
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

FUEL OİL İLE ISITILAN BİR TESİSE GÜNEŞ ENERJİSİ ENTEGRASYONUNUN ENERJİ, SÜRDÜREBİLİRLİK VE MALİYET ANALİZİ

Eren SAĞNAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OCAK 2026

ETİK BEYAN

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

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

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

Eren SAĞNAK

13/01/2026

FUEL OİL İLE ISITILAN BİR TESİSE GÜNEŞ ENERJİSİ ENTEGRASYONUNUN ENERJİ, SÜRDÜREBİLİRLİK VE MALİYET ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Eren SAĞNAK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2026

ÖZET

Su ısıtma teknolojilerinin ilerlemesine rağmen eskiden süre gelen petrol türevli kaynakların kullanımı hem çevreyi kirletmekte hem de maddi olarak kullanıcıyı doğrudan olumsuz etkilemektedir. Gelişen teknolojilerin yakından takip edilmeleri ve mümkün olduğunca hali hazırda kullanılan sistemlere entegre edilmeleri gerekmektedir. Bu çalışmada fuel oil ile ısıtılan bir kamu kuruluşu tesisine güneş enerjisi teknolojisinin entegrasyonunun enerji analizi, sürdürülebilirliği ve maliyet analizleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Bunlar yapılırken fuel oil ile ısıtılan sistemin yaktığı yakıt miktarı, ısınmaya dönüşen enerji miktarı gibi veriler deneysel olarak takip edilmiştir. Hali hazırda kullanılan bu sistemin kullanım ömrünü doldurması, sürekli arızalanması dolayısıyla istenilen verimin alınamaması ve çevre kirliliğine neden olması sebebiyle yeni bir çözüm arayışına gidilmiştir. Kullanılan sistemin arazisinin uygun olması, güneş enerjisi teknolojisinin yatırım ve işletme bakım giderlerinin entegrasyona uygun olması maksadıyla bu çalışma hazırlanmıştır. Tasarlanan proje ile fuel oil gibi kullanımı seyrekleşen, eski bir sistemden çıkılmış, yerine çağın gerektirdiği ve modern bir sisteme geçiş yapılmıştır. Yapılan çalışmanın ilk yatırım maliyeti 2 871 229 lira olup, enerjinin satışı durumunda amortisman süresi 10 yıl olarak hesaplanmış, üretilen enerjinin doğrudan kullanılması durumunda ise 3 yıl olarak öngörülmüştür.

Bilim Kodu	:	92811
Anahtar Kelimeler	:	Fuel oil, güneş enerjisi, sürdürülebilirlik, maliyet analizi.
Sayfa Adedi	:	57
Danışman	:	Doç. Dr. Erdem ÇİFTÇİ

ENERGY, SUSTAINABILITY AND COST ANALYSIS OF SOLAR ENERGY INTEGRATION IN A FACILITY HEATED WITH FUEL OIL

(M. Sc. Thesis)

Eren SAĞNAK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2026

ABSTRACT

Despite advances in water heating technologies, the continued use of petroleum-derived resources not only pollutes the environment but also directly impacts users financially. Emerging technologies must be closely monitored and integrated into existing systems whenever possible. This study calculates and compares the energy, sustainability, and cost analyses of integrating solar energy technology into a fuel oil-heated public institution facility. Data such as the amount of fuel burned by the fuel oil-heated system and the amount of energy converted into heating were experimentally monitored. Because the current system had reached the end of its useful life, was constantly malfunctioning, was failing to achieve the desired efficiency, and was causing environmental pollution, a new solution was sought. This study was designed because the site was suitable for the system and the investment and operational maintenance costs of solar energy technology were suitable for integration. The project transitioned from an outdated, rarely used system like fuel oil to a modern, modern system. The initial investment cost of the project is 2 871 229 Turkish lira. The amortization period is calculated as 10 years if the energy is sold. If the produced energy is used directly, the amortization period is estimated to be 3 years.

Science Code	:	92811
Key Words	:	Fuel oil, solar energy, sustainability, cost analysis.
Page Number	:	57
Supervisor	:	Assoc. Prof. Dr. Erdem ÇİFTÇİ

TEŞEKKÜR

Ders aşamalarında ve tezimi hazırlama sürecinde kıymetli yönlendirmeleri ve yardımlarını esirgemeyen başta Doç. Dr. Erdem ÇİFTÇİ olmak üzere, tüm eğitimim süresince manevi destekleriyle yanımda bulunan aileme teşekkür ederim.

Tez süreci içerisinde öncelikle zaman planlanması ve çalışmanın icrası esnasında katkıları bulunan değerli amirlerime, deneyimli büyüklerime, çalışmalarım esnasında yıllar boyunca kazan yakıtlarının miktarlarını ve bakım maliyetlerini takip ederek bu verileri toplayıp, çalışmaya katkı sağlayan mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ xi

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xii

RESİMLERİN LİSTESİ xiii

HARİTALARIN LİSTESİ xiv

SİMGELER VE KISALTMALAR xv

1. GİRİŞ 1

2. FUEL OİL TARİHİ, KULLANIMI VE DEZAVANTAJLARI 3

2.1. Petrolün Keşfi 3

2.2. Fuel Oilin Endüstriyel Kullanımı Ve Yaygınlaşması 3

2.3. Fuel Oil Kullanımındaki Değişim 3

2.4. Dünyadaki Gelişmeler 4

2.4.1. Avrupa'daki fuel oil ithalatçıları 4

2.4.2. Avrupa'daki fuel oil ihracatçıları 5

2.5. Fuel Oil Kullanımının Dezavantajları 5

3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI 7

3.1. Hidrolik Enerji 7

3.2. Jeotermal Enerji 8

3.3. Biyokütle Enerjisi 9

3.4. Rüzgâr Enerjisi 9

3.5. Güneş Enerjisi 10

Sayfa

4. GÜNEŞ PİLİ TARİHİ, GELİŞİMİ VE GÜNEŞ ENERJİSİNİN AVANTAJLARI 11

4.1. Güneş Pili Tarihi Ve Gelişimi 11

4.2. Güneş Enerjisinin Avantajları 11

5. GÜNEŞ ENERJİSİ TEKNOLOJİLERİ 13

5.1. Isıl Güneş Enerjisi Teknolojileri 13

5.1.1. Düşük sıcaklık uygulamaları 13

5.1.2. Yoğunlaştırıcılı ısıl sistemler 14

5.2. Fotovoltaik Güneş Teknolojileri 14

5.2.1. Monokristal fotovoltaik paneller 15

5.2.2. Polikristal fotovoltaik paneller 16

5.2.3. İnce film fotovoltaik paneller 17

5.2.4. Amorf silisyum fotovoltaik paneller 17

5.2.5. Bakır indiyum galyum diselenit fotovoltaik paneller 17

5.2.6. Kadmiyum tellür fotovoltaik paneller 17

5.2.7. Semikristal (yarı kristal) silisyum fotovoltaik paneller 18

5.2.8. Şerit silisyum fotovoltaik paneller 18

5.2.9. Galyum arsenit fotovoltaik paneller 18

6. MATERYAL VE METOT 19

6.1. Fotovoltaik Panel Sistemleri 19

6.1.1. Fotovoltaik panel 19

6.1.2. İnverter 20

6.1.3. Akü 21

6.1.4. Fotovoltaik regülatör 22

6.1.5. Çift yönlü elektrik sayacı 22

6.2. Fuel Oil Sistemleri Bileşenleri 23

Sayfa

6.2.1. Kazan 23
6.2.2. Brülör 25
6.2.3. Tank ısıtıcı boruları 26
6.2.4. Kumanda panosu 26
6.2.5. Servis tankı 26
6.2.6. Termostatik vana 27
6.2.7. Yakıt borusu 27
6.2.8. Günlük tank 28
6.2.9. Ana yakıt tankı 28
7. BULGULAR VE TARTIŞMA 29
7.1. Fuel Oil İle Çalışan Sistemle İlgili Bilgiler 29
7.2. Sistemin İhtiyacının Belirlenmesi 31
7.3. İstanbul'da Seçilen Bölgenin Güneş Enerji Potansiyeli 33
7.4. İstanbul İli Günlük Güneşlenme Süresi 33
7.5. Arazi Etüdü 34
7.6. Güneş Enerjisi Yıllık Enerji Üretimi 36
7.7. Güneş Paneli Hesabı 37
7.7.1. Güneş paneli seçimi 38
7.8. İnverter Hesabı 39
7.8.1. İnverter seçimi 40
7.9. Diğer Parçalar 40
8. MALİYET ANALİZİ 41
8.1. Maliyet Analizi 41
8.1.1. Fuel oil sistemi 41
8.1.2. Güneş enerjili sistem 43
9. SONUÇ VE ÖNERİLER 49

Sayfa

KAYNAKLAR 51

EKLER..... 55

EK-1. Resmî Gazete..... 56

ÖZGEÇMİŞ 57

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 6.1. İnverter seçimi 20

Çizelge 6.2. Kullanılan kazan özellikleri 23

Çizelge 6.3. Kullanılan kazanın fiziksel özellikleri 24

Çizelge 6.4. Brülör mekanik özellikleri 25

Çizelge 6.5. Brülör elektriksel özellikleri 26

Çizelge 6.6. Tank ısıtıcı boruları fiziksel özellikleri 26

Çizelge 7.1. Güneşlenme süresi 34

Çizelge 7.2. Güneş panelinin elektriksel ve mekanik özellikleri 39

Çizelge 7.3. İnverter özellikleri 40

Çizelge 8.1. Fuel oil kazanının yakıt giderleri 41

Çizelge 8.2. Güneş enerji sistemi kurulum maliyetleri 43

Çizelge 8.3. YEKDEM fiyatlandırması 45

Çizelge 8.4. Fayda-masraf analizi birinci durum 47

Çizelge 8.5. Fayda-masraf analizi ikinci durum 48

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Avrupa'daki fuel oil ithalatçıları 4

Şekil 2.2. Avrupa'daki fuel oil ihracatçıları..... 5

Şekil 3.1. Türkiye üretim ve potansiyel hidrolik enerjisi ülkelere göre dağılım 8

Şekil 3.2. Türkiye jeotermal enerji kurulu güç potansiyeli ülkelere göre dağılımı 8

Şekil 3.3. Türkiye rüzgâr enerjisi yıllara göre dağılımı 9

Şekil 4.1. Güneş pillerinin yıllar içindeki fiyat değişimi..... 11

Şekil 5.1. Monokristal güneş paneli üretim aşamaları..... 16

Şekil 6.1. PV sistem on grid şeması 19

Şekil 6.2. Fuel oil ile çalışan sistem..... 23

Şekil 7.1. İstanbul ili yıllık güneşlenme süreleri..... 34

Şekil 7.2. Seçilen Arazinin aylık enerji miktarı $kWhay$ 35

Şekil 7.3. Seçilen arazinin aylık radyasyon miktarı $kWhm2ay$ 36

Şekil 7.4. Yıllık enerji üretimi 37

Şekil 8.1. Fuel oil kazanı bakım giderleri..... 42

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 6.1. İnverter 21

Resim 6.2. Solar akü 21

Resim 6.3. Fotovoltaik regülatör 22

Resim 6.4. Çift yönlü elektrik sayacı 22

Resim 6.5. Fuel oil kazanı 24

Resim 6.6. Brulör 25

Resim 6.7. Kumanda panosu 26

Resim 6.8. Termostatik vana 27

Resim 6.9. Yakıt borusu 27

Resim 6.10. Günlük tank 28

Resim 6.11. Ana yakıt tankı 28

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita **Sayfa**

Harita 7.1. İstanbul ili yıllık metrekareye düşen güneş enerjisi 33

Harita 7.2. Kurulacak sistemin yerinin belirlenmesi 35

Harita 7.3. Sistemin trafo merkezine olan uzaklığı..... 36

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
A	Amper
cm^2	Santimetrekare
CO_2	Karbondioksit
c_p	Özgül ısı
d/d	Devir/dakika
E_{litre}	Enerji
GW	Gigawatt
h	Saat
kcal	Kilokalori
Kg	Kilogram
Kt	Kiloton
kV	Kilovolt
KW	Kilowatt
Kwh	Kilowattsaat
$\dot{m}$	Birim zamandaki kütle
m^2	Metrekare
m^3	Metreküp
MJ	Megajoule
MW	Megawatt
MWe	Megawatt elektrik
$T_{çıkış}$	Çıkış sıcaklığı
$T_{giriş}$	Giriş sıcaklığı
V	Volt
W	Watt
℃	Santigrad derece
$\dot{q}$	Birim zamandaki ısı

Simgeler	**Açıklamalar**
cm	Santimetre
eV	Elektronvolt
kj	Kilojoule
kva	Kilovolt amper
l	Litre
mm	Milimetre
$Vmax$	Maksimum voltaj
Wp	Watt peak
ρ	Yoğunluk

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
AC	Alternating current (Alternatif akım)
α-Si	Amorf silikon
BDF	Birim değer faktörü
CdS	Kadmiyum sülfür
CdTe	Kadmiyum tellür
CIGS	Bakır indiyum galyum selenit
DC	Direct current (Doğru akım)
GES	Güneş enerjisi santrali
Isc	Short –circuit current (Kısa devre akımı)
MÖ	Milattan önce
MS	Milattan sonra
NBD	Net bugünkü değer
PV	Fotovoltaik

1. GİRİŞ

Günümüzde hızla artan enerji talebine karşın, mevcut enerji kaynaklarının hızla tükeniyor olması bilim insanlarını alternatif enerji kaynakları bulma konusunda çalışmalar yapmaya itmiştir. Çünkü yaşam standartlarındaki artış, gelişmekte olan ülkelerde sanayinin sürekli artan enerji isteği, buna karşın yetersiz kaynaklar ve bu ülkelerin enerji ihtiyacının karşılanması düzeyinde meydana gelen ciddi ekonomi sıkıntılar ülkeleri; alternatif enerji kaynakları bulunma konusunda tetiklemiştir. Tüm bunların yanında küresel ısınma, çevre kirliliği ve fosil yakıtların tükeniyor olması daha çok yenilenebilir enerji kullanmayı kaçınılmaz kılmıştır. 1960'lı yılların sonundan başlayarak günümüze kadar gelen süreçte, enerji dünyanın önemli bir problemi olmaya başlamıştır. Bu problemi çözmek için yenilenebilir enerji kaynaklarını daha aktif kullanma ve alternatif enerji kaynakları bulma konusunda çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. 2024 dünya enerji üretimi verilerine göre fosil yakıtlar %76 ile halen birinci sırada yer almaktadır. Fosil yakıtları; %14 ile yenilenebilir enerji kaynakları, %7 ile diğer enerji kaynakları ve %3 ile de nükleer enerji takip etmektedir [1]. Yapılan geçiş esnasında en önemli faktör olan maliyetin fosil yakıtlarla çalışan sistemlere göre orta ve uzun vadede daha ucuz olmasının da uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Araştırmanın amacı

Aktif kullanımı artan güneş enerjili sistemlerin fırsat bulunan her şekilde ve her alanda fosil yakıtların yerini alması gerekmektedir. Dolayısıyla projede var olan fuel oil kazanı uzun yıllar boyunca takip edilmiş, verimsiz çalıştığı ve maliyetli şekilde kullanıldığı tespit edilmiştir. İmkanlar çerçevesinde söz konusu kazanın güncel bir sistemle değiştirilmesinin uygun olacağı değerlendirilmiştir.

Araştırmanın önemi

Bu çalışmayla kullanım süresi dolan bir fuel oil kazanının, fosil yakıt harcaması neticesinde ortaya çıkan CO_2 salınımı yerine, çevreci ve yapılan hesaplamalar neticesinde de uygun fiyatlı işletme ve bakım giderlerine sahip güneş enerjisi sistemine geçiş yapılması gerektiği konusu değerlendirilmiştir. Aynı zamanda da kazanın kullanılmadığı bahar ve yaz aylarında

üretilecek elektriğin YEKDEM (Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması) çerçevesinde satışı, fayda-zarar hesaplamaları incelenmiştir.

Varsayımlar

Fuel oil kazanının 6 yılda yıllık ortalama 9 552,83 l yakıt harcaması ve kazan sistemi için geçmiş ve gelecek yıllarda harcanan bakım maliyetleri işlenmiştir. Yapılması öngörülen sistem için ise önemli konulardan bir tanesi de arazinin uygunluğudur. Arazi seçimi için ek olarak herhangi bir maliyet oluşmaması ile aynı zamanda da kullanılmayan verimsiz bir arazi tercih edilmiştir.

2. FUEL OİL TARİHİ, KULLANIMI VE DEZAVANTAJLARI

Fuel oil, petrol veya ham petrolün rafine edilmesi sonucunda elde edilen, yüksek viskoziteye sahip, kalın ve koyu renkte olan bir tür yakıttır. Enerji üretiminde, gemi yakıtında, endüstride ve ısınmada kullanılır. Fuel oilin gelişimi, petrolden elde edilen yakıtların gelişimiyle doğru orantılıdır.

2.1. Petrolün Keşfi

Petrolün yakıt olarak kullanımı 19'uncu yüzyılın sonlarında hızlanmıştır. 1859'da Edwin Drake ABD'de ilk petrol kuyusunu açmasıyla, petrol ticari olarak çıkarılmaya başlanmıştır. 20'nci yüzyılın başlarında petrol rafinerilerinin kullanımıyla, ham petrolden çeşitli ürünler elde etmeye başlanmıştır. Bunlar arasında ağır yakıt ürünlerinden olan fuel oil kullanılmıştır. Fuel oil böylece endüstride, buhar makinelerinde ve lokomotifler için enerji kaynağı olarak değerlendirilmiştir [2].

2.2. Fuel Oilin Endüstriyel Kullanımı Ve Yaygınlaşması

Birinci ve İkinci Dünya Savaşları esnasında, savaş gemilerinde, denizaltılarda ve diğer askeri araçlarda artan yakıt ihtiyacıyla birlikte diğer petrol türevlerinde kıyasla ağır ve viskoz bir yakıt olan fuel oil kullanımı yaygınlaşmıştır. Ayrıca, sanayileşmenin hızlandığı 20'nci yüzyılın başlarında, enerji ihtiyacının artmasıyla fuel oile olan talep de artınca kullanım alanları genişleyerek güç santralleri ve endüstriyel tesisler için de giderek yaygınlaşan fuel oil kullanılmaya başlanmıştır [3].

