “Elektrik Enerjisi Teknolojileri Ve Enerji Verimliliği Kitabı” Türkiye Elektrik Sanayi Birliği, 2012-01-01

[8] <http://www.bilgimanya.com/silisyum-nedir-kullanim-alanlari-ve-ozellikleri/> ; Silisyum Elementi Özellikleri; erişim tarihi: 24.05.2017

[9] [http://www.emo.org.tr/ekler/6498f1f48b54a20\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/6498f1f48b54a20_ek.pdf) ; Ercan Zengin, “Güneş Pillerinin Enerji Dönüşüm Kalitesini Etkileyen Önemli Faktörler”

[10] Prof. Dr. Eralp Özil, Dr. Sedat Şişbot, Dr. Burak Olgun ; “Elektrik Enerjisi Teknolojileri Ve Enerji Verimliliği Kitabı” ; “Türkiye Elektrik Sanayi Birliği”, 2012-01-01

[11] [http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g\\_enj\\_tekno.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx) ; “Güneş Enerjisi ve Teknolojileri” erişim tarihi: 04.06.2017

[12] [http://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode\\_2.html](http://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_2.html) ; PN Junction Theory erişim tarihi: 05.06.2017

[13] Allocca, A., John., Stuart, Fc. D. Allen.; “Transducers Theory and Application”

[14] <https://cleantechnica.com/2014/09/04/solar-panel-cost-trends-10-charts/>; 13 Charts On Solar Panel Cost & Growth Trends

[15] [http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g\\_enj\\_tekno.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx); “Güneş Enerjisi ve Teknolojileri” erişim tarihi: 15.06.2017

[16] <https://cleantechnica.com/2014/09/04/solar-panel-cost-trends-10-charts/>; 13 Charts On Solar Panel Cost & Growth Trends

[17] [http://solarcellcentral.com/markets\\_page.html](http://solarcellcentral.com/markets_page.html); “Solar Market Research”

[18] Ayşe Çeik Bedeloğlu, Ali Demir, Yalçın Bozkurt; “Fotovoltaik Teknolojisi: Türkiye Ve Dünyadaki durumu, Genel Uygulama Alanları ve Fotovoltaik Tekstilller” Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi; Cilt no:4, No:2, 2010 (43-58)

[19] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı; “2015 MİLGES, MİLHES, MİLKANAT ve (YGDA) Sistemi Geliştirilmesi Projeleri” 7.5.2015.

[20] <http://arsiv.indigodergisi.com/47/mk004.htm>, Karaarslan, M. ; “Çevre” 2009 erişim tarihi: 20.06.2017

[21] Fatma Çanka Kılıç; “Güneş Enerjisi Türkiye’deki Son Durumu Ve üretimde Teknolojileri “ Makale / cilt 56, sayı 671

[22] <http://www.e-cografya.org> “Coğrafi Koordinat Sistemi” 2012; son erişim tarihi: 30.06.2017

[23] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı; “2015 MİLGES, MİLHES, MİLKANAT ve (YGDA) Sistemi Geliştirilmesi Projeleri” 7.5.2015

[24] <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes>, “ETKB. 2015. “Güneş,” 22.06.2015 erişim tarihi: 02.07.2017

[25] <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>; “Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü GEPA”, erişim tarihi: 08.08.2017

[26] <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes>, “ETKB. 2015. “Güneş,” 22.06.2015 erişim tarihi: 15.08.2017

[27] <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>; “Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü GEPA, erişim tarihi: 20.08.2017

[28] <http://enerjienstitusu.com/turkiye-kurulu-elektrik-enerji-gucu-mw/> “Türkiye'nin Yakıt Cinslerine Göre Kurulu Elektrik Gücü”

[29] <http://www.memurlar.net/haber/579900/hafta-sonu-evi-icin-gunesten-elektrik-uretiminin-malieteti.htm> Fatih Uyar; “Ev Tipi Güneş Enerjisi” 23 Nisan 2016; erişim tarihi: 02.09.2017

