

## Uzay Tabanlı Güneş Enerjisine Genel Bakış

**Hamza ALAHMAD<sup>1\*</sup>, Edip TAŞKESEN<sup>2</sup>, Elif Nur BİLEN<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Enerji Bilimi ve Teknolojileri, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Şırnak Üniversitesi, Türkiye; ORCID: [0000-0002-6261-3449](https://orcid.org/0000-0002-6261-3449)

<sup>2</sup>Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Şırnak Üniversitesi, Türkiye; ORCID: [0000-0002-3052-9883](https://orcid.org/0000-0002-3052-9883)

<sup>3</sup>Enerji Bilimi ve Teknolojileri, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Şırnak Üniversitesi, Türkiye; ORCID: [0000-0002-7385-3704](https://orcid.org/0000-0002-7385-3704)

\* Corresponding Author: [hmza8246@gmail.com](mailto:hmza8246@gmail.com)

Received: 25 July 2023; Accepted: 24 September 2023

**Reference/Atf:** H. Alahmad, E. Taşkesen, E. N. Bilen, “Uzay Tabanlı Güneş Enerjisine Genel Bakış”, Researcher, vol.3, no.2, pp.8-30, December 2023, doi: 10.55185/researcher.1332802

### Özet



Bu makale, uzaydan güneş enerjisini yakalama ve onu Dünya'ya aktarma potansiyelini araştıran uzay tabanlı güneş enerjisine genel bir bakış sunmaktadır. Uzay tabanlı güneş enerjisi (UTGE), atmosferik koşullar veya sınırlı gün ışığı saatleri tarafından engellenmeden güneş enerjisinden güneş enerjisini doğrudan kullanma kavramını kapsar, temiz ve sürdürülebilir enerji talebinin artması için umut verici bir çözüm haline getiriyor. Günümüzde enerji taleplerinin artmasıyla birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyaç da büyük ölçüde artmıştır. Güneş enerjisi, temiz ve sınırsız bir kaynak olması nedeniyle enerji üretiminde önemli bir role sahiptir. Bununla birlikte, bazı zorluklar, özellikle atmosferin engel teşkil ettiği yer yüzünde güneş panelleri kurulumu ve enerji toplama verimliliği konularında ortaya çıkmaktadır. Bu makale, uzay tabanlı güneş enerjisinin potansiyel ve önemli faydalarını inceleyerek, bu alanda küresel enerjinin geleceği için devam eden Ar-Ge önemini vurgulamaktadır. Sonuçlar, gelecekteki enerji stratejileri için önemli bilgiler sağlayabilir ve güneş enerjisinin kullanımındaki potansiyeli artırabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Uzay, Enerji, Güneş panelleri, Lazer, Mikrodalga

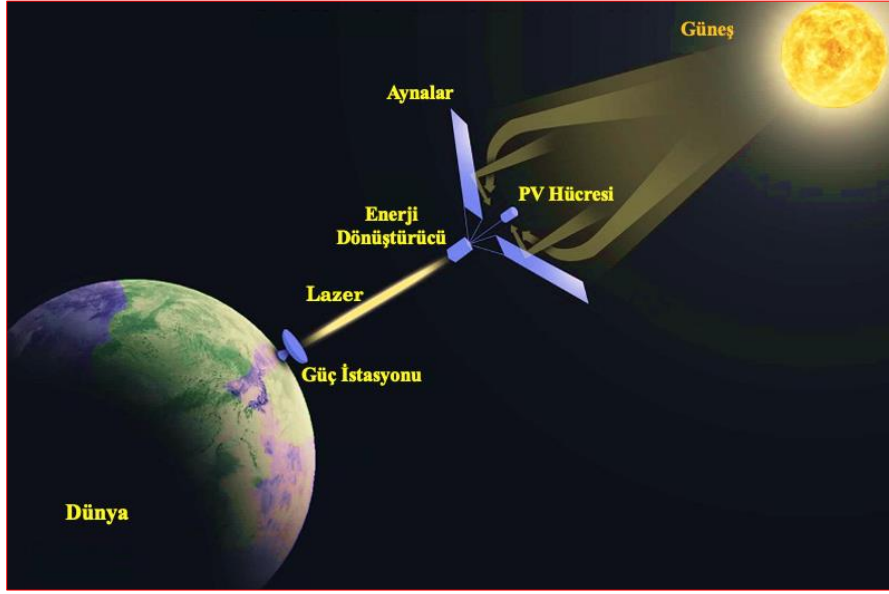
## Space-Based Solar Energy Overview

### Abstract

This article provides an overview of space-based solar energy, which explores the potential to capture solar energy from space and transfer it to Earth. Space-based solar energy (UTGE) covers the concept of using solar energy directly from solar energy without being blocked by atmospheric conditions or limited daylight hours, it makes it a promising solution for increasing demand for clean and sustainable energy. With the increase in energy demands today, the need for renewable energy sources has also increased greatly. Solar energy has an important role in energy production as it is a clean and unlimited resource. However, some difficulties arise especially in the areas of solar panels installation and energy collection efficiency on the face of the atmosphere. This article examines the potential and important benefits of space-based solar energy, emphasizing the ongoing R&D importance for the future of global energy in this field. The results can provide important information for future energy strategies and increase the potential for the use of solar energy.