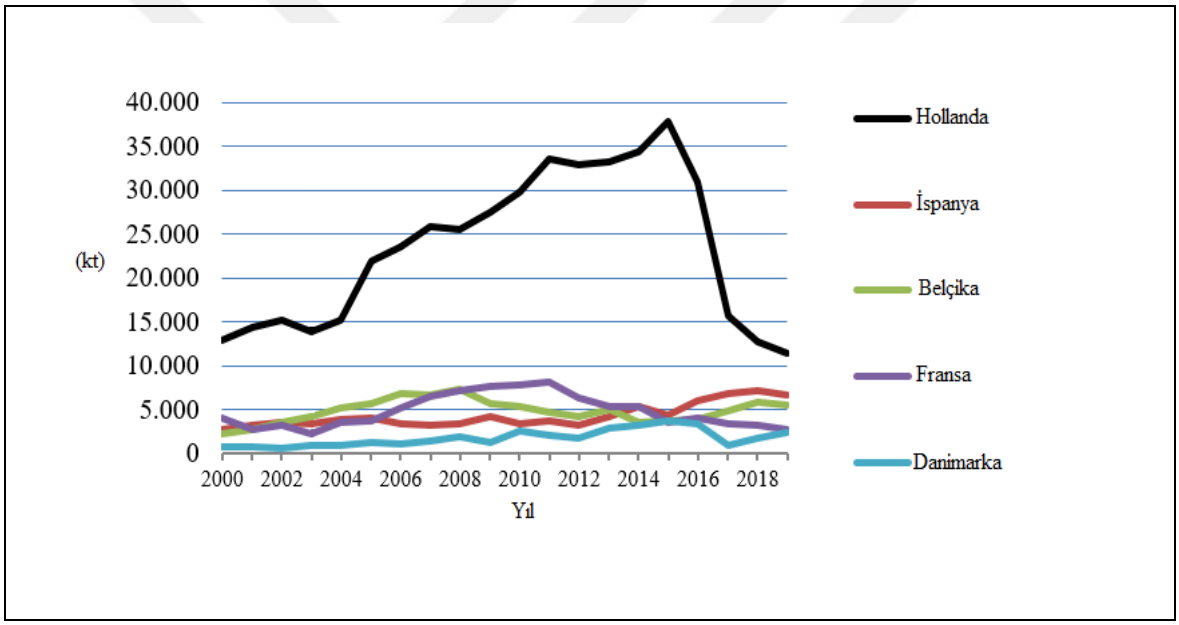
2.3. Fuel Oil Kullanımındaki Değişim

İlerleyen yıllarda petrol krizlerinin ortaya çıkması ve petrol fiyatlarının artmasıyla birlikte, bu dönemde fuel oilin ekonomik verimliliği sorgulanmıştır. Böylece yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmıştır. Türkiye'de de söz konusu ilgi artarak devam etmiştir. Ülkemizde özellikle ısınmada, elektrik üretiminde ve deniz taşımacılığında hala yaygın olarak kullanılsa da çevre sorunları ve ekonomik nedenlerden dolayı, kullanıcıların, yatırımcıların ve yönetimlerin, verimli ve daha temiz enerji kaynaklarına yönelmesine neden olmuştur.

2.4. Dünyadaki Gelişmeler

New York Belediye Başkanı Bill de Blasio ve Çevre Koruma Dairesi üyesi Emily Lloyd, 2016 yılında, 2011'de fuel oil yakıtı yaktığı kaydedilen 5.300 binanın tamamının 31 Aralık 2015 itibarıyla daha temiz bir yakıtla değiştirildiğini yayınlamıştır. Bu durum Amerika Birleşik Devletlerindeki çevre kirliliğine yönelik adımlardan bir tanesi olmasıyla birlikte, yerel yönetimlerin de yenilenebilir enerji sistemleri kullanımının arttığını göstermektedir [4]. Aynı şekilde Avrupa'da da fuel oil kullanımı ve buna bağlı olarak ilgi de her geçen yıl kaybolmaktadır.

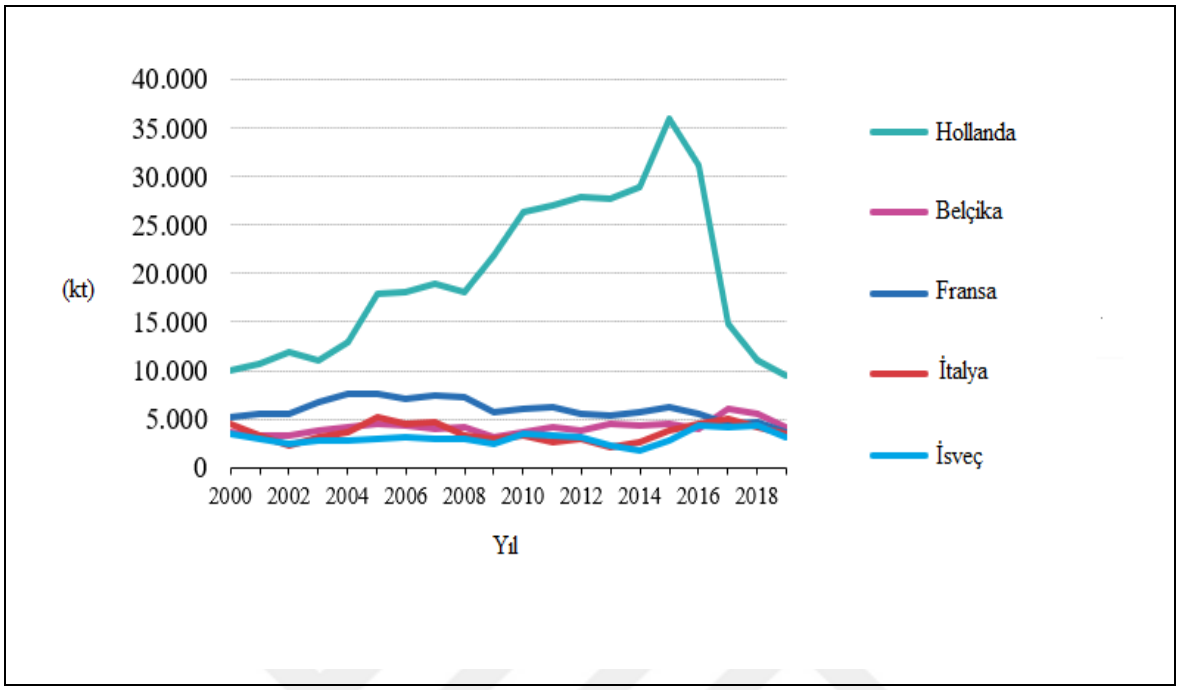
2.4.1. Avrupa'daki fuel oil ithalatçıları



Şekil 2.1. Avrupa'daki fuel oil ithalatçıları

Son 25 yıl içerisinde kullanımı azalan fuel oil, ekonomik krizlerin meydana gelmesiyle tekrar talep edilmesine rağmen özellikle Batı Avrupa'da ithal kullanımı 5 000 kt seviyesindedir. İlgili grafik Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

2.4.2. Avrupa'daki fuel oil ihracatçıları



Şekil 2.2. Avrupa'daki fuel oil ihracatçıları

Son yıllarda arz ve talebin azalmasıyla fuel oili ihraç eden ülkelerde de 5 000 kt seviyesinin altına düşmüştür. Bu ülkeler içerisinde dikkat çekici ülke olan Hollanda, Şekil 2.2'de gösterildiği üzere, fuel oili hem ithal hem de ihraç etmesiyle, kullanımdan ziyade ticaret yapma maksadında olduğu görülür.

2.5. Fuel Oil Kullanımının Dezavantajları

Fuel oilin yakılması tıpkı diğer fosil yakıtlar gibi sera gazı ve hava kirliliği gibi etkilere neden olduğundan hava kalitesini de olumsuz etkilemektedir.

Fuel oilin yanma verimliliği düşük olduğundan daha fazla yakıt tüketimi ve daha fazla enerji maliyetlerine yol açmaktadır.

Sıvı halde depolanmasının yanı sıra büyük tanklara ihtiyaç duyduğundan ve yaygınlığı giderek azaldığından nakliye ve taşımacılık maliyeti yüksektir.

Yüksek sıcaklıklardaki çalışma koşullarından dolayı yangın ve patlama riskini ihtiva etmektedir.

Fiyatları, petrol fiyatlarıyla paralel olduğundan değişkenlik gösterir. Bu da enerji maliyetlerini öngörmeyi zorlaştırıp yatırımcılar için belirsizlik yaratmaktadır.

Düzenli olarak temizlik ve bakım gerektirmektedir. Bu gereksinimde yakıt tanklarının düzenli olarak temizlenmesi ve sistemlerin bakımı ise işletme maliyetlerini artırmaktadır [5].

Bu koşullar altında enerji ihtiyaçlarının karşılanması fosil yakıtlar yerine yenilebilir enerji kaynaklarıyla da mümkün olmaktadır.

3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Yenilenebilir enerji kaynaklarının, fosil yakıtların alternatifi olabileceği düşünülmekte olup günümüzde yenilenebilir enerji teknolojilerinin geliştirilmesi ile ilgili çeşitli çalışmalar sürdürülmektedir.

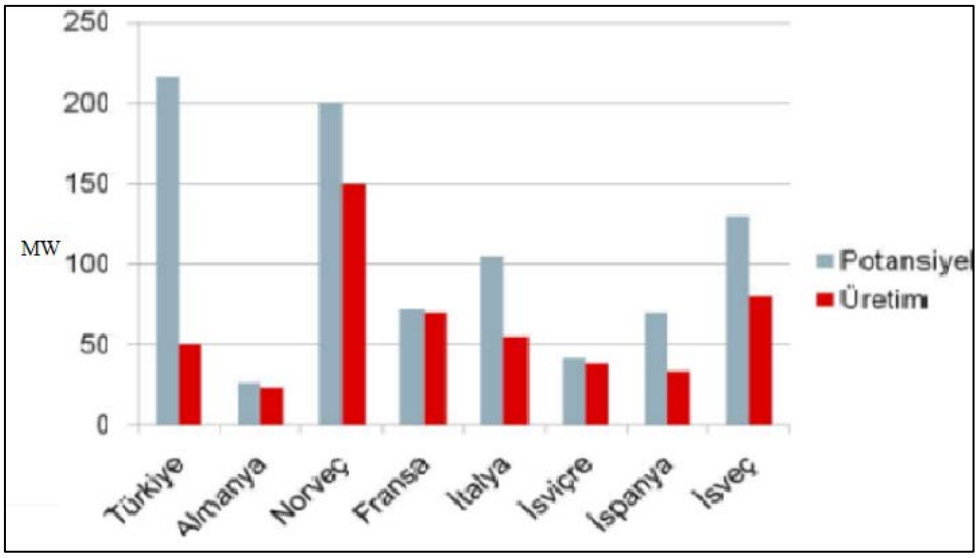
Günümüzde yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları; hidrolik enerji, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisiyken Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği ve potansiyeli bakımından oldukça zengin bir ülke konumundadır. Ülkemiz bulunduğu coğrafi konumundan dolayı önemli bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir [6].

3.1. Hidrolik Enerji

Türkiye'de hidroelektrik enerji, birincil enerji üretiminin %31'ini karşılamaktadır. Çeşitli enerji kaynakları içerisinde hidroelektrik enerji santralleri çevre dostu olması ve düşük risk taşıdıklarından tercih edilmektedir.

Hidroelektrik santraller; çevreye uyumlu, temiz, yenilenebilir, verimi yüksek, yakıt ihtiyacı olmayan, uzun ömürlü, işletme gideri düşük ve dışa bağımlı olmayan yerli bir kaynaktır.

Haziran 2022 itibariyle hidrolik enerjisine dayalı Türkiye elektrik kurulu gücü 31 558 MW, olarak tespit edilmiştir [7].

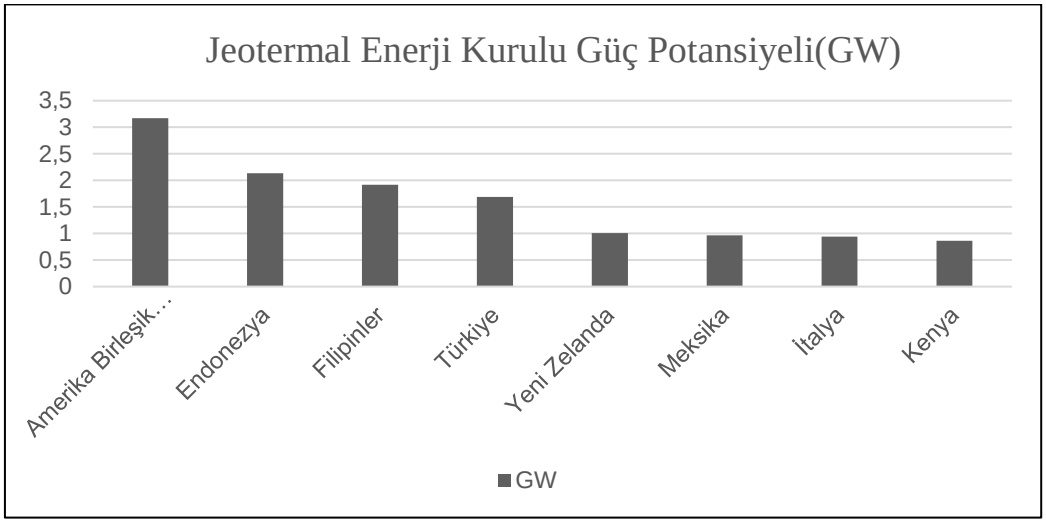


Şekil 3.1. Türkiye üretim ve potansiyel hidrolik enerjisi ülkelere göre dağılımı [7]

3.2. Jeotermal Enerji

Türkiye, jeotermal potansiyeli bakımından Avrupa'da 1'inci, kurulu güç bakımından Dünya'da 4'üncü ülke konumundadır. Jeotermal enerjiden elektrik üretiminde ilk beş ülke; ABD, Endonezya, Filipinler, Türkiye ve Yeni Zelanda şeklindedir.

Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü çalışmalarına göre; Türkiye, 1 005 MWe ulaşmıştır. Mevcut durumda bu gücün yaklaşık %15'inin ısı üretimi, %4'ü elektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır [8].



Şekil 3.2. Türkiye jeotermal enerji kurulu güç potansiyeli ülkelere göre dağılımı [8]

3.3. Biyokütle Enerjisi

Biyokütleden elektrik üretimi, fosil yakıt talebini azaltmak için sürdürülebilir ve yenilenebilir kaynak olarak önemli bir seçenektir. Biyokütle, katı, gaz ve sıvı yakıt olarak elde edilebildiğinden dağıtılabilir olma ve depolama kolaylığı gibi avantajlar sağlamaktadır.

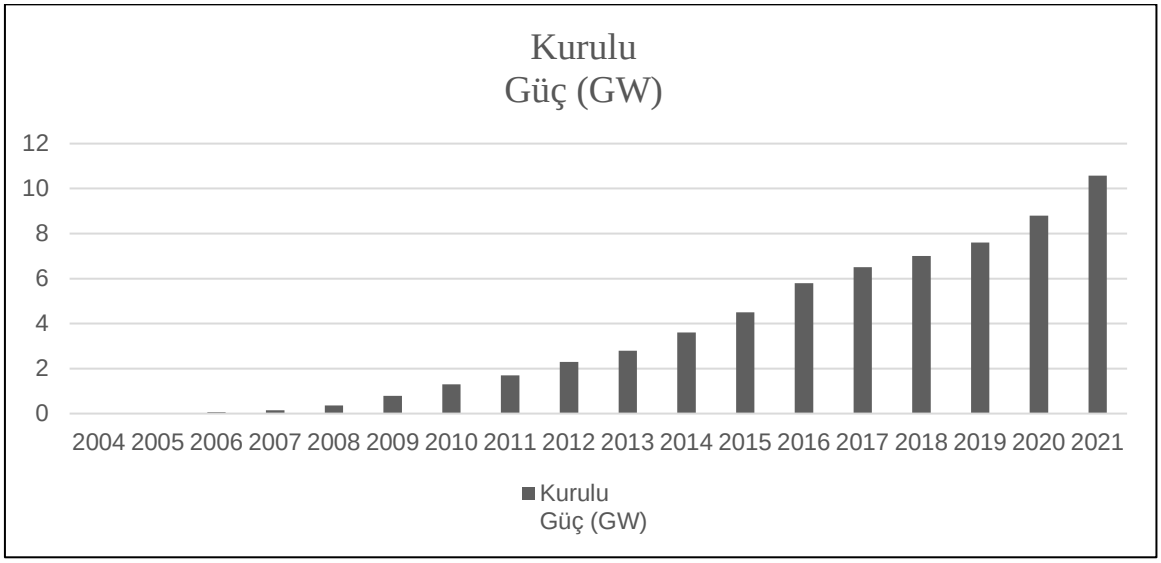
Diğer yandan bu sayede fosil kaynakların yerini almada, sadece elektrik üretimine katkı sağlayan diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre güçlü bir seçenek oluşturabilmektedir.

Biyokütle enerjisi Türkiye'nin toplam elektrik üretiminin yaklaşık %1'ini oluşturmaktadır [9].

3.4. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr, güneş kaynaklı radyasyonun yer yüzeyini farklı ısıtmasından kaynaklanır. Yer yüzeyinin farklı ısınması, havanın sıcaklığının, neminin ve basıncının farklı olmasına, bu farklı basınç da havanın hareketine neden olmaktadır.

2021 yılı aralık ayı itibari ile Türkiye'deki rüzgâr enerjisi türbin sayısı 3 868'e toplam kurulu güç ise 10,58 GW'a ulaşmıştır. 1 Nisan 2022 tarihinde 189 000 258 MWh ile tüm zamanların en yüksek rüzgâr enerjisi üretimi gerçekleşmiştir. Bu üretim kapasitesinin toplam enerji üretimindeki payı ise %22,67 olmuştur [10].