[30] Güneş Enerjisi Sanayicileri Ve Endüstricileri Derneği “Güneş Enerjisi Santrali (GES) Yatırım Süreci ve Mevzuat; EMO-GENSED-İTÜ / 23.01.2015

[31] <http://www.enerjigunlugu.net/icerik/17919/lisanssiz-ges-projeleri-6-bini-asti.html> “Lisanssız GES Projeleri Güncel Haberler” 17.09.2017

[32] [http://www.tedas.gov.tr/#!/tedas\\_lisanssizelektrikuretimi](http://www.tedas.gov.tr/#!/tedas_lisanssizelektrikuretimi) ; “Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş” erişim tarihi: 17.09.2017

[33] Güneş Enerjisi Sanayicileri Ve Endüstricileri Derneği “Güneş Enerjisi Santrali (GES) Yatırım Süreci ve Mevzuat; EMO-GENSED-İTÜ / 23.01.2015

[34] [http://194.27.49.11/makine/ikaymaz/optimizasyon/dosyalar/DERS\\_1\\_OPTIMIZASYONA\\_GIRIS.pdf](http://194.27.49.11/makine/ikaymaz/optimizasyon/dosyalar/DERS_1_OPTIMIZASYONA_GIRIS.pdf); Doç.Dr.İrfan Kaymaz; “Optimizasyon Teknikleri” Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Ders Sunumu; erişim tarihi: 18.09.2017

[35] **Doç. Dr. Metin Türkay**, “Optimizasyon Yöntemleri ve Çözüm Metodları”, Koç Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği

[36] [http://194.27.49.11/makine/ikaymaz/optimizasyon/dosyalar/DERS\\_1\\_OPTIMIZASYONA\\_GIRIS.pdf](http://194.27.49.11/makine/ikaymaz/optimizasyon/dosyalar/DERS_1_OPTIMIZASYONA_GIRIS.pdf); Doç.Dr.İrfan Kaymaz; “Optimizasyon Teknikleri” Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Ders Sunumu; erişim tarihi: 18.09.2017

[37] Beyzanur ayır Ervural, Bilal Ervural, Ramazan Evren, “Enerjide Optimizasyon Uygulamaları / Optimizastion Models in Energy”

[38] ALAN M.Ali ve Yeşilyurt Cavıt, “Doğrusal Programlama Problemlerinin Excel ile Çözümü” Cumhuriyet Üniversitesi, İ.İ.B.F, Cilt 5, Sayı 1, 2004, ss. 152-155

[39] Hasan Yılmaz; “Doğrusal Programlama Tekniğı ile Üretim Planlamasının Mobilya Sektöründe Uygulaması” Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 2010

[40] Prof.Dr. Ünal H. Özden; “Yöneylem Araştırması”, 12.10.2015; sunum.ppt

[41] Hillier, F. S. ve Lieberman, G.J. (1995), [http://web.itu.edu.tr/~cebife/DP\\_model\(2\).pdf](http://web.itu.edu.tr/~cebife/DP_model(2).pdf) “Introduction to Mathematical Programming” McGraw-Hill Publishing Company, p.213.

[42] Prof.Dr. Ünal H. Özden; “Yöneylem Araştırması”, 12.10.2015; sunum.ppt

[43] Doç. Dr. Demet Bayraktar Yard. Doç. Dr. Ferhan Çebi; “İşletme Fakültesi İşletme Mühendisliğı Bölümü” Yöneylem Ders notları / Eylül 2003

[44] Yılmaz Karakoyunlu, “Doğrusal Programlama ve Oyun Teorisi” , Ege Matbaası , Ankara , 1973.

[45] Prof.Dr. Ünal H. Özden; “Yöneylem Araştırması”, 12.10.2015; sunum.ppt

[46] Ausiello G., Cerscenzi P., Kann V., Marchetti-Spaccamela A. and Protasi M., 1999, “Complexity and Approximation: Combinatorial Optimization Problems and their Approximability Properties”, Springer, Berlin, 524p.