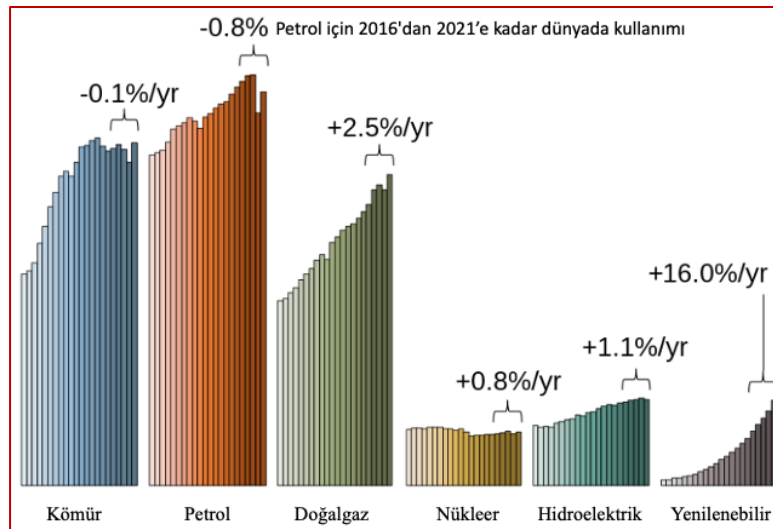
**Keywords:** Space, Energy, Solar panels, Laser, Microwave

## Grafiksel Öz / Graphical Abstract



## 1. Giriş

Günümüzde enerji ihtiyacının artması ve fosil yakıtların sınırlı olması, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Bu kaynaklar arasında güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidroelektrik enerjisi ve biyokütle enerjisi gibi birçok seçenek bulunmaktadır. Ancak, bu kaynakların verimliliği ve maliyeti hala birçok ülke için sorun teşkil etmektedir. Bu nedenle, enerji üretiminde yeni ve daha verimli yöntemler arayışı devam etmektedir [1]. Şekil 1’de Yenilenebilir kaynaklar hızla artmaya başlasa da kömür, petrol ve doğalgaz birincil küresel enerji kaynakları olmaya devam ediyor göstermektedir.



Şekil 1. 2000 – 2021 Yılları Arası Küresel Enerji Tüketimi [2].

Uzaydan güç sağlama, bu arayışın sonucunda ortaya çıkan bir fikirdir. Güneş panelleri, dünya yüzeyindeki güneş ışınlarını elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılan bir teknolojidir. Ancak, uzayda güneş ışınlarından yararlanarak daha yüksek verimlilikle elektrik üretmek mümkün olabilir. Bu fikir, ilk olarak 1960'larda NASA tarafından ortaya atılmıştır [3]. Uzayda güneş panelleri kullanarak

elektrik üretme fikri, elde edilen enerjinin mikrodalga veya lazer aracılığıyla dünya yüzeyine iletilerek enerji ihtiyacını karşılaması şeklinde gerçekleştirilebilir. (Şekil 2).



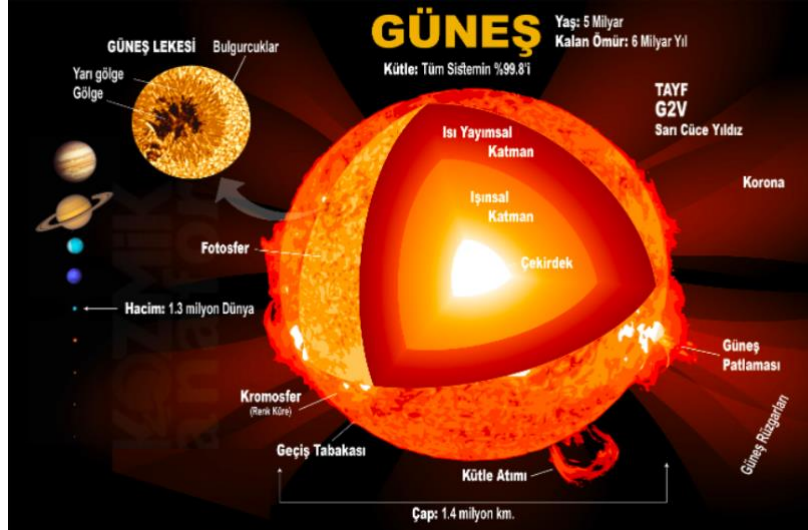
Şekil 2. Uzay Tabanlı GES Çalışma Prensibi [4].

Uzaydan güç sağlama fikri, enerji ihtiyacının artması ve fosil yakıtların sınırlı olması gibi nedenlerle yeniden gündeme gelmiştir. Bu teknoloji, dünya yüzeyindeki güneş panellerine göre daha yüksek verimlilik sağlayabilir ve enerji ihtiyacının karşılanması açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Ancak, bu teknolojinin uygulanabilirliği ve maliyeti gibi birçok faktörün de göz önünde bulundurulması gerekmektedir [5].