Şekil 3.3. Türkiye rüzgâr enerjisi yıllara göre dağılımı [10]

3.5. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, kurulum ve kullanım kolaylığıyla birlikte çevreyi kirliliğine yol açmayan ve zararlı atık meydana getirmeyen bir yenilenebilir enerji kaynağıdır.

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile (hidrojen gazının helyuma dönüşmesi) açığa çıkan ışıma enerjisidir. Güneş, yaklaşık 3,9 x 1026 W güç yayan, temiz ve tükenmez bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneşten yayılan bu enerjinin çok az bir miktarı Dünyaya ulaşmaktadır. Atmosferin dış yüzeyindeki her metrekareye ortalama 1 367 W güç düşmektedir. Atmosfere gelen bu ışımanın genellikle X ışınlarından ve ultraviyole ışınlardan oluşan bir kısmını emerken bir kısmını ise yansıtmaktadır [11].

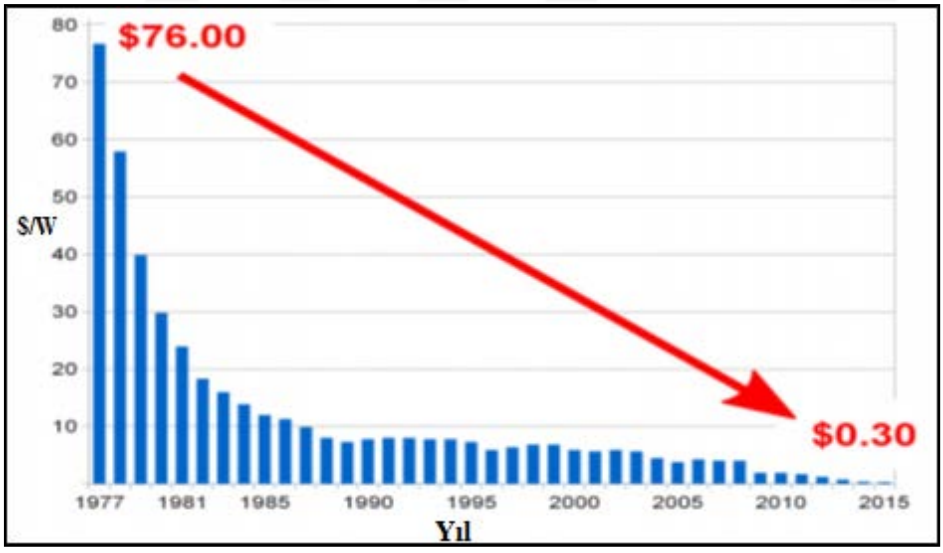
Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle önemli bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2 741 h olup ortalama yıllık toplam ışınım değeri 1 527,46 kWh/m^2 olarak hesaplanmıştır [11].

4. GÜNEŞ PİLİ TARİHİ, GELİŞİMİ VE GÜNEŞ ENERJİSİNİN AVANTAJLARI

Güneş enerjisi, fosil enerji kaynakları keşfedilmeden önce tek enerji kaynağı olarak kullanılmaktaydı. İlk olarak güneş enerjisini kullanarak ateşin bulunmasıyla başlayarak, Romalıların MS 1'inci yüzyılda pencere camını keşfetmesiyle devam etti. 2000 yıl önce Pompeii'de kullanılan pencere camları bugün Napoli'de bulunan İtalyan Ulusal Arkeoloji Müzesinde sergilenmektedir [12].

4.1. Güneş Pili Tarihi Ve Gelişimi

1954 yılında, üç Amerikalı bilim adamı Daryl Chapin (1906-1995), Calvin Fuller (1902-1994), Gerald Pearson (1905-1987), silikon transistörler ile ilk güneş pilini geliştirmiştir. Yapılan ilk güneş pili %6 verimlilikte çalışmaktadır [13]. Güneş pillerinin verimliliği 1958'de %11'e, 1960'ta ise %14'e kadar yükselerek devam etmiştir. Ancak ilk üretilen güneş pilleri oldukça pahalıyken, ilerleyen yıllarda fiyatları azalmaya başlamıştır [14]. Güneş pillerinin son 50 yılda fiyat düşüşü Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Güneş pillerinin yıllar içindeki fiyat değişimi

4.2. Güneş Enerjisinin Avantajları

Güneş enerjisi sistemlerinin bakım ve işletme maliyetleri fosil yakıtlı sistemlere göre düşüktür. Uzun vadede, elektrik faturalarında önemli tasarruf sağlar.

Güneş ışığından elde edilen enerji, fosil yakıtlara kıyasla çevre dostudur. Bu durum, sera gazı emisyonlarını azaltarak iklim değişikliğiyle mücadeleye katkıda bulunurken tedariki ücretsiz, devamlı ve güvenilirdir. Güneş enerjisi teknolojisi ise sürekli olarak gelişmektedir ve inovasyonlarla iyileştirilmektedir. Bu durum güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğini artırırken sistemlerin maliyetlerini düşürmektedir [15].

Güneş enerjisi, yerel enerji üretimini artırarak enerji bağımsızlığını sağlar. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, ülke ekonomisinde dışa bağımlılığı azaltmak maksadıyla hizmet etmektedir. Güneş enerjisi, birçok farklı alanda da kullanılabilir. Evlerde, işletmelerde, endüstride enerji sağlamak için kullanılabilir. Özellikle fotovoltaik (PV) sistemler evlerde ve işletmelerde elektrik üretmek için kullanılabilirken, termal güneş enerjisi sistemleri su ısıtma ve ısınma gibi uygulamalar için kullanılmaktadır.

5. GÜNEŞ ENERJİSİ TEKNOLOJİLERİ

Güneş enerjisi teknolojileri, ısıl güneş teknolojileri ve fotovoltaik güneş teknolojileri olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Her iki yöntem de güneşten enerji elde etmeyi amaçlar. Isıl güneş teknolojilerinde, güneş enerjisi ısıya dönüştürülür. Bu ısı doğrudan su ısıtmak için kullanılabileceği gibi, elektrik üretiminde de değerlendirilebilir. Fotovoltaik teknoloji ise yarı iletken malzemeler aracılığıyla güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştürür.

5.1. Isıl Güneş Enerjisi Teknolojileri

Isıl güneş enerjisi teknolojileri, elde edilen sıcaklık değerlerine göre düşük sıcaklık uygulamaları ve yoğunlaştırıcılı ısıl sistemler olmak üzere iki gruba ayrılır.

5.1.1. Düşük sıcaklık uygulamaları

Düzlemsel ve vakumlu güneş kolektörleri, konut ısıtılması, yüzme havuzu ısıtılması, sera ısıtılması, tarım ürünlerinin kurutulması, güneş ocakları ve fırınları, deniz suyundan tatlı su elde edilmesi, tuz üretimi, sulama, toprak solarizasyonu, güneş enerjisinin uygulandığı sistemlerdir [16]. Bu uygulamalarda, düzlemsel güneş kolektörleri en basit ve en yaygın kullanılan yöntemdir.

Düzlemsel güneş kolektörleri, yüzeyine gelen güneş enerjisini su, hava veya başka bir akışkana aktaran ısı eşanjörleridir. Bu sistemler genellikle konutlarda su ısıtmak amacıyla kullanılır ve yaklaşık 70°C-90°C sıcaklığa ulaşabilir. Düzlemsel güneş kolektörleri; saydam örtü, yalıtım malzemesi, yutucu yüzey, akışkanın dolaştığı borular ve kasadan oluşur. Kolektörler, bulundukları yerin enlemine bağlı olarak güneşi en verimli şekilde alacak sabit bir açıyla monte edilmektedir [17].

Düzlemsel güneş kolektörlü sistemler, doğal dolaşımlı ve zorlanmış (pompalı dolaşımlı) olmak üzere ikiye ayrılır. Bu sistemler yalnızca konutlarda değil, yüzme havuzlarında ve sanayi tesislerinde de sıcak su temini için kullanılmaktadır.

5.1.2. Yoğunlaştırıcılı ısıl sistemler

Yoğunlaştırıcılı ısıl güneş enerjisi teknolojileri, güneş enerjisinin yoğunlaştırıcılı sistemler kullanılarak odaklanması sonucunda elde edilen kızgın buhardan enerji üretilmesi işlemidir [18]. Bu teknolojilere dayalı üretim tesislerinin kurulu kapasiteleri 10 MW üzerindedir. Yoğunlaştırıcılı ısıl güneş enerjisi teknolojilerinde, güneş ışınlarını toplamak ve odaklamak için parabolik aynalar, çanak sistemleri veya heliostatlar kullanılmaktadır. Elektrik enerjisi üretimi aşağıda sıralanan yöntemlerle gerçekleştirilmektedir;

- Güneş radyasyonunun kollektör sistemi aracılığıyla toplanması,
- Toplanan radyasyonun bir alıcı üzerine yoğunlaştırılması,
- Alıcıda güneş radyasyonunun ısıl enerjiye dönüştürülmesi,
- Elde edilen ısıl enerjinin bir güç dönüşüm sistemine aktarılması,
- Son işlem olarak bu ısıl enerjinin buhar türbini-jeneratör sistemiyle elektrik enerjisine çevrilmesi [11].

Yoğunlaştırıcılı ısıl sistemler kullanan elektrik enerjisi üretim teknolojileri; parabolik oluklu kolektörler, parabolik çanak sistemleri ve merkezi alıcılı sistemler olmak üzere temelde üç grupta sınıflandırılmaktadır [11].

5.2. Fotovoltaik Güneş Teknolojileri

Fotovoltaik sistemler fotonlar aracılığı ile gelen güneş enerjisini doğrudan kullanılabildiğimiz ve diğer bir enerji türü olan elektrik enerjisine dönüştürmemize olanak veren sistemlerdir [19].

Fotovoltaik güneş teknolojilerindeki temel ilke fotovoltaik dönüşümdür. Bu dönüşüm iki kısımda oluşmaktadır. Birinci kısımda, pozitif- negatif akım taşıyıcıları olan yük çiftlerinin oluşturulması, ikinci kısımda da çiftlerin bir elektrik alanı ile birbirinden ayrılmasıdır. PN denklemi oluşturulurken içerisinde fazla elektron bulunan n-tipi yarı iletken madde ile fazla pozitif yük bulunan p-tipi yarı iletken madde yan yana getirilir. Bu eklemde yapısal olarak oluşturulmuş bir elektriksel alan mevcuttur. Tüm enerji dönüşüm olayları bu bölgede olmaktadır. Bu ekleme gelen güneş fotonları, enerjisini bu eklemdeki elektronlara verir ve bu enerji ile oluşan negatif–pozitif yükler, var olan elektriksel alan ile birbirlerinden ayrılır.

Böylece devrede doğru akım üretilmiş olur. Üretilen bu doğru akım istenildiğinde bir akü grubunda depolanabilmekte veya DC/AC invertörler üzerinden şebekeye verilebilmektedir [11].

Fotovoltaik güneş teknolojilerinde en çok kullanılan malzeme silisyum elementidir. Silisyum malzemesinin özelliklerini uzun süre muhafaza etmesi ve yapısal ve elektriksel özelliklerinin madde içinde her yerde aynı olup homojen bir yapıya sahip olması bu teknolojiye en uygun malzeme yapmıştır [20]. Yarı iletken özellik gösteren birçok madde arasında ise güneş hücresi üretmek için en elverişli olanlar, silisyum, kadmiyum sülfür, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddelerdir [21].

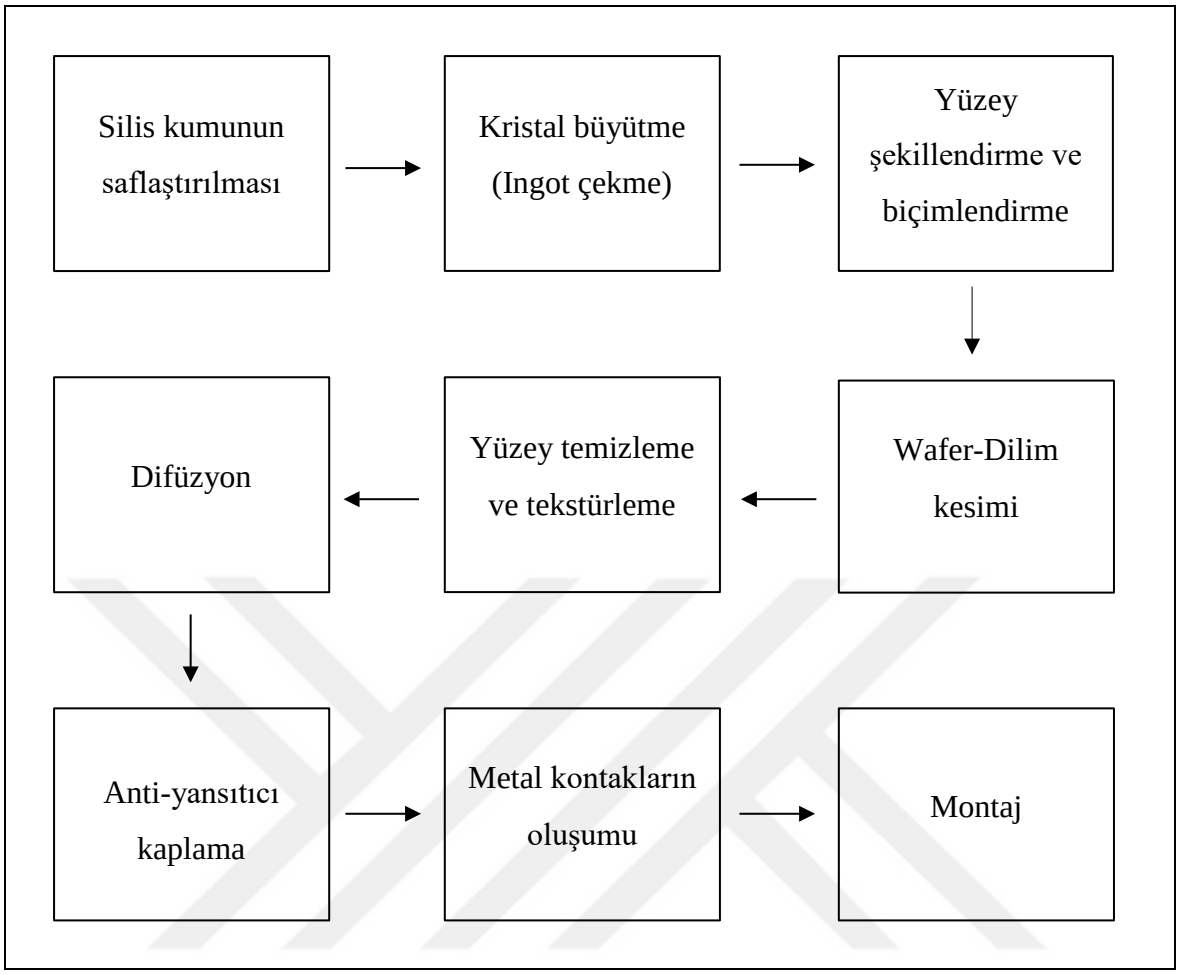
Güneş hücreleri, kristal ve amorf olarak ikiye ayrılırlar. Bunlar içerisinde silisyum güneş hücreleri en yaygın olarak olmak üzere; tek (mono) kristalli, çok (poli) kristalli, ince film ve şerit şeklinde olarak değişik teknolojilerdeki yapılarda üretilmektedirler. Yüzeyleri değişik geometrik şekillerde biçimlendirilen güneş hücrelerinin alanı genellikle 100 cm^2 civarında, kalınlıkları ise 0,2–0,4 mm arasındadır [22].

Güneş hücrelerinin bir araya getirilmesi ile güneş modülleri oluşturulmaktadır. Günümüzde elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanılan güneş modüllerin yüzey alanları 2,1 m^2 ve güçleri ise 675 Wp değerlerine ulaşmış durumdadır [23].

Güneş panellerinin birleştirilmeleriyle birlikte yüksek enerji üretebilen güneş enerjisi santralleri (GES) kurulabilmektedir. Özellikle, bina çatısına veya cephesine kurulan GES ile tüketilen elektriği karşılayabilecek kadar elektrik enerjisi üretilebilmektedir.

5.2.1. Monokristal fotovoltaik paneller

Monokristal silisyum güneş panelleri, laboratuvar koşullarında %24 verim sağlamaktadır. Ticari modüllerde ise verim %15 ile %18 arasında değişmektedir. Verimlerinin yüksek olmasından dolayı uzun vadeli yatırımlarda idealdir [24]. Amortisman süresi satış fiyatlarıyla değişkenlik gösterebilir. Bu süre 2021 yılı öncesinde 4-10 yıl, 2021 sonrasında 10-16 yıl olarak kurulum şekline göre değişkenlik göstermektedir. 20 yıllık bir sürede %7 verim kayıpları ile karşılaşılır. Saf kristal gereksinimi yüzünden maliyeti yüksektir.



Şekil 5.1. Monokristal güneş paneli üretim aşamaları

Ticari şekilde kullanımı sağlanan ilk PV panellerde tek kristal yapıda bulunan silisyumlar kullanılmıştır. Üretim sırasında malzeme kaybının çok fazla olması bu panellerin üretim maliyetini arttırmış ve diğer panellerin kullanımına yönlendirmiştir. [25].

5.2.2. Polikristal fotovoltaik paneller

Polikristal silisyumun üretilmesinde en çok kullanılan yöntem döküm yöntemidir. Monokristal silisyumda da polikristal silisyumda da başlangıç maddesi aynıdır. Her ikisinin de saflık derecesi aynıdır. Üretim süreçleri monokristallere göre ucuzdur. Polikristal silisyum fotovoltaik panellerden laboratuvar koşullarında %18 verim, ticari modüllerde ise %14 civarında verimler elde edilmektedir [25].