[47] TMMOB. (2012) “ Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği ( No: 589) ” Ankara: TMMOB Makine Mühendisleri

[48] Beyzanur Çayır Ervural , Bilal Ervural, Ramazan Evren; “Enerjide Optimizasyon Uygulamaları” , “Optimizastion Models in Energy”

[49] Iqbal, M., Azam, M., Naeem, M., Khwaja, A. S. ve Anpalagan, A. (2014) “ “Optimization classification, algorithms and tools for renewable energy: A review Renewable and Sustainable Energy Reviews”, 39, 640–654. doi:10.1016/j.rser.2014.07.120

[50]

[https://www.konya.edu.tr/storage/files/department/elektrikelektronikmuhendisligi/Editor/DERS/YElkEnrUrt/Fotovoltaik\\_Sistemler\\_ve\\_Uygulamalari.pdf](https://www.konya.edu.tr/storage/files/department/elektrikelektronikmuhendisligi/Editor/DERS/YElkEnrUrt/Fotovoltaik_Sistemler_ve_Uygulamalari.pdf); “Fotovoltaik Sistemler Ve Uygulamaları” TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası / Eğitim Ve seminer Etkinlikleri 2013 erişim tarihi: 25.09.2017

[51] Samet Çalıkoğlu, Engin Özdemir, Mehmet Uçar; [http://www.emo.org.tr/ekler/c32d38f16f1aadb\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/c32d38f16f1aadb_ek.pdf) ; “Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Elektrik Üretim Sistemlerinin Güç Kalitesine Etkileri”

[52] <http://www.schmid-pekintas.com/tr/on-grid.php>; Schmid Pekintaş Enerji erişim tarihi: 20.10.2017

[53]

<https://www.konya.edu.tr/storage/files/department/elektrikelektronikmuhendisligi/Ed>

itor/DERS/YElkEnrUrt/FotovoltaiK\_Sistemler\_ve\_Uygulamalari.pdf; “FotovoltaiK Sistemler Ve Uygulamaları” TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası / Eğitim Ve seminer Etkinlikleri 2013 erişim tarihi: 02.11.2017

**[54]** Samet Çalıkoğlu, Engin Özdemir, Mehmet Uçar; [http://www.emo.org.tr/ekler/c32d38f16f1aadb\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/c32d38f16f1aadb_ek.pdf) ; “Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Elektrik Üretim Sistemlerinin Güç Kalitesine Etkileri”

**[55]** <http://www.schmid-pekintas.com/tr/on-grid.php>; Schmid Pekintaş Enerji

**[56]** [https://www.konya.edu.tr/storage/files/department/elektrikelektronikmuhendisligi/Editor/DERS/YElkEnrUrt/FotovoltaiK\\_Sistemler\\_ve\\_Uygulamalari.pdf](https://www.konya.edu.tr/storage/files/department/elektrikelektronikmuhendisligi/Editor/DERS/YElkEnrUrt/FotovoltaiK_Sistemler_ve_Uygulamalari.pdf); “FotovoltaiK Sistemler Ve Uygulamaları” TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası / Eğitim Ve seminer Etkinlikleri 2013 erişim tarihi: 10.11.2017

**[57]** [http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Sehpa%20Üzerine%20Panellerinin%20Montajı.pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Sehpa%20Üzerine%20Panellerinin%20Montajı.pdf); “Yenilenebilir Enerji Teknolojileri” / Milli Eğitim Bakanlığı / 2013 Ankara erişim tarihi: 20.11.2017

**[58]** <https://www.top9solarcompanies.com>; “Solar Compines” erişim tarihi: 25.11.2017

**[59]** [http://www.emo.org.tr/ekler/5888457e79a36b4\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/5888457e79a36b4_ek.pdf); Filiz Bakıcı; “FotovoltaiK Güneş Enerjisi Sistemlerinde Kullanılan Eviriciler ve Seçim Kriterleri” - ABB Elektrik San. A.Ş. , erişim tarihi: 25.11.2017



[60] İzmir [http://www.emo.org.tr/ekler/38f0038bf09a40b\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/38f0038bf09a40b_ek.pdf); Eşref Deniz “Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar” “Akademi Enerji” erişim tarihi: 25.11.2017