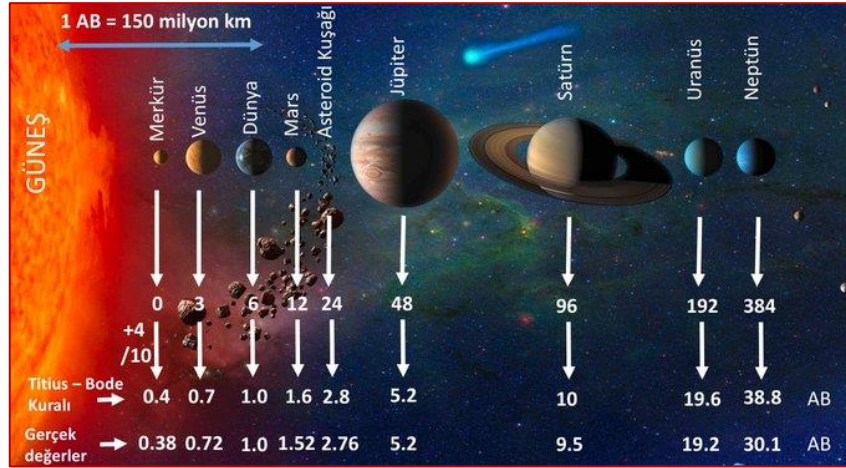
Bu araştırmada, uzaydan güç sağlama potansiyelini ve uygulanabilirliğini incelemektir. Çalışmada, uzay tabanlı güneş enerjisi (UTGE) fikrinin yöntemleri, avantajları, uzaydan güç sağlamaya Yönelik çalışmalar gibi konular ele alınacaktır. Bu araştırmanın sonuçları, Uzaydan güç sağlama, gelecekte enerji üretimi açısından, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik stratejilerin geliştirilmesinde ve enerji güvenliği konusunda önemli bir katkı sağlayabilir.

## 2. Güneş ve Güneş Enerjisi Potansiyeli

Güneş, evrenimizdeki en önemli yıldızlardan biridir. Yaklaşık 5 milyar yıl önce oluşmuş ve yaklaşık 6 milyar yıl daha varlığını sürdürmesi beklenen bir yıldızdır. Güneş, dünya üzerindeki hayatın kaynağıdır ve aynı zamanda dünya yüzeyindeki iklimi etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Güneşin dünyaya olan uzaklığı 150 milyon Km (Şekil 4), yaklaşık 109 katrilyon ton ağırlığındadır ve yaklaşık 1,5 milyon kilometre çapındadır (Şekil 3). Yayıldığı ışın Dünyaya 8 dakika sonra gelmektedir. Güneş, yaklaşık 15 milyon derece sıcaklığa sahiptir ve sürekli olarak hidrojeni helyuma dönüştürerek enerji üretir [6–7–8]. Bu nükleer füzyon süreci, Güneş'in içindeki yoğun basınç ve sıcaklık nedeniyle gerçekleşir. Güneş, bu nedenle dünya üzerindeki hayatın devamı için hayati bir öneme sahiptir.



Şekil 3. Güneş'in İç Yapısı [9].



Şekil 4. Güneş, Dünya ve Güneş Sistemindeki Diğer Gezgenler Arasındaki Mesafe [10].

Güneş enerjisi, güneş ışınlarını kullanarak elektrik enerjisi üretmek için kullanılan bir teknolojidir. Bu teknoloji, dünya yüzeyindeki güneş panelleri aracılığıyla uygulanır. Güneş panelleri, güneş ışınlarını elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik hücrelerden oluşur. Fotovoltaik hücreler, güneş ışınlarının düşmesiyle birlikte elektriksel bir akım üretirler. Bu akım, bir batarya veya elektrik şebekesi aracılığıyla depolanır veya kullanılır [11].

Güneş enerjisi, çevre dostu bir enerji kaynağı olması nedeniyle, dünya genelinde giderek daha fazla tercih edilmektedir. Güneş enerjisi, dünya genelinde birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle, evlerde ve iş yerlerinde elektrik enerjisi üretmek için kullanılmaktadır. Ayrıca, güneş enerjisi, su ısıtma sistemlerinde, tarım sektöründe ve ulaşım sektöründe de kullanılmaktadır [12–13].

Güneş enerjisi teknolojileri, son yıllarda büyük bir ilerleme kaydetmiştir. Güneş panelleri, daha verimli ve daha ucuz hale gelmiştir. Ayrıca, güneş enerjisi teknolojileri, depolama kapasitesi ve verimliliği açısından da geliştirilmiştir. Bu gelişmeler, güneş enerjisi üretiminin daha yaygın ve ekonomik hale gelmesini sağlamıştır.