5.2.3. İnce film fotovoltaik paneller

Minimum malzeme kullanımlarıyla ve devamlı artan verimlilikleri nedeniyle tercih edilmektedir. Bu teknoloji içinde amorf silikon (α-Si), bakır indiyum galyum selenit (CIGS) ve kadmiyum tellür (CdTe) yer almaktadır. Ancak kullanımı yaygın olmadığından uzun ömürlülük, güvenilirlik, tüketici güveni ve daha fazla yatırım yapılması gerekmektedir [26].

5.2.4. Amorf silisyum fotovoltaik paneller

Fotovoltaik (PV) malzemeler arasında en düşük ekolojik etkiye sahiptir. Bu panel türünün verimi %10-%15 arasında değişmektedir [27]. Ancak kısa sürede deformasyona uğramasından dolayı incelenen verim değerlerine ulaşamamaktadır.

5.2.5. Bakır indiyum galyum diselenit fotovoltaik paneller

Bakır indiyum galyum selenit bazlı güneş pilleri, %22,8 verimlilik sağlayan verimli ince film güneş pilleridir. Endüstriyel üretimde, verimliliğin yanı sıra, düşük maliyet, tekrar üretilebilir, yüksek verim ve işlem toleransı da teknolojinin kullanılır olması açısından büyük önem taşımaktadır. Fakat proses karmaşıklığı nedeniyle, CIGS modül üretimi kadmiyum tellür (CdTe) modüllerinin gerisinde kalmaktadır [28].

5.2.6. Kadmiyum tellür fotovoltaik paneller

Kadmiyum tellür, ticari olarak en başarılı ince film fotovoltaik teknolojisidir. CdTe'nin bir güneş pili malzemesi olarak geliştirilmesi, yaklaşık %10 verimli cihazların üretildiği 1980'lerin başlarına kadar uzanır. Daha kaliteli cam, daha şeffaf iletken oksitler, CdS ile birlikte kullanımıyla 2000'lerin başında %16'nın üzerinde verimli hücreler sağlamıştır. Devamlı geliştirilerek %20 bandına çıkarılan CdTe teknolojisi, sınırlı yaşam döngüsü sera gazı ve ağır metal emisyonları, düşük karbon ayak izi ve kısa enerji geri ödeme süreleri açısından caziptir. Ancak sınırlı Tellür bulunabilirliği ve kullanım oranları cihaz verimlilikleriyle birlikte önemli ölçüde artırılmadığı sürece bu teknolojinin büyümesi için zorluk teşkil etmektedir [29].

5.2.7. Semikristal (yarı kristal) silisyum fotovoltaik paneller

Yarı kristal silisyum, tane yapısı bakımından oldukça kararlı olmasına rağmen, yarı iletken sınıfından daha düşük saflıkta, verimleri %10-%15 civarlarında ve ucuz silikon fotovoltaik sistemlerde kullanım için önemli bir hammadde olabileceği öne sürülmektedir. [30].

5.2.8. Şerit silisyum fotovoltaik paneller

Sıvı şekilde olan silisyumun şerit şekline getirilmesiyle yapılan bir tür polikristaldir. Geliştirme aşamasında olan bu panel türlerin verim değerleri laboratuvar koşullarında %16-%18 değerlerinde değişmektedir [31].

5.2.9. Galyum arsenit fotovoltaik paneller

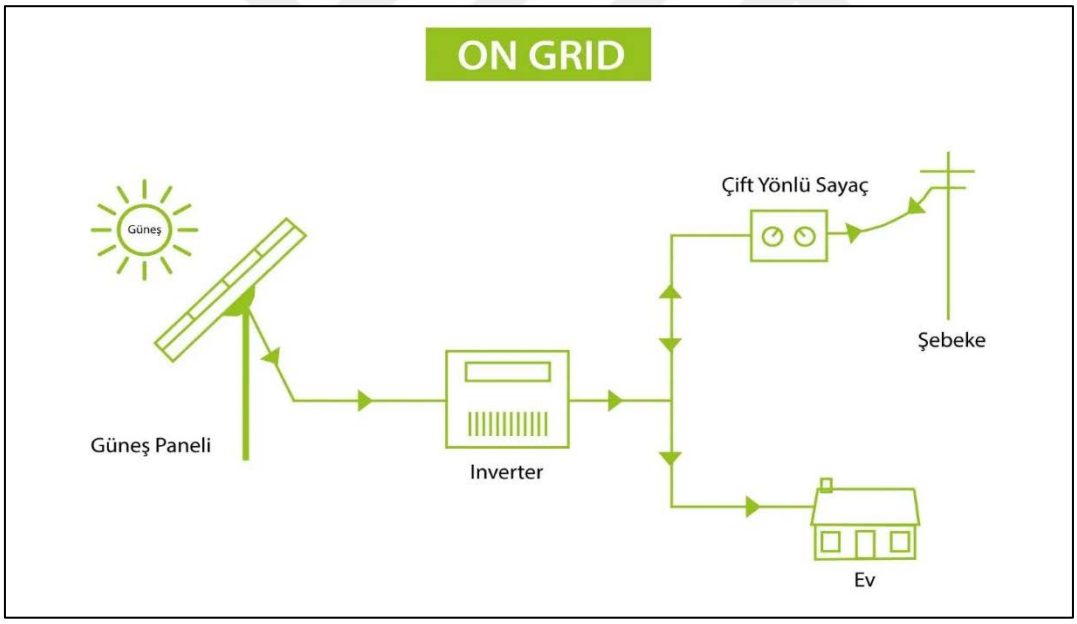
Yarı iletken teknolojilerde kullanılmaktadır ve güneş enerji sistemlerinde verimlilik rekorunu elinde bulundurmaktadır. Verimleri laboratuvar koşullarında %30 ile %40 arasında değişmesiyle birlikte ilerleyen çalışmalarda verimlerinin %50 seviyelerine çıkacağı öne sürülmektedir [32].

6. MATERYAL VE METOT

6.1. Fotovoltaik Panel Sistemleri

Fotovoltaik panellerde enerji DC şeklinde üretilir. Şebekeye bağlı sistemlerde DC-AC dönüşümü gerçekleştirmek gerekir. Bu sebeple PV sistem içerisinde DC-AC dönüşümü sağlayan donanımlar yer almaktadır. Bunun yanında kullanılan cihazların ve kabloların güvenliği için de kullanılan devre elemanları mevcuttur.

Fotovoltaik sistemlerde uygulamaların şekline göre farklı malzemeler örneğin çift yönlü sayaçlar, akümülatörler, invertörler, DC-AC dönüştürücüler bulunmaktadır. Şekil 6.1'de örnek bir on grid PV sistem şeması, sistemi oluşturan parçalarıyla birlikte ayrıntılı olarak yer almaktadır.



Şekil 6.1. PV sistem on grid şeması [33].

6.1.1. Fotovoltaik panel

Güneş enerjisini DC olarak elektrik enerjisine çevirmesi için kullanılan sistemlerdir. Sistemler; panellerin seri veya paralel olarak birleştirilmesiyle oluşturulur. Boyutları tasarıma ve ihtiyaca göre değişebilmektedir. Paneller aynı şekilde tasarıma göre $18 - 36\ V$ aralığında voltaj üretebilmektedir.

6.1.2. İnverter

Sistemin ana parçalarından biridir. Panellerde üretilen DC elektrik enerjisini şehir şebekesi olan $220\ V\ 60\ Hz$ AC formuna dönüştür. Böylece dönüşümü tamamlanan elektrik enerjisi kullanılabilir hale getirilmiş olur.

PV sistem için seçilecek olan inverterler, panellerde üretilen enerjiyi verimli şekilde çevirip uzun ömürlü olmalıdır. Dolayısıyla inverter seçimi de oldukça önem arz etmektedir. İnverterler genel olarak on grid (şebeke bağlantılı) ve off grid (şebeke bağlantısız) ve hibrit olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. İnverterler; sistemin kurulu gücüne, sistemde kullanılacak faz sayısına, şebeke bağlantısına ve kullanılacak panellerle olan uyumlarına göre çeşitlenmiştir. Tüm bu çeşitlenmelerle birlikte inverterlerde üç temel seçim kriteri bulunmaktadır.

- Kurulacak fotovoltaik sistemin gücü
- Kurulum yüzeyinin durumu
- Fotovoltaik sistemin hangi bölgede kurulduğu

Belirtilen kriterlere göre PV sistem için Çizelge 6.1'deki değerlere göre inverter seçimi yapılmıştır [34].

Çizelge 6.1. İnverter seçimi [34]

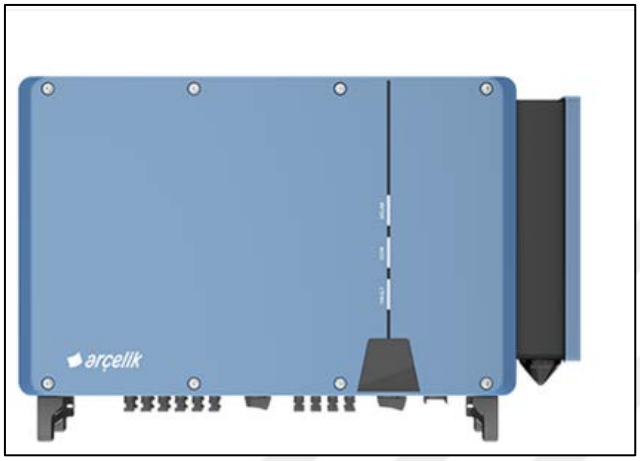
	Dizi İnverter	Merkezi İnverter
Güç Aralıkları	2-33 kW	100-2 000 kW
AC V Aralıkları	230-400 V	350 V 400 V 690 V

Dizi inverterler, her biri modüler tasarlanmış olup, kötü hava koşullarında güç üretebilir. Küçük boyutlu ve hafif olmasının yanı sıra kurulumu kolaydır. Arıza olasılığı az olmasıyla birlikte kolay değişir ve bakımı kolaylıkla yapılır. Ancak fazla elektronik bileşen kullanımıyla elektrik güvenilirliği düşüktür. Yüksek rakımlı alanlarda ve dış mekanlara kurulumu uygun değildir [35].

Merkezi inverter ise tasarımlarda az sayıda invertere ihtiyaç duyduğundan kolay yönetilir ve az sayıdaki inverter bileşenleriyle daha güvenilir bir sistem tasarlanabilir. Az sayıda ihtiyaç

duyduğu bileşenleriyle daha düşük maliyetlerle kullanılabilir. Fakat kurulum için özel bir makine dairesine ve özel ekipmanlara ihtiyaç duyar ve arıza oranı yüksektir [35].

Dolayısıyla merkezi inverterler genellikle büyük güç gerektiren sistemlerde kullanılırken, dizi inverterler daha küçük ve orta ölçekli çatı tipi projelerde kullanılır. Örnek bir inverter Resim 6.1'de gösterilmiştir.



Resim 6.1. İnverter

6.1.3. Akü

Güneş enerji sistemlerinde elde edilen enerjiyi depolayarak istenilen zamanlarda kullanılmasını sağlar. Kuru ve jel olarak çeşitlenmiştir. Jel aküler günümüzde daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Şebeke bağlantısız (off -grid) sistemlerde kullanılmaktadır. Örnek bir jel akü Resim 6.2'de gösterilmiştir.



Resim 6.2. Solar akü

6.1.4. Fotovoltaik regülatör

Şebeke bağlantısı olmayan (off grid) sistemlerde gelen akımı ve voltajı dengelemek ve gelen elektriğin düzenli halde alınması maksadıyla kullanılırlar. Böylece gelen elektriğin bataryalara zarar vermesi engellenir. Örnek bir fotovoltaik regülatör Resim 6.3'de gösterilmiştir.



Resim 6.3. Fotovoltaik regülatör

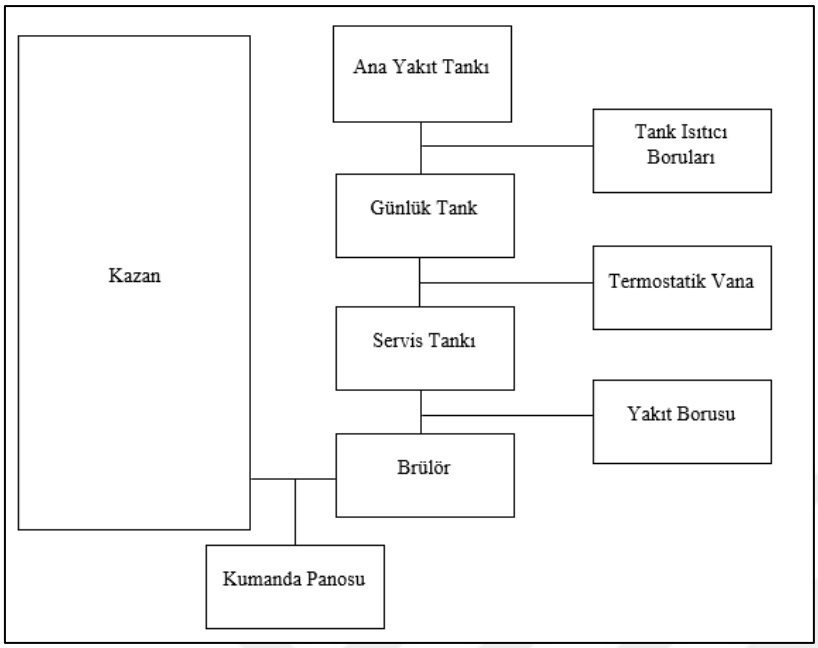
6.1.5. Çift yönlü elektrik sayacı

Kullanılan elektrik enerjisini ve üretilen daha sonrasında şebekeye gönderilen elektrik enerjisini ölçer. Resim 6.4'de örnek bir çift yönlü sayaç gösterilmiştir.



Resim 6.4. Çift yönlü elektrik sayacı

6.2. Fuel Oil Sistemleri Bileşenleri



Şekil 6.2. Fuel oil ile çalışan sistem

6.2.1. Kazan

Halihazırda kullanılan ve kullanım ömrü 15 yıl olup kullanım süresini dolduran ACK3-400 model kazanla ilgili kazanın özellikleri Çizelge 6.2'de fiziksel özellikleri Çizelge 6.3'te gösterilmiştir.

Kullanılan kazanın kapasitesi 400 000 $kcal/h,\ 465\ kW$ ve işletme basıncı 3 bardır [36].

Çizelge 6.2. Kullanılan kazan özellikleri

Sıvı/gaz yakıtlı sıcak su kazanı		
Tip	ACK3-400	
Kapasite	400 000	kcal/h
Kapasite	465	kW
İşletme basıncı	3	Bar
İşletme sıcaklığı	90	C
Kategori	B	

Çizelge 6.3. Kullanılan kazanın fiziksel özellikleri

ACK3-400		
Anma Isı gücü	465	kW
	400 000	kcal/h
Gaz tarafı direnci	1,8	mbar
Su tarafı direnci	14	mbar
Kazan bekleme kayıpları	0,23	%
Yanma haznesi çapı	600	mm
Yanma haznesi boyu	1 650	mm
"A" Kazan yüksekliği	1 679	mm
"B" Kazan genişliği	1 050	mm
"C" Kazan uzunluğu	2 104	mm
"D" Baca bağlantı çapı (dış)	350	mm
"E" Baca Bağlantı yüksekliği	1 182	mm
"F" Kazan gidiş/dönüş flanşı	NW 100	-
"G" Doldurma/boşaltma	¾"	inch
"H" Emniyet gidiş	2"	inch
"K" Emniyet dönüş	1¼"	inch
Ağırlık (susuz)	1 268	kg
Kazan su hacmi	785	l

Kullanılan kazan; Resim 6.5’de gösterilmiştir.



Resim 6.5. Fuel oil kazanı

Kullanılan kazanın yıl içerisinde yedek parça değişimi ve bakım giderleri, hesaplanan yakıt giderlerine eklenerek kazanın toplamda ne kadar masraf çıkardığı hesaplanmıştır. Fuel oil ile çalışan kazanın yıllık yakılan yakıt miktarları (kg), kesafet, fiyatlandırmaları (₺/kg) ve maliyetleri (Bkz) Çizelge 8.1'de belirtilmiştir.

6.2.2. Brülör

Alarko Carrier'ın ürettiği ALF serisi orta ve ağır yağ brülörleri (50°C) viskositeye kadar orta ve ağır yağları yakmak üzere tasarlanmış, uluslararası standartlara göre gerekli emniyet elemanları ile donatılmış, otomatik ateşlemeli ve sessiz calışan brülörlerdir [37].



Resim 6.6. Brulör

Brulörün mekanik ve elektriksel özellikleri Çizelge 6.4 ve Çizelge 6.5'de belirtilmiştir. Aynı çizelgelerde Alf 65 tipli brülör için bir saat içinde kaç kilogram kapasitesinin olduğu, ısı yükünün kilowatt ve bir saatte harcadığı kilokalori cinsinden enerjisi ve sahip olduğu motorunum dakikadaki devir cinsinden hızı ve kilowatt cinsinden gücü, ısıtıcısının harcadığı gücü, ağırlığı, elektrikle çalışma koşulları ve boyutları gösterilmiştir.

Çizelge 6.4. Brülör mekanik özellikleri [37]

Brülör Tipi	Kapasite (kg/saat)		Isı Yükü				Motor	
			kW		Kcal/saat			
	min	maks	min	maks	min	maks	Hız(d/d)	Güç(kW)
ALF 65	33	65	372,2	733,1	320 100	630 100	2 800	1,1

Çizelge 6.5. Brülör elektriksel özellikleri [37]

Brülör Tipi	Isıtıcı kW	Ağırlık kg	Elektrik Beslemesi	Ambalaj Boyutları
ALF 65	4,5	45,8	3-220/380V-50 Hz	680x1 000x640

6.2.3. Tank ısıtıcı boruları

Düz uçlu veya kaynak ağızlı uçlu, kaplamasız, dış yüzeyde koruyucu kaplaması olan şekilleriyle piyasada toplam dört şekilde bulunmaktadır.