[61] <http://www.abb.com.tr/product/tr/9AAC172308.aspx?country=TR>; “ABB Solar Evirici” erişim tarihi: 25.11.2017

[62] [https://www.konya.edu.tr/storage/files/department/elektrikelektronikmuhendisligi/Editor/DERS/YElkEnrUrt/Fotovoltaik\\_Sistemler\\_ve\\_Uygulamalari.pdf](https://www.konya.edu.tr/storage/files/department/elektrikelektronikmuhendisligi/Editor/DERS/YElkEnrUrt/Fotovoltaik_Sistemler_ve_Uygulamalari.pdf); “Fotovoltaik Sistemler Ve Uygulamaları” TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası / Eğitim Ve seminer Etkinlikleri 2013 erişim tarihi: 25.11.2017

[63] <http://arsiv.indigodergisi.com/47/mk004.htm>, Karaarslan, M. ; “Çevre” 2009 erişim tarihi: 20.06.2017

## EKLER

### Ek 1. Yenilenebilir Enerji Sistemleri Optimizasyonlarında Yaygın Kullanılan Parametre, Kısıt ve Amaçlar

Parametreler	Çözümü araştırılan konular	Kısıtlar	Amaçlar
Yenilenebilir enerji kaynak, birim, tip ve sayısı	Toplam üretilen enerji	Çevresel/atmosfer kısıtları	<b>En Küçükleme (Minimizasyon)</b>
Kullanılan arazi miktarı	Üretim birim kapasite ve sayısı	Talep/yük yönetim kısıtları	Sistem toplam maliyeti
Atmosfer koşulları	Toplam yatırım	Ekonomik/bütçe kısıtları	Birim başına üretilen enerji maliyeti
Yenilenebilir enerji kaynağı birim teknolojisi	Yenilenebilir enerji kaynağının ömrü	Pillerin depolama kapasitesi	Arazi alanı
Operasyon çeşidi	İşlem ve bakım maliyeti	Şarj ve boşaltma kısıtları	Yatırım
İşlem ömrü	Yenilenebilir enerji kaynağının güvenilirliği	Karbondioksit emisyon kısıtları	Toplam bakım maliyeti
Etkinlik	Beklenen kar	Sosyal/düzenleyici kısıtlar	Gürültü ve kirlilik emisyonu
Operasyon ve bakım maliyeti	Tahmin edilen arazi kullanımı	Güç kaybı olasılık kısıtı	Enerji tedariki kayıp olasılığı
Meteoroloji şartları	Yenilenebilir enerji kaynağı birimlerinin en iyi karışımı	Bileşenlerin yaşam ömrü kısıtı	<b>En Büyükleme (Maksimizasyon)</b>
Yenilenebilir enerji kaynak birimlerinin coğrafi yerleşimleri	Yenilenebilir enerji kaynağı açılımı/yerleşimi	Yenilenebilir enerji kaynak birimlerinin güç oran kısıtı	Termal verimlilik
Özel girdilerle ilgili yenilenebilir enerji kaynakları	Yenilenebilir enerji kaynağı ile ilgili özel değişkenler	Dağıtım hatlarında maksimum güç akış limit	Toplam güç üretimi
		Yenilenebilir enerji kaynakları için kullanılan arazi boyutu	Sistem güvenilirliği
		Üretim birimleri	Kar
		Enerji kısıt maliyeti	Yaşam süresi
		Yenilenebilir enerji kaynağı ile ilgili özel kısıtlar	Toplam gelir
			Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ilgili özel amaçlar

## ÖZGEÇMİŞ

3 Haziran 1992 tarihli, bingöl doğumludur. 2011 yılında Beykent Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başlamıştır. 2015 yılındamezun olduktan sonra Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği bölümü yüksek lisansına kaydolmuştur. Özel bir perakende mağazacılık şirketinde ürün planlama uzmanı olarak çalışmaktadır.

**Nurhan HEDEF**