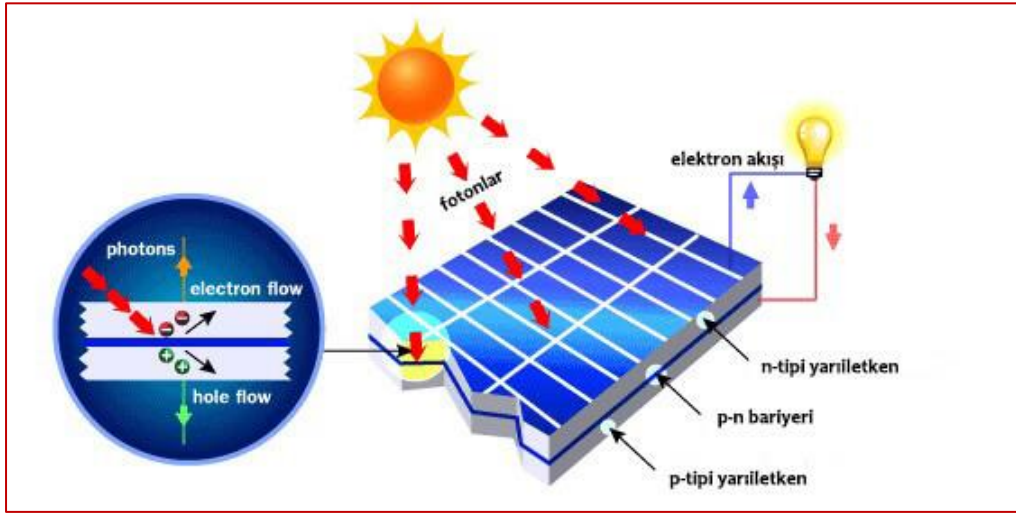
Yenilenebilir enerji hedefleri, enerji politikalarının önemli bir parçası haline gelmiştir. Özellikle, Avrupa Birliği ülkeleri, güneş enerjisi üretimini teşvik eden politikalar uygulamaktadır. Ayrıca, Çin ve Hindistan gibi ülkeler de güneş enerjisi üretiminde büyük bir artış yaşamaktadır. Dünya genelinde giderek daha fazla tercih edilen bir enerji kaynağı haline gelmektedir. Güneş enerjisi, dünya üzerindeki hayatın kaynağı olan güneşten elde edilen bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi teknolojileri, sürekli olarak geliştirilmekte ve daha yaygın hale gelmektedir [14].

## 2.1. Güneş Enerjisi Sistemleri

Güneş enerjisi sistemleri, güneş ışınlarını kullanarak elektrik enerjisi üretmek için kullanılan teknolojilerdir. Bu sistemler, Fotovoltaik (PV) ve Güneş termal olarak iki ana gruba ayrılır. Fotovoltaik sistemler, güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürürken, Güneş termal sistemler ise güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştürür ve bu ısı enerjisi ile elektrik enerjisi üretirler. Güneş enerjisi sistemleri, dünya genelinde giderek daha fazla tercih edilmekte ve çevre dostu, ekonomik ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Güneş enerjisi sistemleri, evlerde, işletmelerde, endüstriyel tesislerde ve hatta uzayda kullanılmaktadır. Güneş enerjisi sistemleri sayısı, kullanım alanlarına göre değişmekle birlikte, dünya genelinde milyonlarca sistem bulunmaktadır [15].

### 2.1.1. Fotovoltaik (PV) Sistemleri

Fotovoltaik (PV) sistemler, güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren teknolojilerdir. Bu sistemler, fotovoltaik hücrelerden oluşur ve güneş ışınları düştüğünde elektrik akımı üretirler. Fotovoltaik hücreler, silisyum kristalleri, fosfor ve bor gibi malzemelerden yapılmıştır. Bu malzemelerin bir araya gelmesiyle, hücrede pozitif (+) ve negatif (-) yükler oluşur. Güneş ışınları, bu yüklerin hareket etmesine neden olur ve elektrik akımı üretilir (Şekil 5) [16].



Şekil 5. Fotovoltaik Sistem Çalışma Prensibi.

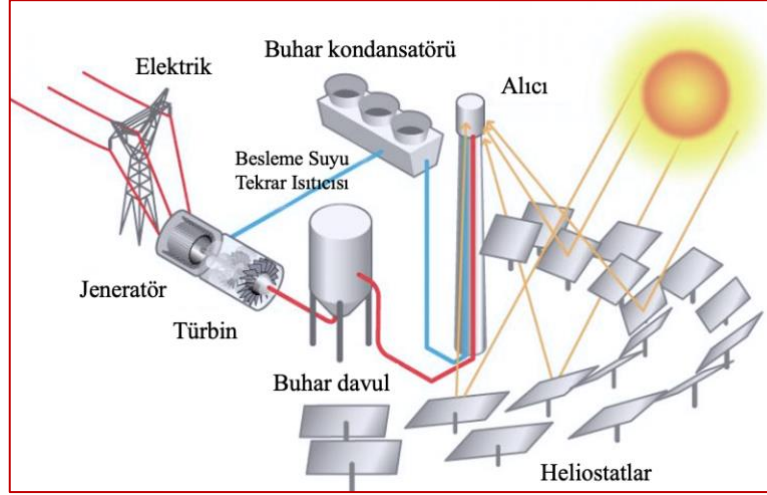
Fotovoltaik hücreler, birçok hücrenin bir araya gelmesiyle oluşan PV modülleri şeklinde kullanılır. PV modülleri, güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürürler. Bu elektrik enerjisi, bataryalar veya elektrik şebekesi aracılığıyla depolanır veya kullanılır.

Fotovoltaik sistemlerin işleyiş prensibi, fotovoltaik hücrelerin güneş ışınlarının etkisi altında çalışmasıyla ilişkilidir. Güneş ışınları hücre yüzeyine ulaştığında, "fotonlar" olarak adlandırılan küçük parçacıklar şeklinde gelirler. Bu fotonlar, hücrenin malzemesinde bulunan elektronları serbest bırakarak elektrik akımı oluşturur. Oluşan bu elektrik akımı, hücrenin pozitif ve negatif uçları arasında hareket eder ve bu süreç sonucunda elektrik enerjisi üretilir [16].