Çizelge 6.6. Tank ısıtıcı boruları fiziksel özellikleri

Dış Çap	Et Kalınlığı	Boy
21,3 mm-339,7 mm	2 mm–12,7 mm	5 mm–8,3 mm

6.2.4. Kumanda panosu

Kazanı güvenli ve otomatik olarak çalıştırmak maksadıyla kullanılmaktadır. Kazan suyunun sıcaklığını ayarlar veya sabit tutma işlevini yerine getirir. İstenilen değerler dışına çıkıldığında, operatör müdahalesinin gerekli olduğu durumlarda uyarı verir.



Resim 6.7. Kumanda panosu

6.2.5. Servis tankı

Günlük tank üzerinden gelen yakıtın anında kullanıma hazır olduğu kazana en yakın yakıt tankıdır. Kullanılma maksadı günlük tank ile kazan arasında mesafe olmasından kaynaklanmaktadır.

6.2.6. Termostatik vana

Termostatik vana, sistemdeki gereksiz debiyi azaltarak ve pompa yükünü düşürerek, kazanı daha uzun süre sabit rejimde çalıştırarak ani yük değişimlerini azaltır. Böylece sistemde gezen su daha yavaş hareket eder ve kazan su sıcaklığı sabit kalarak yakıt tüketimi düşer.



Resim 6.8. Termostatik vana

6.2.7. Yakıt borusu

Sistem içerisinde bulunan ana yakıt tankından günlük yakıt takına, günlük yakıt tankından servis tankına uzanan hat boyunca yakıtın dolaştığı borulardır. Sızdırmaz ve yanmaya dayanıklı olmalıdır.



Resim 6.9. Yakıt borusu

6.2.8. Günlük tank

Ana yakıt tankından gelen yakıtın sisteme daha kısa mesafeden ve daha kontrollü gelmesini sağlayan sistemin ana elemanlarından biridir.



Resim 6.10. Günlük tank

6.2.9. Ana yakıt tankı

Kazanların tamamında kullanılan yakıtın depolandığı 10 000 litrelik serpantinli akaryakıt tankıdır**.**



Resim 6.11. Ana yakıt tankı

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

7.1. Fuel Oil İle Çalışan Sistemle İlgili Bilgiler

Enerji İhtiyacının Belirlenmesi;

Sisteme ne kadar enerji gerektiğinin çözümlenebilmesi için Termodinamiğin 1. Yasasına göre ihtiyaç duyulan denklem Eş. 7.1'de ifade edilmiştir.

$$\dot{q} = \dot{m} \times c_p \times (T_{çıkış} - T_{giriş}) \quad (7.1)$$

Burada $\dot{q}$, günlük enerji ihtiyacı, $\dot{m}$, günlük ısıtılan su miktarı, c_p, suyun özgül ısısı, $(T_{çıkış} - T_{giriş})$ değerleri ise ısıtıcıdaki suyun sıcaklık değişimleridir.

Suyun yoğunluğu 20 ℃'de 998 kg/m^3,

Suyun özgül ısısı c_p = 4,183 kj/kg ℃,

Günlük ısıtılan su miktarı $\dot{m}$ = 20 000 $kg/gün$,

Değerlerin tamamı Eş. 7.1'deki eşitliğe göre yerine konulduğunda Eş. 7.2 hesaplanmış olur.

$$\dot{q} = 20\,000\ kg/gün \times 4{,}183\ kj/kg\ ℃ \times (70℃ - 5\ ℃) \quad (7.2)$$

= 5 437 900 $kj/gün$

Tasarlanmak istenen sistemin günlük ihtiyacı olan enerji 5 437 900 kj olarak bulunur.

Halihazırda kullanılan ACK3-400 kazanın günlük ortalama enerji ihtiyacının tespit edilmesi için;

İlk olarak günlük ortalama tüketilen yakıtın hesaplanması gerekir. Bu değerler (Bkz.) Çizelge 8.1'deki veriler yardımıyla, yıllık harcanan ortalama değerlerin toplamının bir ay içinde ne kadar harcandığını bulabilmek için değerler toplamının, toplam kullanılan ay

miktarına bölünmesiyle mümkün olmaktadır. 9 552,83 l yakıt 7 ay içerisinde harcandığından Eş. 7.3'de bu değer hesaplanmıştır.

$$Aylık_{ort} = \frac{9552,83}{7} = 1\,364,7\ l. \tag{7.3}$$

Eş. 7.3'de hesaplanan aylık ortalama tüketim miktarıyla da yine bir günde kullanılan miktarı hesaplanabilmesi için bulunan 1 364,7 l'nin 30 güne bölünmesi gerekir. Böylece Eş. 7.4'de günlük ortalama tüketim miktarı belirlenmiştir.

$$Günlük_{ort} = \frac{1\,364,7}{30} = 45,49\ \ l. \tag{7.4}$$

Günlük ortalama tüketilen yakıt yaklaşık olarak $\cong 45,5\ l$ olarak işleme alınmıştır.

İkinci olarak bir litre fuel oil yakıtının bir saat içerisinde yanmasıyla açığa çıkan enerjinin hesaplanması gereklidir. Bir kg fuel oilin alt ısıl değeri = $9\,600\,kcal/kg$ ve $1\,kcal = 4,1868\,kj$ olduğundan, gerekli olan eşitliği kj birimiyle işleme almak maksadıyla, birim dönüşümü yapılmış ve Eş. 7.5'de bir kg fuel oilin yakılmasıyla açığa çıkan enerji hesaplanmıştır.

$$9\,600\,\frac{kcal}{kg}\,x\,4,1868\,\frac{kj}{kcal} = 40\,193,28\,kj/kg \tag{7.5}$$

Eş. 7.5'de bir kg fuel oil yakıtından elde edilen enerji, yaklaşık olarak $40,2\ \frac{MJ}{kg}$ olarak işleme alınmıştır. $Kg - l$ dönüşümü yapılması gerektiğinden fuel oilin yoğunluk değerine ihtiyaç duyulmaktadır [38]. Fuel oil yoğunluğu, $0,84\ \frac{kg}{l}$ olduğundan, Eş. 7.6'da E_{1l}, bir l fuel oilin yakılmasıyla açığa çıkan enerji olmak üzere belirlenmiştir.

$$E_{1l} = 0,84\,\frac{kg}{l}\,x\,40,2\,\frac{MJ}{kg} = 33,768\,\frac{MJ}{l} \tag{7.6}$$

Yaklaşık olarak $E_{1l} \cong 33,77\ MJ/l$ olarak işleme alınmıştır.

Üçüncü aşamada bir gün içerisinde ortalama ne kadar enerji harcandığını bulabilmek için günlük ortalama yakılan yakıt değeri ile yakıtın yanmasıyla açığa çıkan enerji çarpılmalıdır [39]. $E_{gün}$, bir gün içinde harcanan enerji olmak üzere, yakıt değeri ve Eş. 7.6'da hesaplanan

bir l fuel oilin yakılmasıyla açığa çıkan enerjinin E_{1l}, çarpımıyla hesaplanmıştır ve Eş. 7.7'da belirtilmiştir.

$$E_{gün} = yakıt\ değeri \times\ E_{1l} \tag{7.7}$$

$$E_{gün} \cong 45{,}5\ l \times 33{,}77\ MJ/l$$

$$E_{gün} = 1\ 536{,}53\ MJ$$

Dördüncü aşamada MJ/kwh birim dönüşümü yapılmıştır [40]. Hesaplanan MJ değerini kwh birimine çevrilmesi için 3,6 ile çarpılması gerekir. (Eş. 7.8)

$$Megajoule = kwh \times 3{,}6 \tag{7.8}$$

Eş. 7.7'da hesaplanan $E_{gün}$ değeri, Eş. 7.8'deki dönüşüm ile günlük toplam enerjinin değeri E_{toplam} , bulunmuş olur. (Eş.7.9)

$$\text{Günlük toplam enerji} = 1\ 536{,}53\ \frac{MJ}{3{,}6} = 426{,}81\ kwh \tag{7.9}$$

Son olarak kazan verimi %90 olduğu takdirde Eş. 7.9'da hesaplanan değerin çarpımıyla Eş.7.10'da hesaplanan kazanın ürettiği net enerji, E_{kazan} bulunur.

$$E_{kazan} =\ 426{,}81\ kwh \times 0{,}9 =\ 384{,}13\ kwh \tag{7.10}$$

E_{kazan} , değerinin bir saatteki harcadığı enerji, kazanın kapasitesi olduğundan Eş.7.10'da bulunun 384,13 kwh değerinin 24 saate bölünmesiyle Eş. 7.11'da bulunan değer kazan kapasitesi, $E_{kazan_{cap}}$ hesaplanır.

$E_{kazan_{cap}} = 384{,}13\ \frac{kwh}{24} saat = 16{,}01\ kW$, olarak hesaplanır. (7.11)

7.2. Sistemin İhtiyacının Belirlenmesi

Projenin uygulanacağı arazi İstanbul ilinin Arnavutköy ilçesinde bulunmaktadır. Fuel oil ile ısıtılan sistemin ortalama su tüketimine göre enerji ihtiyacı Eş. 7.2'ye göre 5 437 900 kj/gün

olarak hesaplanmıştır. Güneş enerjili su ısıtma sistemi, enerji gereksinimin E_g, %40 kadarını karşılamalıdır [37]. Dolayısıyla Eş. 7.2'de hesaplanan $5\ 437\ 900\ kj/g\ddot{u}n$ değerinin %40'ı işleme alınmalıdır. Böylece;

$$E_g = 5\ 437\ 900\ kj/g\ddot{u}n \times \frac{40}{100} = 2\ 175\ 160\ kj/g\ddot{u}n \text{ , olur.} \quad (7.12)$$

Arnavutköy ilçesinde, sabit bir açıda güney yönüne bakan düzlemsel güneş kolektörleri kullanılacaktır. Kolektör eğim açısı, enlem dairesi açısı olan 35° değerinde alınacaktır. 35° açıda yıllık ortalama güneş ışınımı miktarı, 23,724 $MJ/m^2g\ddot{u}n$ olarak alınmıştır [41].

Kullanılabilir güneş enerjisinin bir kısmı çevreye kaybolur. Gelen güneş enerjisinin bir kısmı, çalışma akışkanı tarafından kullanılır. Kazanılan güneş enerjisi miktarının, gelen toplam güneş ışınımına oranı güneş kolektörü verimidir. Saatlik güneş kolektörü verimi, %50 değerine kadar çıkabilirken, gün boyu kolektör verimi yaklaşık %40 değerinde olur [42,43].

Birleşik kolektör ve şebeke verimi %40 kabul edilirse, kullanılabilir yararlı güneş enerjisi E_y, olacak şekilde Eş. 7.13'de hesaplanmıştır.

$$E_y = \frac{40}{100} \times 23{,}724\ MJ/m^2g\ddot{u}n = 9\ 489{,}6 kj/m^2g\ddot{u}n \quad (7.13)$$

Eş. 7.12'ye göre, E_g; güneş enerjili su ısıtma sistemi katkısı $2\ 175\ 160\ kj/g\ddot{u}n$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer yardımıyla toplam en az gerekli güneş kolektörü alanı A, değeri $E_g{}'$nin E_y'ye bölümüyle bulunur.

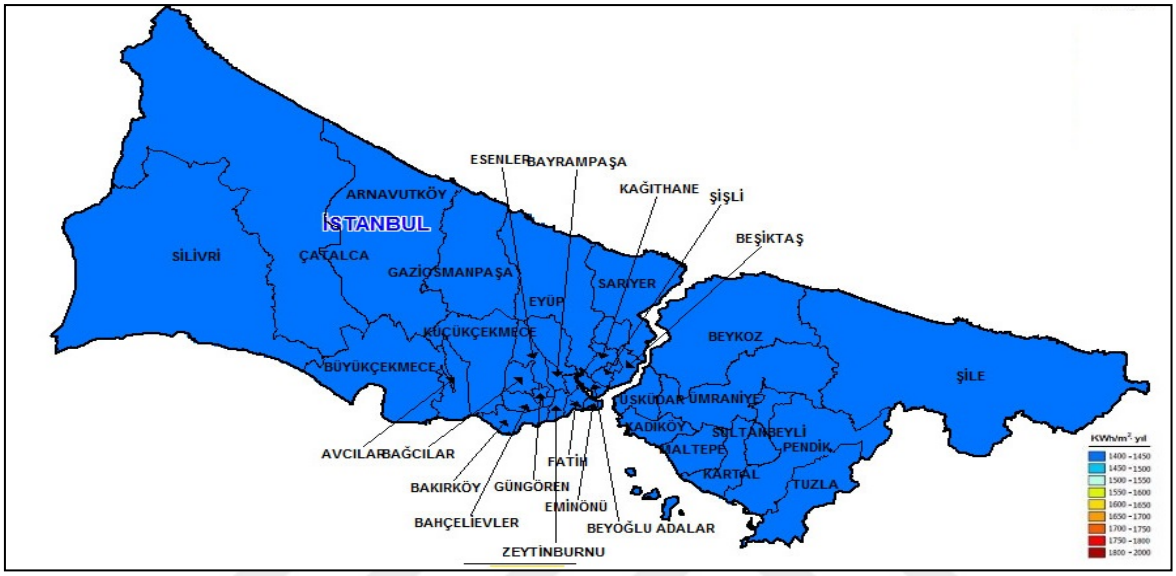
$$A = \frac{E_g}{E_y} \quad (7.14)$$

Eş. 7.12 ve Eş. 7.13'deki değerlerin; $E_g = 2\ 175\ 160\ kj/g\ddot{u}n$ değerinin $E_y = 9\ 489{,}6\ kj/m^2g\ddot{u}n$ bölümüyle, A değeri Eş. 7.15'de hesaplanmıştır.

$$A = \frac{2\ 175\ 160\ kj/g\ddot{u}n}{9\ 489{,}6\ kj/m^2g\ddot{u}n} = 229{,}21\ m^2 \quad (7.15)$$

7.3. İstanbul'da Seçilen Bölgenin Güneş Enerji Potansiyeli

İstanbul iline yılda metrekare başına düşen güneş enerjisi $1400\frac{kwh}{m^2.yıl}$ ve $1500\frac{kwh}{m^2.yıl}$ aralıklarında olarak gösterilmiştir [44].



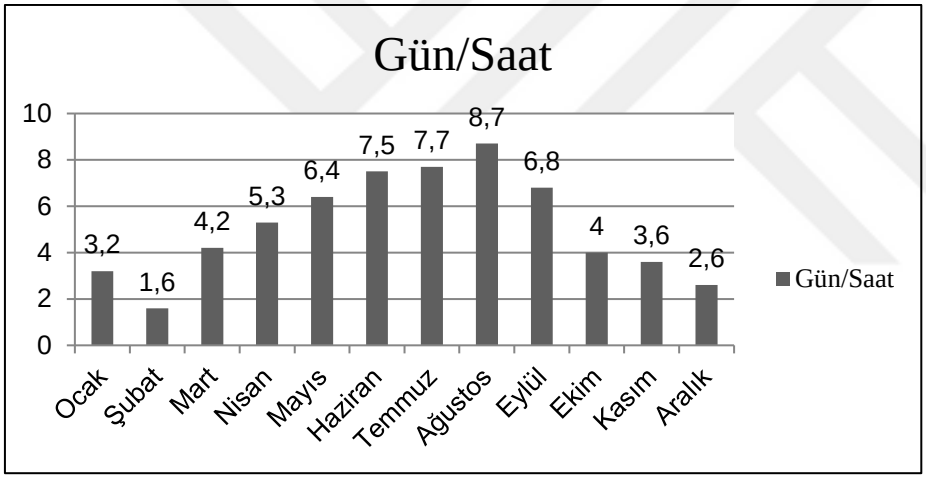
Harita 7.1. İstanbul ili yıllık metrekareye düşen güneş enerjisi [44].

7.4. İstanbul İli Günlük Güneşlenme Süresi

Tasarım için güneşlenme sürelerindeki hesaplamalar ortalama sistemin ihtiyacı olan aylar için kullanılmıştır. Kazan yaz ayları hariç 7 aylık süreçte çalıştığından Kasım-Mayıs arasındaki toplam ortalama güneşlenme süresi 3,8 saattir [45].

Çizelge 7.1. Güneşlenme süresi [45]

İstanbul Ortalama Güneşlenme Süreleri(h) (2025)			
Ocak	3,2	Temmuz	7,7
Şubat	1,6	Ağustos	8,7
Mart	4,2	Eylül	6,8
Nisan	5,3	Ekim	4
Mayıs	6,4	Kasım	3,6
Haziran	7,5	Aralık	2,6
Ortalama 5,1			

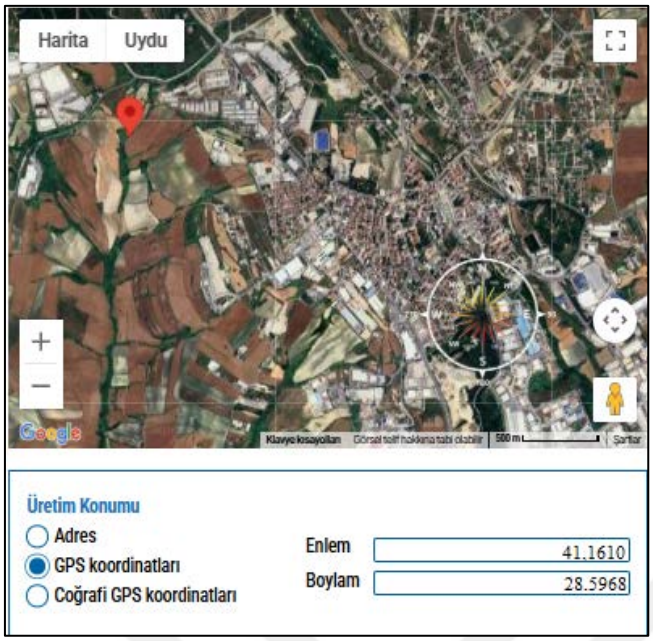


Şekil 7.1. İstanbul ili yıllık güneşlenme süreleri

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün sitesinden alınan verilere göre günlük ortalama güneşlenme süresi 5,1 saattir. İstanbul ilinin yıllık en az ortalamayla güneş aldığı dönem şubat ayı olup, günlük ortalama güneşlenme süresi bu ayda 1,6 saattir. [45].

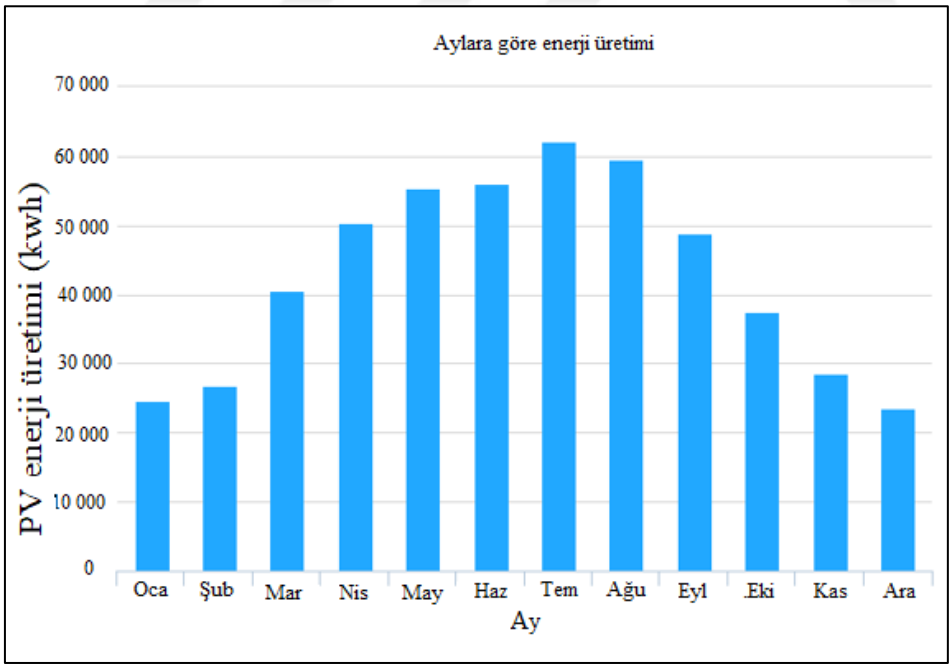
7.5. Arazi Etüdü

Arazi kullanılmayan bir tesisin yanında bulunmaktadır. Kurulumu yapılacak olan sistem güneşin tamamını alabilmekte olup üzerinde ve etrafında herhangi bir engel ihtiva etmemektedir.

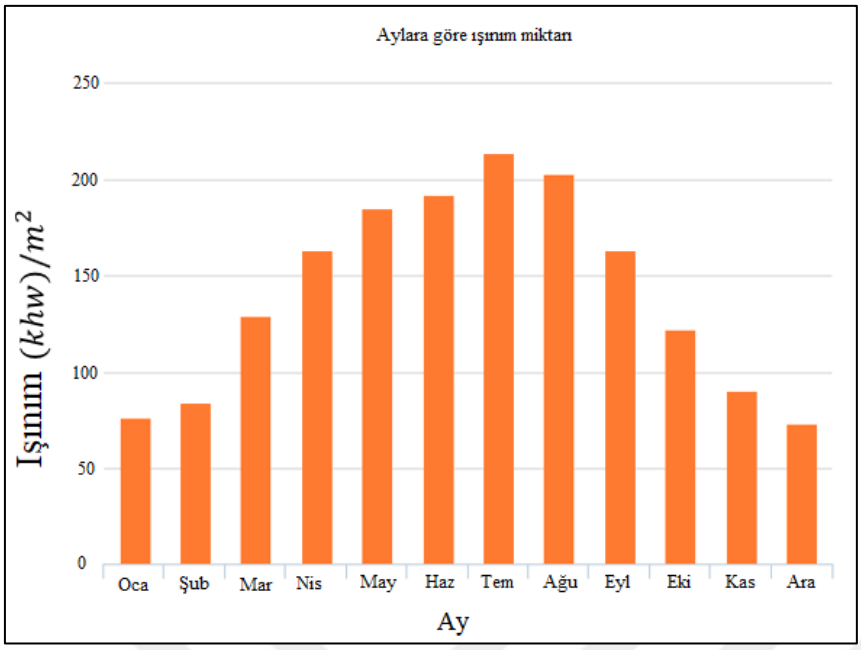


Harita 7.2. Kurulacak sistemin yerinin belirlenmesi [46]

Bulunulan arazideki aylık enerji miktarı Şekil 7.2'de ve aylık radyasyon miktarı ise Şekil 7.3'te gösterilmiştir.



Şekil 7.2. Seçilen Arazinin aylık enerji miktarı $\frac{kWh}{ay}$ [46]



Şekil 7.3. Seçilen arazinin aylık radyasyon miktarı $\frac{kWh}{m^2 ay}$ [46]

Seçilen yerde $500\,m^2$ olan bir arsa ortalama 6 500 000 ₺ 'dir. Ancak arsaya sahip olunduğundan dolayı herhangi bir ücret ödenmeyecektir. Bulunulan bölgenin trafo merkezine uzaklığı ise $2\,500\,m$ dir.



Harita 7.3. Sistemin trafo merkezine olan uzaklığı

7.6. Güneş Enerjisi Yıllık Enerji Üretimi

Tasarımı yapılması gereken sistemin 384,13 kwh'ı karşılaması gerekir. Hesaplamalarda bu değer yaklaşık olarak 385 kwh olarak belirlenmiştir. Bu değere göre PVGIS programında

385 kwh olarak tasarlanan sistemin ne kadar enerji üretebileceği simüle edilmiştir. Seçilen yerden PVGIS programıyla yıllık en fazla 514 591,32 kwh enerji üretilebileceği belirlenmiştir.

Simülasyon Verileri	
Konum (Boylam/Enlem):	41,161/28,596
Katman:	Hesaplanmış
Kullanılan veritabanı:	PVGIS-SARAH3
PV teknolojisi:	Kristal silikon
Kurulu Güç (kwp):	385
Sistem kayıpları (%):	14
Simülasyon Sonuçları	
Eğim açısı (°):	35
Azimut açısı (°):	0
Yıllık PV enerji üretimi (kwh):	514 591,32
Yıllık ışınım miktarı (kwh/m^2):	1699,3
Yıllık değişim miktarı (kwh):	18519,04
Sonuçların değişken olma nedenleri:	
Geliş açısı (%):	-2,8
Görüngesel etkiler (%):	0,8
Sıcaklık ve düşük ışınım (%):	-6,65
Toplam kayıp (%):	-21,34

Şekil 7.4. Yıllık enerji üretimi [46]

7.7. Güneş Paneli Hesabı

İstanbul ilinde 2025 yılı için ihtiyaç duyulan aylar içerisinde ortalama 3,8 h günlük ortalama güneşlenme süresi vardır.

385 kW kurulu güce sahip tesis için kullanılacak güneş paneli, mono kristal silikon panel seçilmiştir. Mono kristal silikon panel 670 Wp kapasiteye sahiptir.

Sistemin ortalama %90 verimlilikle çalışabileceği öngörülmüştür.

Toplam kaç adet güneş paneli kullanılacağını belirleyebilmek için;

Güneş panelinin günlük üretimini belirleyebilmek için seçilen panelin kapasitesi olan 670 Wp değeri, bölgenin güneşlenme süresi olan 3,8 saat ve panelin verimlilik faktörü olan %90 değerinin çarpımıyla Eş. 7.16 ile mümkündür [47].

Güneş panelinin günlük üretimi $= 670\ Wp \times\ 3{,}8\ h\ \times\ 0{,}9$ (7.16)

$$= 2\ 291{,}4\ \ Wh$$

Toplam güneş paneli sayısını hesaplayabilmek için Eş. 7.10'da bulunan $384{,}13\ kwh$ olan değerin yaklaşık $385\ kwh$ alınıp bu değerin, Eş. 7.16'da hesaplanan güneş panelinin günlük üretimi değeri olan 2 291,4 Wh değerine bölümü Eş. 7.17 ve Eş. 7.18 ile bulunur [47].

Toplam güneş paneli sayısı $= \frac{Günlük\ enerji\ ihtiyacı}{Güneş\ panelinin\ günlük\ üretimi}$ (7.17)

Toplam güneş paneli sayısı $= \frac{385\ kWh}{2\ 291{,}4\ .Wh}$ (7.18)

Toplam güneş paneli sayısı $= 168{,}02$ adet

Böylece yaklaşık olarak 169 adet panel kullanılacaktır.

Panel adedinin bulunmasına müteakip bir diğer kısıt olan araziye uygunluğunun hesaplanması için panellerin kaplayacağı alanın belirlenmesi gerekmektedir.

Panelin boyutları $= 2{,}39 \times 1{,}3 \times 0{,}035$

Panellerin toplam kaplayacağı alanı hesaplayabilmek için panelin boyu olan 2,39 m, eni olan 1,3 m ve toplam kullanılacak panel sayısı olan 169 değerleri Eş. 7.19'daki gibi çarpılır.

$2{,}39\ \times\ 1{,}3\ \times\ 169 = 525{,}08\ m^2$'dir. (7.19)

Bu değer hem arazi kısıtlarına uymaktadır hem de sistemin ihtiyacı olan $229{,}21\ m^2$ değerinden büyük olduğu için kurulum yapılabilir.

7.7.1. Güneş paneli seçimi

Piyasa araştırması sonucunda $670\ Wp$ güce sahip 169 adet CW Enerji markalı paneller kullanılacaktır. Panel ile ilgili elektriksel ve mekanik özellikler Çizelge 7.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.2. Güneş panelinin elektriksel ve mekanik özellikleri [48]

CW Enerji-CWT670-132PM12	670 Wp
Elektriksel Özellikler	
Maksimum Güç (Pmax)	670 Wp
Modül Verimi (%)	21,57
Kısa Devre Akımı (Isc)	18,51
Maksimum Güç Akımı (Imp)	17,50
Maksimum Güç Gerilimi (Vmp)	38,30
Açık Devre Gerilimi (Voc)	46,00
Mekanik Özellikler	
Hücre Boyutu(mm)	210x105
Ağırlık(kg)	34,5
Panel Boyutu(mm)	2 384x1 303x35

7.8. İnverter Hesabı

Kurulacak olan sistem 100 kW'dan yüksek olacağı için (Bkz.) Çizelge 6.1'de belirtildiği üzere dizi inverter seçilmesi gerekmektedir.

Kurulacak olan sistem 385 kW gücünde olacağından gereken inverter sayısı; seçilen inverterin gücü 100 kW'ya bölünmesi Eş. 7.20 ile gerekir [49].

$$\text{İnverter sayısı} = \frac{Sistem\ g\text{ücü}}{\text{İ}nverter\ g\text{ücü}} \tag{7.20}$$

$$\text{İnverter sayısı} = \frac{385\ kW}{100\ kW}$$

$$\text{İnverter sayısı} = 3{,}85$$

Sisteme toplamda 4 adet 100 kW'lık inverter gerekmektedir.

7.8.1. İnverter seçimi

Yapılan piyasa araştırması sonucunda 4 adet Arçelik 100 kW inverter tercih edilmiştir. Çizelge 7.3'te inverter özellikleri sunulmuştur.

Çizelge 7.3. İnverter özellikleri [50]

Arçelik ARCLK-INV-100KT	100 kW Trifaze On-Grid İnverter
AC Nominal Güç	100 000 W (100 kW)
Faz Sayısı	3 (Trifaze)
Maksimum Verimlilik	%98,6
PV Dizi Girişi	2 string/MPPT (20 toplam)
Bağımsız MPPT Sayısı	10
Maksimum PV Gücü	150 000 Wp
DC Giriş Voltajı Aralığı	200 – 1000 V
Nominal AC Voltajı	220/380 V ~ 230/400 V
Maksimum Çıkış Akımı	158,8 A
Soğutma	Aktif soğutma
Boyutlar (E/Y/D)	984 x 640 x 330 mm
Ağırlık	85 kg
İletişim	Wi-Fi / RS485
Çalışma Sıcaklığı	-25°C … +60°C
Maksimum Rakım	4 000 m

7.9. Diğer Parçalar

- Panel sayısı hesaplamalarına göre 169 adet panel kullanılacağından aynı sayıda panel sehpası ihtiyacı bulunmaktadır.
- Varsayım olarak donatı, vidalama gibi gerekli olan malzemeler takribi 1 000 adet olarak kullanılacaktır.
- Kablo tava sistemleri 1 000 m olarak kabul edilmiştir.
- 1 250 A yük ayırıcı, trafo korumalı hücre, giriş-çıkış hücresi, gibi malzemeler sistem için birer adet yeterli olacaktır.
- Sistem 385 kwh olarak çalışacağı için 2 adet 250 kva kuru tip trafo seçilmiştir.
- 4x63 boyutlu sigortadan her bir hücre için ayrı ayrı 169 adet kullanılacaktır.

8. MALİYET ANALİZİ

8.1. Maliyet Analizi

Fuel oil kazanı ile çalışan sistem ve yeni yapılacak olan güneş enerjili sistem için maliyet hesapları ayrı ayrı belirlenmiştir.

8.1.1. Fuel oil sistemi

Çizelge 8.1. Fuel oil kazanının yakıt giderleri

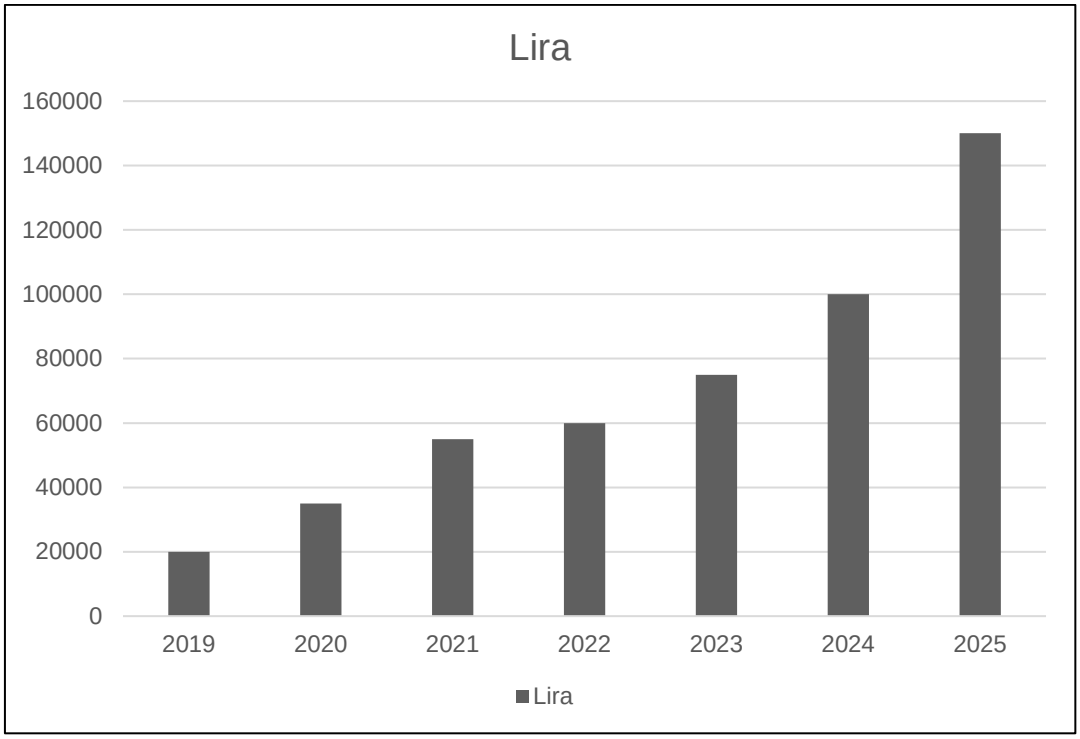
Litre (Fuel Oil)						
2019-2020		Ortalama	Kesafet	Kilogram	Tl/kg	Maliyet ₺()
Kasım	1 223	1 295,5	0,959	1 172,86	3,79	4 445,128
Aralık	1 575		0,959	1 510,43	3,88	5860,449
Ocak	1 568		0,9647	1 512,65	4,5	6 806,923
Şubat	1 297		0,9647	1 251,22	3,97	4 967,327
Mart	1 270		0,9647	1 225,17	2,67	3 271,201
Nisan	840		0,9647	810,348	2,42	1 961,042
Mayıs	721		0,9647	695,549	2,42	1 683,228
Toplam	8 494	1 295,5		7 482,66		27 312,07
2020-2021		Ortalama	Kesafet	Kilogram	Tl/kg	Maliyet
Kasım	1 234	1237,43	0,9647	1 190,44	4	4 761,759
Aralık	1 730		0,9647	1 668,93	4,22	7 042,889
Ocak	1 248		0,9716	1 212,56	4,34	5 262,497
Şubat	1 060		0,9716	1 029,9	4,66	4 799,315
Mart	1 635		0,9716	1 588,57	5,16	8 197,001
Nisan	1 045		0,9716	1 015,32	5,2	5 279,674
Mayıs	710		0,9647	684,937	5,44	3 726,057
Toplam	8 662	1 237,43		8390,65		39 069,19
2021-2022		Ortalama	Kesafet	Kilogram	Tl/kg	Maliyet
Kasım	1 100	1 241,43	0,9647	1 061,17	7,53	7 990,61
Aralık	1 490		0,9647	1 437,4	9,61	13 813,44
Ocak	1 815		0,9802	1 779,06	10,08	17 932,96
Şubat	1 110		0,9802	1 088,02	11,43	12 436,09
Mart	1 160		0,9802	1 137,03	14,8	16 828,07
Nisan	1 105		0,9802	1 083,12	13,05	14 134,73
Mayıs	910		0,9802	891,982	13,42	11 970,4
Toplam	8 690	1 241,43		8 477,79		95 106,3
2022-2023		Ortalama	Kesafet	Kilogram	Tl/kg	Maliyet
Kasım	1 800	1 327,86	0,9802	1 764,36	13,75	24 259,95
Aralık	1 375		0,9802	1 347,78	11,6	15 634,19
Ocak	1 880		0,9802	1 842,78	12,33	22 721,43
Şubat	1 135		0,9802	1 112,53	13	14 462,85
Mart	1 440		0,9802	1 411,49	12,37	17 460,11
Nisan	1 120		0,9802	1 097,82	13,08	14 359,54
Mayıs	545		0,9802	534,209	12,42	6 634,876
Toplam	9 295	1 327,86		9 110,96		115 532,9
2023-2024		Ortalama	Kesafet	Kilogram	Tl/kg	Maliyet
Kasım	1 760	1 357,71	0,9802	1 725,15	24,06	41 507,16
Aralık	1 356		0,9802	1 329,15	23,56	31 314,8
Ocak	1 754		0,9802	1 719,27	25,16	43 256,85

Çizelge 8.1. (devam) Fuel oil kazanının yakıt giderleri

Şubat	1 233		0,9802	1 208,59	24,54	29 658,72
Mart	1 423		0,97	1 380,31	28	38 648,68
Nisan	1 213		0,97	1 176,61	27,72	32 615,63
Mayıs	765		0,97	742,05	26,15	19 404,61
Toplam	9 504	1357,71		9281,13		236 406,4
2024-2025		Ortalama	Kesafet	Kilogram	Tl/kg	Maliyet
Kasım	1 653	1810,2	0,97	1 603,41	27,47	44 045,67
Aralık	1 852		0,97	1 796,44	28,64	51 450,04
Ocak	1 865		0,976	1 820,24	29,04	52 859,77
Şubat	1 946		0,976	1 899,30	29,81	56 618,13
Mart	1 873		0,976	1 828,05	28,38	51 880,06
Nisan	1 786		0,976	1 743,14	26,26	45 774,86
Mayıs	1 697		0,976	1 656,27	26,52	43 924,33
Toplam	12 672	1810,2		12 346,85		346 552,6
Genel Toplam						870 226,65

Hali hazırda kullanılan fuel oil kazanı, 2019 yılından itibaren yıllık fuel oil fiyatlarının yükselmesi ve yıllık harcanan yakıt miktarlarının değişmesiyle birlikte 6 yılda toplam 870 226,65 ₺ yakıt harcamıştır.