### 2.1.2. Güneş Termal Sistemleri

Güneş termal sistemleri, güneş enerjisini kullanarak ısı enerjisi üreten teknolojilerdir. Bu sistemler, güneş enerjisi toplayıcılarından oluşur ve güneş enerjisini kullanarak suyu veya başka bir akışkanı ısıtırlar. Isıtılan su veya akışkan, buhar veya sıcak su üretmek için kullanılabilir. Güneş termal sistemleri, iki ana tipe ayrılır: düz plaka kolektörleri ve konsantre kolektörler. Düz plaka kolektörleri, güneş enerjisi toplayıcıları olarak kullanılır ve genellikle evlerde sıcak su üretmek için kullanılır. Konsantre kolektörler ise, güneş enerjisini yoğunlaştırmak için kullanılır ve genellikle elektrik enerjisi üretmek için kullanılırlar [17].

Bu sistemler çalışma prensibi, güneş enerjisinin toplandığı ve kullanıldığı bir döngüye dayanır. Güneş enerjisi, toplayıcılar tarafından toplanır ve akışkanın içindeki borulara veya tüplere iletir. Akışkan, güneş enerjisi tarafından ısıtılır ve daha sonra bir depolama tankına veya başka bir yerde depolanır. Isıtılan su veya akışkan, daha sonra kullanım için hazır hale getirilir (Örnek Şekil 6’de Bir güneş termal enerji santrali) [17].



Şekil 6. Güneş Termal Enerji Santrali Çalışma Prensibi [18].



Şekil 7. İspanya’da- PS10 Güneş Enerjisi Kulesidir [19].

## 2.2. Güneş Enerjisi Kullanım Alanları

Güneş enerjisi, güneş ışınlarının kullanılarak elektrik enerjisi üretilmesi işlemidir. Bu enerji kaynağı, çevre dostu bir enerji kaynağıdır ve fosil yakıtların kullanımına kıyasla daha az karbon salınımı yapar. Güneş enerjisi kullanım alanları oldukça geniştir ve sürekli olarak gelişmektedir [20]. Aşağıda, güneş enerjisi kullanım alanları sıralanmıştır:

- Evlerde kullanılan güneş panelleri, evlerin ihtiyacı olan elektrik enerjisini güneş enerjisinden karşılar. Bu, evlerin enerji ihtiyacını karşılamak için geleneksel enerji kaynaklarına olan bağımlılığı azaltır.
- İşletmeler, güneş enerjisi kullanarak işletme maliyetlerini düşürebilirler. Endüstriyel işletmelerde güneş enerjisi, üretim maliyetlerini azaltır ve çevre dostu bir enerji kaynağı olarak tercih edilir. Güneş enerjisi kullanımı, işletmelerin sürdürülebilirliğini artırır ve enerji maliyetlerini düşürür.
- Ulaşım sektöründe de güneş enerjisi kullanılabilir. Örneğin, güneş enerjisi ile çalışan arabalar ve trenler geliştirilmiştir. Bu, fosil yakıtların kullanımını azaltarak çevre kirliliğini azaltır ve enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği konusunda adımlar atmamızı sağlar.

- Tarım sektöründe de güneş enerjisi kullanımı yaygınlaşmaktadır. Güneş enerjisi ile çalışan sulama sistemleri, sera ısıtma sistemleri ve hayvan yemleme sistemleri geliştirilmiştir. Bu, tarım sektörünün sürdürülebilirliğini artırır ve enerji maliyetlerini düşürür.
- Şehirlerde kullanılan sokak lambaları, trafik sinyalleri ve diğer aydınlatma sistemleri güneş enerjisi ile çalışabilir. Bu, şehirlerin enerji maliyetlerini düşürür ve çevre dostu bir enerji kaynağı kullanmalarını sağlar [20].

Güneş enerjisi kullanım alanları, dünya genelinde giderek artmaktadır. Bu, enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği konusunda atılan adımların önemli bir parçasıdır. Güneş enerjisi kullanımının artması, çevre kirliliğinin azaltılmasına ve sürdürülebilir bir geleceğe yönelik adımlar atmamıza yardımcı olacaktır.

### 2.3. Güneş Enerjisi Avantajları ve Dezavantajları

Güneş enerjisi, çevre dostu, sürdürülebilir ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Ancak, bazı avantajları ve dezavantajları vardır.