(Bkz.) Çizelge 8.1'den belirlenen değerler doğrultusunda 870 226,65 ₺ yakıt harcandığı hesaplanmıştır. Harcanan yakıta ek olarak kazanın yıllık bakım masrafları Şekil 8.1'de belirtilmiştir. Bakım giderleri, sisteme ait olan yedek parçalar ve garanti kapsamında olmayan özel firma ücretlerini içermektedir.



Şekil 8.1. Fuel oil kazanı bakım giderleri

Tespiti yapılan 6 yılda takribi 870 226,65 ₺ yakıt giderleri ve 495 000 ₺ yedek parça ve bakım giderleri olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla fuel oil kazanı için verilerin toplandığı 6 yıl içerisinde toplam maliyeti Eş.8.1 ve Eş. 8.2'de hesaplanmıştır.

$$\text{Toplam maliyet} = \text{Yakıt giderleri} + \text{İşletme bakım giderleri} \quad (8.1)$$

$$\text{Toplam maliyet} = 870\ 226{,}65\ ₺ + 495\ 000\ ₺ \quad (8.2)$$

$$\text{Toplam maliyet} = 1\ 365\ 226{,}65\ ₺\ olmaktadır.$$

8.1.2. Güneş enerjili sistem

Tüm yıl içerisinde gereken zamanlarda enerji kullanımı ve satışı olacağından kurulacak olan sistem on grid olarak tercih edilmiştir. Dolayısıyla on grid sistemde var olması gereken inverter ve buna uygun malzemeler seçilmiştir. Güneş enerjili sistemde kurulumda kullanılacak malzemeler, birim fiyatları ve toplam fiyatları piyasa araştırması sonucunda Çizelge 8.2'de belirtilmiştir.

Çizelge 8.2. Güneş enerji sistemi kurulum maliyetleri

Malzeme Cinsi	Miktar (Adet/Metre)	Birim Fiyat (₺)	Toplam Fiyat (₺)
PV Modül (CWT670-132PM12-V)	169	6 521	1 102 049,00
Panel Sehpaları	169	1 000	169 000,00
Arçelik ARCLK-INV-100KT – 100 kW Trifaze On-Grid İnverter	4	101 987,96	407 951,84
Diğer Parçalar Donatılar, Bağlantılar, vidalar	1 000	16,0	16 000
Kablo Tava Sistemleri, kablolama	1 000	65	65 000,00
Çift Yönlü Sayaç (3 fazlı, Köhler Kombi AEL KC 810	1	2 100,00	2 100,00
1250 A Yük ayırıcılı akım+gerilim ölçü modüler hücresi	1	48 788,06	48 788,06
1250 A Kesicili Trafo koruma modüler hücre	1	300 000,00	300 000,00

Çizelge 8.2. (devam) Güneş enerji sistemi kurulum maliyetleri

1250 A Kesicili giriş çıkış modüler hücre	1	64 735,30	64 735,30
Beton Köşk (5 m boyunda, çatılı)	1	80 000,00	80 000,00
250 Kva kuru tip trafo	2	210 000,00	420 000,00
4X63 A TMŞ+KAKR (300 mA)	169	2 045,00	345 605,00
Proje Maliyeti: (Tasarım, uygulama ve kurulum)			3 021 229,2

Yapılan hesaplamalar sonucunda takribi 3 021 229,2 ₺ bu sistemin ilk kurulum maliyeti olacaktır.

2026 tarihi itibariyle fuel oil kazanı iptal edileceğinden, 2025 yılı sonunda harcanacak olan yıllık bakım giderleri de harcamalar kısmından düşülecektir. Dolayısıyla ilk senede harcanacak olan miktar, ilk kurulum maliyeti olan 3 021 229,2 ₺ değerinden, 150 000,00 ₺ değeri Eş.8.3 ile çıkarılır.

$3\,021\,229{,}2\ ₺ - 150\,000{,}00\ ₺ = 2\,871\,229{,}2\ ₺$ olarak bulunur. (8.3)

Kurulacak olan sistem su ısıtma ihtiyacının bulunduğu zamanlarda kullanılacak, kalan aylarda satışı yapılacaktır. Bu durumda Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim aylarında satışı yapılan enerji de ek gelir olarak kaydedilecektir.

Bulunulan konumda $514\,591{,}32\ kwh$ enerji yıllık olarak üretilmektedir. Üretilen enerjinin satışı yapılmak istenilen ayların (Haziran-Ekim) toplamında, (Bkz) Şekil 7.2'ye istinaden oran orantı yöntemiyle yıllık enerji üretimi $264\,521{,}19\ kwh$ olarak hesaplanmıştır. Güneş enerjili sistemin kullanım ömrü 25 yıl olarak öngörülmüştür.

Enflasyon 2026 yılında %20 olarak, iskonto oranı 0,15 olarak kabul edilmiştir. İşletme bakım giderleri ilk yıl için 150 000 ₺ olarak diğer yıllarda enflasyonun da dahil edilmesiyle artmaktadır. İşletme bakım giderlerinin net bugünkü değeri 125 000 ₺ olacaktır.

Yıllık enerji üretimi ve enerjinin satış fiyatının çarpımı Eş. 8.4 ile yıllık kazanç hesaplanabilir. Bulunan değerler Çizelge 8.4 ve Çizelge 8.5'te gösterilmiştir.

Yıllık kazanç = Yıllık enerji üretimi × Satış fiyatı (8.4)

Fakat yıllar geçtikçe enflasyonun etkisi ile yıllık kazanç azalabilir dolayısıyla bugünkü değerinin belirlenmesi gerekir. Dolayısıyla ilk olarak enflasyon ve yıla bağlı olarak bugünkü değer faktörü (BDF) Eş.8.5 hesaplanmıştır. Bulunan değerler Çizelge 8.4 ve Çizelge 8.5'te gösterilmiştir.

$t = yıl$, olmak üzere, her yıl için ayrı ayrı;

$$BDF = \frac{1}{(1+Enflasyon)^t} \quad (8.5)$$

Burada, bugünkü değer faktörü ile, yıllık kazancın çarpımı Eş. 8.6 ile yıllık kazancın net bugünkü değeri hesaplanmış ve değerler Çizelge 8.4 ve Çizelge 8.5'te gösterilmiştir.

Yıllık kazanç Net Bugünkü Değer (NBD) = Yıllık kazanç × BDF (8.6)

01.10.2025 tarihinden itibaren satışı yapılacak olan projenin satış fiyatları 1 Mayıs 2023 tarihli, 32177 sayılı resmî gazetede yayınlanan Cumhurbaşkanlığı kararları neticesinde Çizelge 8.3'te bulunan verilere göre işlenmiştir.

Çizelge 8.3. YEKDEM fiyatlandırması

Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	01.10.2025 YEKDEM Fiyatı (TL kr/kWh)	01.10.2025 YEKDEM Yerli Aksam Desteği (TL kr/kWh)	01.11.2025 YEKDEM Fiyat (TL kr/kWh)	01.11.2025 YEKDEM Yerli Aksam Desteği (TL kr/kWh)	01.12.2025 YEKDEM Fiyat (TL kr/kWh)	01.12.2025 YEKDEM Yerli Aksam Desteği (TL kr/kWh)
Rezervuarlı hidroelektrik üretim tesisi	323,66	64,74	328,95	65,80	332,92	66,59
Nehir tipi hidroelektrik üretim tesisi	303,41	64,74	308,37	65,80	312,1	66,59
Karasal rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesisi	238,24	64,74	242,13	65,80	245,06	66,59
Deniz üstü rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesisi	323,66	86,39	328,95	87,80	332,92	88,86

Çizelge 8.4. YEKDEM fiyatlandırması

Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	454,04	64,74	461,47	65,8	467,05	66,59
Çöp gazı/Atık lastiklerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden elde edilen kaynaklar	238,24	64,74	242,13	65,8	245,06	66,59
Biyometanizasyon	388,83	48,5	395,18	65,8	399,95	66,59
Termal bertaraf (Belediye atıkları, bitkisel yağ atıkları, gıda ve yem değeri olmayan tarımsal atıklar, endüstriyel odun dışındaki orman ürünleri, sanayi atık çamurları)	303,22	64,74	308,17	49,29	311,89	49,89
Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	238,24	86,39	242,13	65,80	245,06	66,59
Rüzgâr veya güneş enerjisine dayalı üretim tesisi ile bütünleşik elektrik depolama tesisi	280,96	86,39	285,5	87,80	289,00	88,86
Pompaj depolamalı hidroelektrik üretim tesisi	454,05	86,39	461,47	87,80	467,05	88,86
Dalga veya akıntı enerjisine dayalı üretim tesisi	303,41	86,39	308,37	87,80	312,10	88,86

Toplam farklı 3 durum ele alınmıştır.

Birinci ve ikinci durumlarda sistemin 5 aylık süre içerisinde elde ettiği enerjiden kar etmek maksadıyla satış yolu izlenmiş, üçüncü durumda ise üretilen enerjiyi doğrudan kullanma yöntemleri tercih edilmiş, durumlara göre sistemin amortisman süresi hesaplanmış, değişken durumlara karşı ise hangi parametrelere göre sistemin zarar edebileceği belirtilmiştir. Birinci durumda iskonto oranı %15, enflasyon oranı %20 olması durumu Çizelge 8.4'te incelenmiştir.

Çizelge 8.5. Fayda-masraf analizi birinci durum

Yıllar	İskonto	Enflasyon	Yıllık Üretim	Satış Fiyatı	Yıllık Kazanç	Yıllık Kazanç(NBD)	Yatırım Maliyeti	İşletme Bakım Giderleri	İşletme Bakım Giderleri(NBD)	BDF	Fayda-Masraf
0							2.871.229,20		0	1	-2.871.229,20
1	0,15	0,20	264521,19	2,3824	630195,2831	525162,7359	-	150000	125000	0,833333333	-2.471.066,46
2	0,15	0,20	264521,19	2,3824	693214,8114	481399,1746	-	180000	125000	0,694444444	-2.114.667,29
3	0,15	0,20	264521,19	2,3824	797197,0331	461340,8756	-	216000	125000	0,578703704	-1.778.326,41
4	0,15	0,20	264521,19	2,3824	916776,588	442118,3391	-	259200	125000	0,482253086	-1.461.208,07
5	0,15	0,20	264521,19	2,3824	1054293,076	423696,7417	-	311040	125000	0,401877572	-1.162.511,33
6	0,15	0,20	264521,19	2,3824	1212437,038	406042,7108	-	373248	125000	0,334897977	-881.468,62
7	0,15	0,20	264521,19	2,3824	1394302,593	389124,2645	-	447897,6	125000	0,279081647	-617.344,36
8	0,15	0,20	264521,19	2,3824	1603447,982	372910,7535	-	537477,12	125000	0,232568039	-369.433,60
9	0,15	0,20	264521,19	2,3824	1843965,18	357372,8054	-	644972,544	125000	0,193806699	-137.060,80
10	0,15	0,20	264521,19	2,3824	2120559,957	342482,2718	-	773967,0528	125000	0,161505583	80.421,47
11	0,15	0,20	264521,19	2,3824	2438643,95	328212,1772	-	928760,4634	125000	0,134587986	283.633,65
12	0,15	0,20	264521,19	2,3824	2804440,543	314536,6698	-	1114512,556	125000	0,112156655	473.170,32
13	0,15	0,20	264521,19	2,3824	3225106,624	301430,9752	-	1337415,067	125000	0,093463879	649.601,30
14	0,15	0,20	264521,19	2,3824	3708872,618	288871,3513	-	1604898,081	125000	0,077886566	813.472,65
15	0,15	0,20	264521,19	2,3824	4265203,51	276835,045	-	1925877,697	125000	0,064905472	965.307,69
16	0,15	0,20	264521,19	2,3824	4904984,037	265300,2514	-	2311053,236	125000	0,054087893	1.105.607,94
17	0,15	0,20	264521,19	2,3824	5640731,642	254246,0743	-	2773263,883	125000	0,045073244	1.234.854,02
18	0,15	0,20	264521,19	2,3824	6486841,389	243652,4878	-	3327916,66	125000	0,037561037	1.353.506,50
19	0,15	0,20	264521,19	2,3824	7459867,597	233500,3009	-	3993499,992	125000	0,031300864	1.462.006,81
20	0,15	0,20	264521,19	2,3824	8578847,736	223771,1217	-	4792199,991	125000	0,026084053	1.560.777,93
21	0,15	0,20	264521,19	2,3824	9865674,897	214447,3249	-	5750639,989	125000	0,021736711	1.650.225,25
22	0,15	0,20	264521,19	2,3824	11345526,13	205512,0197	-	6900767,986	125000	0,018113926	1.730.737,27
23	0,15	0,20	264521,19	2,3824	13047355,05	196949,0189	-	8280921,584	125000	0,015094938	1.802.686,29
24	0,15	0,20	264521,19	2,3824	15004458,31	188742,8098	-	9937105,9	125000	0,012579115	1.866.429,10
25	0,15	0,20	264521,19	2,3824	17255127,06	180878,526	-	11924527,08	125000	0,010482596	1.922.307,63

Enerji satışıyla birlikte hesaplamalara göre sistemin 10 yıllık amortisman süresi vardır. Amortisman süresinin azalması için doğrudan enflasyonun azalması gerekmektedir. Yapılacak yatırımda iskonto oranının artması gelirleri artırırken, enflasyonun artması ise giderleri artırarak sistemi zarara uğratabilir. Bu durumda YEKDEM satış fiyatlarının değişmesi de doğru orantılı olarak amortisman süresini değiştirebilir.

İkinci bir durum Çizelge 8.5'te enflasyon oranının %25 olduğu hâl gösterilmiştir.

Çizelge 8.6. Fayda-masraf analizi ikinci durum

Yıllar	İskonto	Enflasyon	Yıllık Üretim	Satış Fiyatı	Yıllık Kazanç	Yıllık Kazanç(NBD)	Yatırım Maliyeti	İşletme Bakım Giderleri	İşletme Bakım Giderleri(NBD)	BDF	Fayda-Masraf
0							2.871.229,20		0	1	-2.871.229,20
1	0,15	0,25	264521,19	2,3824	630195,283	504156,2264	-	150000	120000	0,8	-2.487.072,97
2	0,15	0,25	264521,19	2,3824	693214,811	443657,4793	-	187500	120000	0,64	-2.163.415,49
3	0,15	0,25	264521,19	2,3824	797197,033	408164,8809	-	234375	120000	0,512	-1.875.250,61
4	0,15	0,25	264521,19	2,3824	916776,588	375511,6905	-	292968,75	120000	0,4096	-1.619.738,92
5	0,15	0,25	264521,19	2,3824	1054293,08	345470,7552	-	366210,938	120000	0,32768	-1.394.268,17
6	0,15	0,25	264521,19	2,3824	1212437,04	317833,0948	-	457763,672	120000	0,262144	-1.196.435,07
7	0,15	0,25	264521,19	2,3824	1394302,59	292406,4472	-	572204,59	120000	0,2097152	-1.024.028,63
8	0,15	0,25	264521,19	2,3824	1603447,98	269013,9314	-	715255,737	120000	0,16777216	-875.014,69
9	0,15	0,25	264521,19	2,3824	1843965,18	247492,8169	-	894069,672	120000	0,13421773	-747.521,88
10	0,15	0,25	264521,19	2,3824	2120559,96	227693,3916	-	1117587,09	120000	0,10737418	-639.828,49
11	0,15	0,25	264521,19	2,3824	2438643,95	209477,9202	-	1396983,86	120000	0,08589935	-550.350,57
12	0,15	0,25	264521,19	2,3824	2804440,54	192719,6866	-	1746229,83	120000	0,06871948	-477.630,88
13	0,15	0,25	264521,19	2,3824	3225106,62	177302,1117	-	2182787,28	120000	0,05497558	-420.328,77
14	0,15	0,25	264521,19	2,3824	3708872,62	163117,9428	-	2728484,11	120000	0,04398047	-377.210,82
15	0,15	0,25	264521,19	2,3824	4265203,51	150068,5073	-	3410605,13	120000	0,03518437	-347.142,32
16	0,15	0,25	264521,19	2,3824	4904984,04	138063,0268	-	4263256,41	120000	0,0281475	-329.079,29
17	0,15	0,25	264521,19	2,3824	5640731,64	127017,9846	-	5329070,52	120000	0,022518	-322.061,31
18	0,15	0,25	264521,19	2,3824	6486841,39	116856,5458	-	6661338,15	120000	0,0180144	-325.204,76
19	0,15	0,25	264521,19	2,3824	7459867,6	107508,0222	-	8326672,68	120000	0,01441152	-337.696,74
20	0,15	0,25	264521,19	2,3824	8578847,74	98907,3804	-	10408340,9	120000	0,01152922	-358.789,36
21	0,15	0,25	264521,19	2,3824	9865674,9	90994,78997	-	13010426,1	120000	0,00922337	-387.794,57
22	0,15	0,25	264521,19	2,3824	11345526,1	83715,20677	-	16263032,6	120000	0,0073787	-424.079,36
23	0,15	0,25	264521,19	2,3824	13047355,1	77017,99023	-	20328790,7	120000	0,00590296	-467.061,37
24	0,15	0,25	264521,19	2,3824	15004458,3	70856,55101	-	25410988,4	120000	0,00472237	-516.204,82
25	0,15	0,25	264521,19	2,3824	17255127,1	65188,02693	-	31763735,5	120000	0,00377789	-571.016,79

Bu durumda satış fiyatı ve iskonto oranı sabit kalması ve sadece enflasyon oranının yükselmesi ile 25 yıl sonucunda sistem 571 016,79 lira zarar etmektedir.

Üçüncü durumda ise bu aylarda üretilen enerjinin doğrudan üretimin yapıldığı meskenin kullandığı elektriğe dönüşmesi durumudur. Bulunulan mesken aylık ortalama 35 000 kwh elektrik harcamaktadır. Ekim 2025 elektrik birim fiyatının 5,040268 olması neticesinde 200 000 liranın üzerinde aylık masraf edilmiştir. 2025-2026 yılı sonunda ortalama 1 000 000 liranın üzerinde elektrik harcaması öngörülmektedir. Şekil 7.2'ye istinaden Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında 50 000 kwh üzerinde enerji üretmektedir. Dolayısıyla üretilen enerji ihtiyaç duyulan ayların tamamında bulunulan meskene yeterli olacaktır.

Üçüncü durum neticesinde güneş enerjisi ile üretilen elektriğin doğrudan kullanımı ile ilk yatırım giderlerini ve öngörülemeyen masrafları 3 yıl içerisinde kolaylıkla amorti edebilecektir.

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile fuel oil kazanı ile ısıtılan bir tesise, güneş enerjisi sistemi entegre edilerek, verimli, düşük maliyetli ve uzun ömürlü bir sonuç elde edilmiştir. Tespit edilen sonuçlarda üretilen elektriğin satışı ve doğrudan kullanım durumları için fayda ve masraf analizleri yapılarak amortisman süreleri belirlenmiştir. İncelenen 3 durum sonucunda en uygun olan tasarım yöntemi üretilen elektriğin doğrudan kullanıldığı yöntemdir. İstanbul ili içerisinde tasarımı yapılan bu tesisin, ülkemizin güneşlenme süresi bakımından en düşük olduğu yerlerden biri olmasına karşı güneş enerjisinden elde edilen elektrik üretimi ve kullanımı açısından kendisine yetebilen bir mesken olabileceği açıkça tespit edilmiştir. Dolayısıyla yapılan yatırımların ülkemizin sadece güney bölgelerine değil, aynı zamanda kuzey bölgelerinin de değerlendirilmesiyle hem enerji bağımsızlığı kazanılması hem de çevre kirliliğinin önüne geçilebilmesi maksadıyla oldukça önem arz etmektedir. İcra edilen proje kapsamında benzer tesislerin de güneş enerjisine dönüşmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Ritchie, H., Rosado, P. (2020). Energy production and consumption. *Our World in Data*, 8. URL: https://ourworldindata.org/energy-production-consumption Son Erişim Tarihi: 03.11.2025.

2. İnternet: Kaya, M. (2016). Türkiye Petrolleri. Petrolün kısa tarihi. *TP*, 53. URL: https://tpao.gov.tr/file/2003/yillik-raporlar-2016-2765e5d18ad09ce8.pdf Son Erişim Tarihi: 20.11.2025.

3. Yergin, D. (2009). *The prize the epic quest for oil, money, and power* (1. Edition). New York: Simon & Schuster, 928.

4. İnternet: New York City (2016). Building have discontinued use most polluting. *NYC*, 5. URL: www.nyc.gov/office-of-the-mayor/news/152-16/mayor-de-blasio-dep-that-all-5-300-buildings-have-discontinued-use-most-polluting Son Erişim Tarihi: 04.11.2025.

5. İnternet: Türkiye petrolleri. (2018). Fuel Oil 4 (Kalorifer yakıtı). *TP*, 8. URL: https://www.tppd.com.tr/Content/dosya/71/fuel-oil-4-kalorifer-yakiti-tr-41223-7138317.pdf Son Erişim Tarihi: 04.11.2025.

6. Yılmaz, M. (2012). Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 33-54.

7. İnternet: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). Hidroelektrik enerji kaynakları. *ETKB*, 1. URL: https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-hidrolik Son Erişim Tarihi: 10.11.2025.

8. İnternet: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). Jeotermal enerji kaynakları. *ETKB*, 1. URL: https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-jeotermal Son Erişim Tarihi: 10.11.2025.

9. İnternet: Makine Mühendisleri Odası. (2020). Biyokütle enerji kaynakları. *TMMOB*, 3. URL: https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TEG.pdf Son Erişim Tarihi: 10.11.2025

10. İnternet: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). Rüzgâr enerjisi. *ETKB*, 3. URL: https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-ruzgar Son Erişim Tarihi: 11.11.2025.

11. İnternet: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). Güneş enerjisi. *ETKB*, 3. URL: https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes Son Erişim Tarihi: 12.11.2025.

12. Silvi, C. (2008). Solar energy. *History and Future of Renewable Solar Energy*, 51(3), 409-414.

13. Precht, P. (2021). Toward a 100% renewable electricity future. *Sustainable Energy Development and Innovation Chapter Innovation in Solar Technology*, 51(3), 3–12.

14. Perlin, J. (2013). *Let it shine the 6,000-year story of solar energy.* (1. Edition). New York: New World Library, 544.

15. Sorensen, B., Breeze, P., Storvick, T., Yang, A., Rosa, S., Gupta, H. (2009). *Renewable Energy Focus Handbook*. (1. Edition). Amsterdam: Elsevier, 329-330.

16. İnternet: Horuz, İ. (2005). Güneş enerjisi. *GÜ*, 17. URL:https://www.scribd.com/document/672699199/gunes-enerjisi-sunum-final Son Erişim Tarihi: 29.11.2025.

17. İnternet: Özdoğan, M. (2025). Güneş enerjili su ısıtma sistemleri. *OMU*, 91. URL: https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/muhammet.ozdogan/71124/7.%20Hafta.pdf Son Erişim Tarihi: 22.11.2025.

18. Tabak, C., Dinçer, H., Karayazı, K., Arslan, E., Yıldız, H., Karayazı, S. (2024, 21-22 Mayıs). *Yoğunlaştırıcı güneş enerjisi sistemleri ile elektrik enerjisi üretimi.* 3'üncü Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumunda sunuldu, Kocaeli, 318-322.

19. Delibaş, H. M., Yılmaz, N. F. (2023, 13-16 Kasım). *Fotovoltaik Teknolojisinin Güncel Durumu ve Kapsamlı Değerlendirmesi*. 5'inci Uluslararası Malzeme ve Mühendislik Teknolojileri Konferansında sunuldu, Trabzon, 260-274.

20. Sayın, S., Koç, İ. (2011). Güneş enerjisinden aktif olarak yararlanmada kullanılan fotovoltaik sistemler ve yapılarda kullanım biçimleri. *Selçuk Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26(3), 89-106.

21. Karadavut, A. (2019). *Tam Hücreli Fotovoltaik Modüllerin Matematiksel Modellenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli. 3-15.

22. Atalay, Ö., Yorgun, B., Erdem, D. R. (2019, 8-9 Kasım). *Tam hücreli fotovoltaik modüllerin matematiksel modellenmesi.* 8'inci Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisinde sunuldu, Mersin, 3-15.

23. İnternet: Çalapkulu, S. (2022). Güneş enerjisi. *Baret*, 5. URL: https://www.baretdergisi.com/yazarlar/semih-calapkulu/gunes-enerjisi-hakkinda-merak-edilenler/104/ Son Erişim Tarihi: 13.11.2025

24. Maltaş, M. (2017). *Manisa İli İçin 1 Mw Güneş Enerjisi Santrali Fizibilitesi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 14-16.

25. Eruz, Ü.G. (2015). *Güneş Paneli Çeşitlerinden Polikristal, Monokristal ve Thin Film Panallerinin Karabük Şartlarında Verimlilik Karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük. 11-20.

26. Taesoo D. L., Abasifreke U. E. (2017). A review of thin film solar cell technologies and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 70(1), 1286-1297.

27. Kreiger, M. A., Shonnardb, D. R., Pearce, J. M. (2013). Life cycle analysis of silane recycling in amorphous silicon-based solar photovoltaic manufacturing. *Resources, Conservation and Recycling*, 70(1), 40-49.

28. Ramanujam, J., Singh, U. P. (2017). Copper indium gallium selenide based solar cells a review. *Energy & Environmental Science.* 9(11). 250-256.

29. Başola B. M., Brian, M. (2014). Brief review of cadmium telluride-based photovoltaic technologies. *Journal of Photonics for Energy*, 4(1). 1-11.

30. Kirpich, A., Buerger, E. (1976, 15-18 November). *Performance and cost assessment of photovoltaic system concepts.* Proceedings 12th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Los Angeles, 673-680.

31. Gabor, A., Yelundur, V., Upadhyaya, A., Kim, D. S., Meemongkolkiat, A., Rohatgi, A. (2003). *Strıng rıbbon sılıcon solar cells wıth 17.8% efficıency*. Proceedings of 3rd World Conference, Netherlands, 1293-1296.

32. Papež, N., Dallaev, R., Talu, S., Kaštyl, J. (2021). Overview of the current state of gallium arsenide-based solar cells. *Materials*, 14(11), 3075.

33. İnternet: Else Roof. (2025). On grid sistemler. *ER*, 1. URL: https://www.elseroof.com/hizmetlerimiz/on-grid-sistemler/ Son Erişim Tarihi: 15.11.2025.

34. İnternet: Bakıcı, F. (2025). Fotovoltaik güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan inverterler ve seçim kriterleri. *ABB Elektrik San. A.Ş.,* 2. URL: https://www.emo.org.tr/ekler/5888457e79a36b4_ek.pdf Son Erişim Tarihi: 25.11.2025

35. Desai, A., Mukhopadhyay, I., Ray, A. (2020, 15 June-21 August). *Performance analysis of string and central inverter based ideally designed utility scale solar pv plant.* IEEE 47th Photovoltaic Specialists Conference, Calgary, 2412-2417.

36. İnternet: Alarko Carrier. (2025). Kazan kullanma kılavuzu. *AC*, 65. URL: https://manualzz.com/doc/1846954/alarko-ack2--ack3-kalorifer-kazanlar%C4%B1-kullan%C4%B1m-k%C4%B1lavuzu Son Erişim Tarihi: 20.11.2025.

37. İnternet: Alarko Carrier. (2025). Brülör broşürü. *AC*, 4. URL: https://www.alarkocarrier.com.tr/Data/Files/Dokumanlar/brosur/brulor-alf-brs.pdf Son Erişim Tarihi: 15.11.2025.

38. Southard, M. Z., Green, D. W. (2018). Perry's chemical engineers handbook. (9. Edition). New York: McGraw-Hill, 2-100.

39. Weiss, W., Spörk-Dür, M. (2022). Solar heat worldwide. *AEE INTEC* and *IEA SHC P*. Gleisdorf, 22-33.

40. Duffie, J., Beckman, W. (2020). *Solar engineering of thermal processes*. (5. Edition). New Jersey: John Wiley & Sons, 639-643.

41. İnternet: Munda Solar. (2025). Güneşlenme süreleri. *MS*, 3. URL: https://mundasolar.com/2020/12/23/turkiye-guneslenme-sureleri-iller-aylik-yillik-ortalama Son Erişim Tarihi: 15.11.2025.

42. Suryanarayana, N. V., Arıcı, Ö. (2003). *Design & simulation of thermal systems*. (1. Edition). Boston: McGraw-Hill, 552.

43. Jaluria Y, (2007*). Design and optimization of thermal systems*. (2. Edition). Boca Raton: McGraw-Hill, 752.

44. İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2025). İllere ait mevsim normalleri. MGM, 1. URL: https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=undefined&m=ISTANBUL Son Erişim Tarihi: 15.11.2025.

45. İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2025). İl ve ilçelere göre güneşlenme süreleri Resmi İklim İstatistikleri. *MGM*, 1. URL: https://www.mgm.gov.tr/verideğerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A Son Erişim Tarihi: 15.11.2025.

46. İnternet: Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi. (2025). PVGIS programı. *PVGIS*, 1. URL: https://pvgis.com/tr Son Erişim Tarihi: 15.11.2025.

47. Al Riza, D., Gilani, H. (2014). Photovoltaic system sizing using peak sun hour method and evaluation by trnsys simulation. *Internatıonal Journal Of Renewable Energy Research*, 4(1), 110-114.

48. İnternet: Cw Enerji Müh. Tic. Ve San. A.Ş. (2025). Güneş paneli özellikleri. *CW Enerji*, 1. URL: https://cw-enerji.com/tr/urun/cw-enerji-670wp-132pm-m12-hc-mb-gunes-paneli-773.html Son Erişim Tarihi: 15.11.2025.

49. Ilıca, A., Serdar, M. (2023). Electrical sizing of grid-connected photovoltaic systems. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(4), 451-462.

50. İnternet: Arçelik (2025). İnverter özellikleri. *Arçelik*, 1. URL: https://www.turkiyesolarmarket.com.tr/urunler/inverterler--invertor/arcelik--100-kw--solar-inverter Son Erişim Tarihi: 15.11.2025.

EKLER

EK-1. Resmî Gazete

Ek -2

1/7/2021 TARİHİNDEN 31/12/2030 TARİHİNE KADAR İŞLETMEYE GİREN/GİRECEK YEK BELGELİ ÜRETİM TESİSLERİ İÇİN YEK DESTEKLEME MEKANİZMASI UYGULAMA FİYATLARI İLE YERLİ KATKI FİYATLARININ GÜNCELLENMESİ

1/7/2021 tarihinden 31/12/2030 tarihine kadar işletmeye giren/girecek YEK Belgeli üretim tesisleri için Ek-1'de yer alan YEK Destekleme Mekanizması Uygulama Fiyatları ile Yerli Katkı Fiyatları, bu Kararın yayımını takip eden ilk aydan başlamak üzere aylık dönemler halinde aşağıdaki yönteme göre güncellenir.

$$YEKDEM_{GD} / YKF_{GD} = YEKDEM_{ÖGD} / YKF_{ÖGD} \times \left[\left(\frac{25}{100} \times \frac{ÜFE_{A-2}}{ÜFE_{A-3}}\right) + \left(\frac{15}{100} \times \frac{TÜFE_{A-2}}{TÜFE_{A-3}}\right) + \left(\frac{30}{100} \times \frac{KUR_{D-1}}{KUR_{D-2}}\right) + \left(\frac{30}{100} \times \frac{KUR_{t-1}}{KUR_{t-2}}\right)\right]$$

$YEKDEM_{GD}$ *	:	Hesaplanan aylık YEK Destekleme Mekanizması Uygulama Fiyatı (Türk Lirası kuruş/kWh)
$YEKDEM_{ÖGD}$ **	:	Bir önceki ay için hesaplanan YEK Destekleme Mekanizması Uygulama Fiyatı (Türk Lirası kuruş/kWh)
YKF_{GD} *	:	Herhangi bir aylık dönem için uygulanacak güncel Yerli Katkı Fiyatı (Türk Lirası kuruş/kWh)
$YKF_{ÖGD}$ **	:	Bir önceki aylık dönem için hesaplanan Yerli Katkı Fiyatı (Türk Lirası kuruş/kWh)
$ÜFE_{A-2}$	:	Güncel YEK Destekleme Mekanizması Uygulama Fiyatının geçerli olacağı aydan önceki ikinci aya ait yurt içi Üretici Fiyat Endeksi
$ÜFE_{A-3}$	:	Güncel YEK Destekleme Mekanizması Uygulama Fiyatının geçerli olacağı aydan önceki üçüncü aya ait yurt içi Üretici Fiyat Endeksi
$TÜFE_{A-2}$	:	Güncel YEK Destekleme Mekanizması Uygulama Fiyatının geçerli olacağı aydan önceki ikinci aya ait Tüketici Fiyat Endeksi
$TÜFE_{A-3}$	:	Güncel YEK Destekleme Mekanizması Uygulama Fiyatının geçerli olacağı aydan önceki üçüncü aya ait Tüketici Fiyat Endeksi
KUR_{D-1}	:	Güncel YEK Destekleme Mekanizması Uygulama Fiyatının geçerli olacağı aydan bir önceki ay içerisinde Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası tarafından yayımlanan günlük ABD Doları alış kurlarının ortalaması
KUR_{D-2}	:	Güncel YEK Destekleme Mekanizması Uygulama Fiyatının geçerli olacağı aydan önceki ikinci ay içerisinde Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası tarafından yayımlanan günlük ABD Doları alış kurlarının ortalaması
KUR_{t-1}	:	Güncel YEK Destekleme Mekanizması Uygulama Fiyatının geçerli olacağı aydan önceki birinci ayda Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası tarafından yayımlanan günlük Avro alış kurlarının ortalaması



Gazili olmak ayrıcalıktır