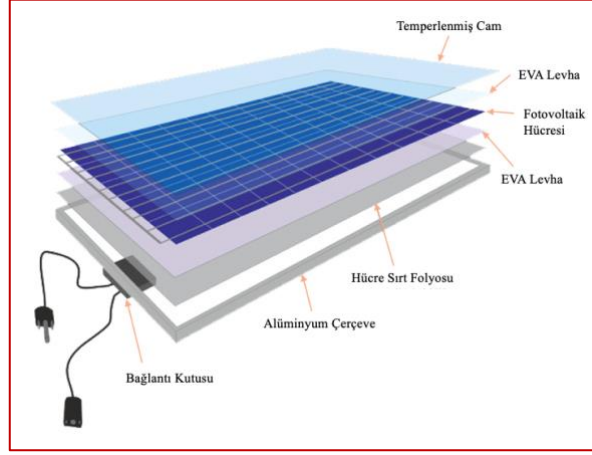
- Avantajları:
  - Çevre dostu: Güneş enerjisi, fosil yakıtlara göre daha çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi üretirken, sera gazları veya diğer kirletici maddeler salınmaz.
  - Sürdürülebilir ve yenilenebilir: Güneş enerjisi, sınırsız bir kaynaktır ve tükenmez. Bu nedenle, güneş enerjisi, diğer enerji kaynaklarına göre daha sürdürülebilir ve yenilenebilir.
  - Düşük bakım maliyetleri: Güneş enerjisi sistemleri, düşük bakım maliyetleriyle çalışır. Bu nedenle, uzun vadede daha ekonomiktirler.
  - Uzun ömür: Güneş enerjisi sistemleri, uzun ömürlüdür ve genellikle 25-30 yıl boyunca kullanılabilirler [12–13].
- Dezavantajları:
  - Yüksek yatırım maliyetleri: Güneş enerjisi sistemleri, yüksek yatırım maliyetleri gerektirir. Bu nedenle, kurulum maliyeti diğer enerji kaynaklarına göre daha yüksektir.
  - Depolama sorunu: Güneş enerjisi, güneş ışığına bağlıdır ve günün farklı saatlerinde farklı miktarda enerji üretir. Bu nedenle, güneş enerjisi sistemlerinin enerji depolama sorunu vardır.
  - Hava koşullarına bağlı: Güneş enerjisi, güneş ışığına bağlı olduğu için, hava koşullarına bağlıdır. Bulutlu veya yağmurlu havalarda, güneş enerjisi üretimi azalabilir.
  - Alan gereksinimi: Güneş enerjisi sistemleri, geniş bir alan gerektirir. Bu nedenle, bazı yerlerde güneş enerjisi sistemleri kurulması mümkün olmayabilir [12–13].

### 3. Güneş Panelleri

Güneş panelleri, fotovoltaiik (PV) paneller olarak da bilinen, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Bu paneller, silikon gibi yarıiletken malzemelerden yapılmış güneş pilleriyle oluşturulur ve güneş ışığından fotonlar emerek elektronları serbest bırakır, böylece elektrik akışı sağlar. Fotovoltaiik etki prensibiyle çalışan bu paneller, temiz, yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji üretirler, bu nedenle küresel olarak elektrik üretiminde giderek daha fazla tercih edilen bir seçenek haline gelirler [21–22].

#### 3.1. Güneş Panellerinin Yapısı ve Malzemeleri

Güneş panelleri, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılan fotovoltaiik (PV) hücrelerden oluşmaktadır. Bu hücreler, genellikle silikon adı verilen bir yarıiletken malzemeden yapılmıştır. Silikon, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürebilen özel bir özelliğe sahip olan fotovoltaiik etkiyi gösterir. Güneş panelleri, genellikle çeşitli katmanlardan oluşur. Şekil 8’de solar panelin hücre katmanları göstermektedir [23–24].



Şekil 8. Solar Panelin Hücre Katmanları [25].

Güneş pili, ön yüzeyinde ışınları absorbe eden 150 mikron kalınlığındaki bir kaplama malzemesi ile kaplanmıştır. Şekil 6'da gösterilen panelleri çevreleyen alüminyum çerçeve, paneli fiziksel etkilerden korumaktadır. Panellerin dıştan içe yapısı, alüminyum çerçeve, temperlenmiş cam, EVA (etilen vinil asetat), güneş hücresi, arka tabaka folyosu ve bağlantı kutusunu içermektedir. PV (fotovoltaik) paneller, içlerinde bulunan yarıiletken malzeme aracılığıyla güneş enerjisini %6 ila %20 verim oranıyla elektrik enerjisine dönüştürebilirler. PV panel verimliliği üzerinde etkili olan faktörler arasında panelin konumundaki eğim açısı, gölgeleme düzeyi, toz birikimi oranı, güneş ışınımı yoğunluğu, sıcaklık ve diğer kayıplar yer almaktadır [26].

## 2.1. Güneş Panelinin Teknik ve Mekanik Değerleri

Güneş panellerinin teknik ve mekanik değerleri, panelin performansını ve kullanımını belirleyen bir dizi parametreyi ifade eder. Tablo 1'de Bir güneş panellerinin en yaygın teknik ve mekanik değerleri verilmiştir [25].

Tablo 1. Güneş Panellerinin Teknik ve Mekanik Değerleri [25].

Güneş Panelinin Teknik ve Mekanik Değerleri	
Güç Çıkışı (Watt)	Güneş panelinin üretebileceği maksimum güç çıkışını ifade eder. Panelin verimliliği ve boyutuna bağlı olarak güç çıkışı farklılık gösterebilir.
Verimlilik (%)	Güneş panelinin güneş ışığından elektrik enerjisine dönüşme verimliliğini gösterir. Yüksek verimlilik, daha fazla güç üretimi anlamına gelir. Genellikle, güneş panellerinin verimliliği yüzde cinsinden ifade edilir.
Maksimum Güç Noktası (Maximum Power Point- MPP) Gerilimi (V) ve Akımı (A)	Güneş panelinin en yüksek güç çıkışına ulaştığı gerilim ve akım değerleridir. MPP gerilimi ve akımı, panelden maksimum verimlilikle güç elde etmek için önemlidir.
Açık Devre Gerilimi (Open Circuit Voltage- Voc)	Güneş panelinin devre açıkken üretebileceği en yüksek gerilimi ifade eder. Panelin bağlantı noktaları açık olduğunda, bu gerilim elde edilir.
Kısa Devre Akımı (Short Circuit Current- Isc)	Güneş panelinin devre kısa devrede olduğunda üretebileceği en yüksek akımı ifade eder. Panelin bağlantı noktaları kısa devre olduğunda, bu akım elde edilir.
Çalışma Sıcaklık Aralığı (°C)	Güneş panelinin verimli bir şekilde çalışabileceği sıcaklık aralığını gösterir. Yüksek sıcaklıklar panel verimini düşürebilir, bu nedenle çalışma sıcaklığı aralığı önemlidir.
Mekanik Dayanıklılık	Mekanik Dayanıklılık: Güneş panelleri, dış etkilere ve çevresel koşullara dayanıklı olmalıdır. Mekanik dayanıklılık, panellerin darbelere, rüzgâra, kar yüküne ve diğer mekanik streslere karşı dayanıklı olmasını sağlar.
Ömür (Yaşam Süresi)	Ömür (Yaşam Süresi): Güneş panellerinin kullanım ömrü önemlidir. Panelin kalitesi, üretim malzemeleri ve kullanılan teknoloji, ömrünü etkileyebilir.

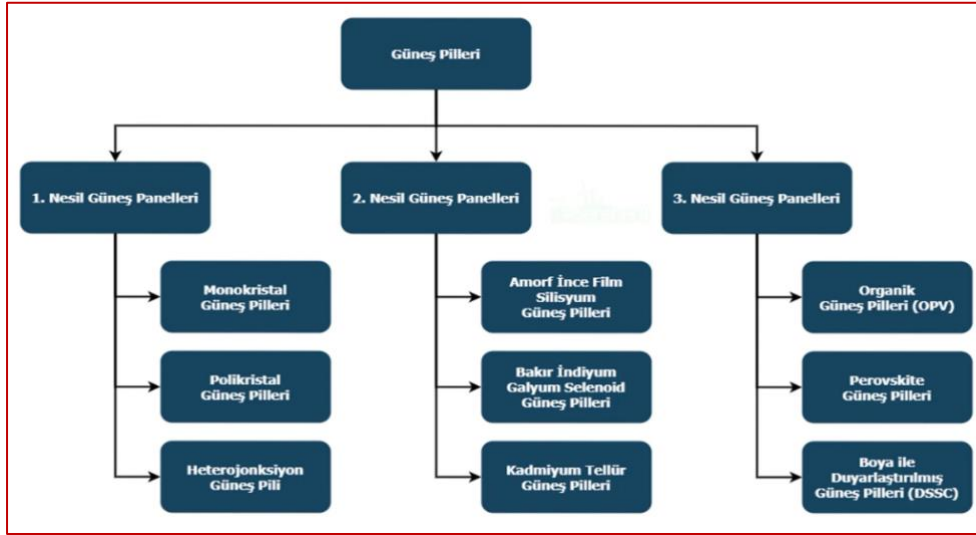


Bu değerler, güneş panellerinin performansını değerlendirmek ve farklı panelleri karşılaştırmak için kullanılır. Her değer, panelin belirli bir özelliğini temsil eder ve panel seçiminde dikkate alınmalıdır [25].

### 3.2. Güneş Pili Çeşitleri

Güneş panelleri, farklı yapılar, malzemeler ve uygulamalar için çeşitli tiplerde gelir. Aşağıdaki yaygın olarak kullanılan bazı güneş paneli tipleri:

- Mono kristal Silikon Paneller: Monokristal silikon paneller, tek bir kristal yapıya sahip silikon kullanılarak üretilir. Genellikle siyah renkte ve homojen bir görünüme sahiptirler. Yüksek verimlilik sağlarlar ancak üretim süreci daha maliyetlidir.
- Polikristal Silikon Paneller: Polikristal silikon paneller, birden çok kristal yapıya sahip silikon kullanılarak üretilir. Daha ucuz bir üretim sürecine sahiptirler ve mavi renkte olabilirler. Monokristal panellere göre biraz daha düşük verimlilik sunarlar.
- İnce Film Paneller: İnce film paneller, silikon tabakalarının daha ince bir şekilde uygulanması veya farklı yarıiletken malzemelerin kullanılmasıyla yapılır. Amorf silikon, kadmium tellür veya bakır indiyum galenit gibi malzemeler kullanılabilir. İnce film paneller, esneklik ve hafiflik avantajlarına sahip olabilir, ancak genellikle daha düşük verimliliklere sahiptir.
- Konsantrörlü Paneller: Konsantrator paneller, güneş ışığını odaklamak için lensler veya aynalar kullanır. Bu sayede daha az yarıiletken malzeme kullanarak yüksek verimlilik elde etmeyi hedefler. Konsantrator sistemler genellikle ticari ölçekte kullanılır.
- Organik Güneş Panelleri: Organik güneş panelleri, karbon bazlı organik malzemelerden üretilir. Genellikle esnek ve hafif olurlar. Organik panellerin verimlilikleri hâlâ geliştirme aşamasındadır, ancak düşük maliyet ve çeşitli uygulama potansiyeli sunarlar.
- Hibrit Paneller: Hibrit paneller, güneş ışığından elektrik üretmek için farklı teknolojileri birleştiren panellerdir. Örneğin, Fotovoltaik (PV) güneş panelleri ile termal güneş kolektörleri kombinlenebilir. Bu sayede aynı panel hem elektrik hem de ısı enerjisi üretebilir. Güneş pilleri nesillerine göre şekil 9'da gösterildiği gibi de sınıflandırılabilir [24].



Şekil 9. Nesillerine Göre Güneş Pili Çeşitleri [24].

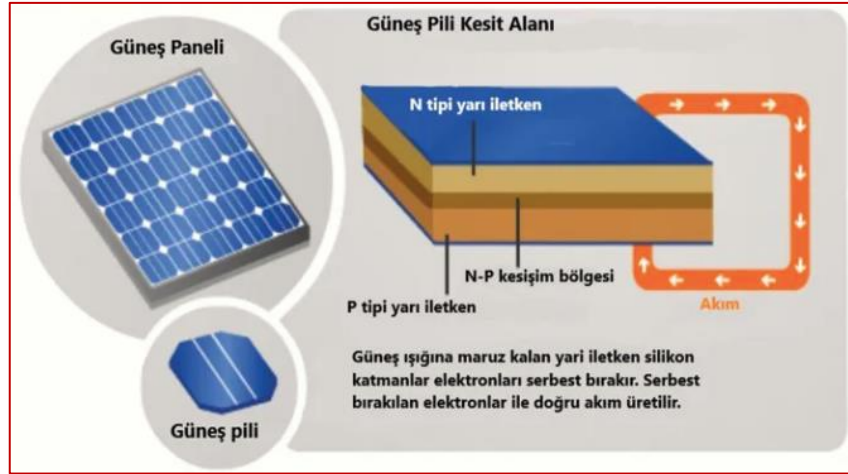
### 3.3. Güneş Pili Çalışma Mekanizması

Günümüz elektronik ürünlerinde kullanılan transistörler, doğrultucu diyotlar gibi güneş pilleri de yarı iletken maddelerden yapılırlar. Güneş hücresi yapımında en çok silisyum, galyum arsenit ve kadmium tellür (CdTe) gibi inorganik yarı iletken maddeler kullanılmaktadır [24].

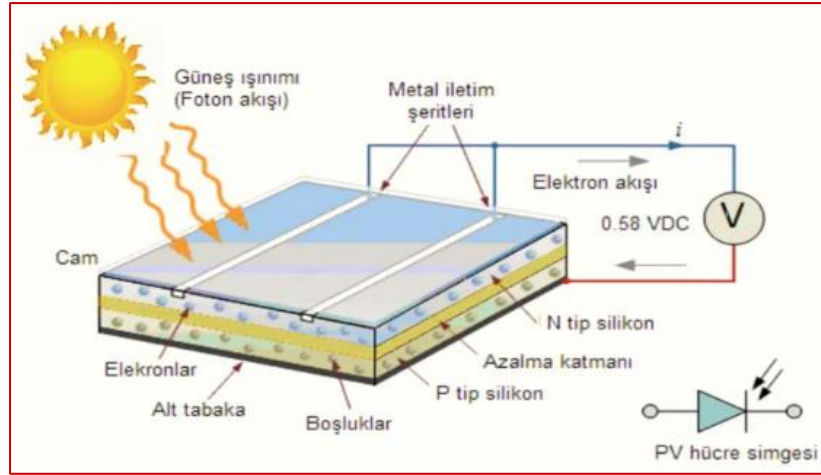
Güneş panelleri birçok güneş hücresinin paralel veya seri olarak bağlanmasıyla oluşmaktadır (Şekil 10). Güneş hücrelerinin elektrik üretimi “fotoelektrik olay” prensibine dayanır. Güneş hücresi yapısında n-

tipi ve p-tipi olmak üzere iki çeşit silikon bulunmaktadır. Valans bandında 4 elektron bulunan n-tipi silikon atomlarına, Valans bandında 5 elektron bulunan fosfor eklenir ve fosfor elektron vermeye yatkın olduğundan kristal yapıya 1 elektron verir. Bu nedenle n- tipi silikon “verici” olarak adlandırılır. P-tipi silikon eriyiğine ise valans bandında 3 elektron bulunan (alüminyum, indiyum, galyum, bor vb.) elementler eklenir. Bu eklenen atomların son katmanında 3 elektron olması nedeniyle kristal yapıda elektron boşluğu (hole) oluşur. Bu nedenle de p-tipi silikon “alıcı” olarak adlandırılır [24].

Şekil 11’da görüldüğü üzere hücre yüzeyine çarpan güneş ışınları (fotonlar) yüzey tarafından absorbe edilerek n-tipi silikondan p-tipi silikona 1 elektron gönderir bu sırada p-tipi silikonda da 1 boşluk oluşur. Bu gönderim sonucu ise p-n aktif maddeleri arasında bir elektriksel potansiyel oluşur ve bu potansiyelin kullanımı ile elektrik enerjisi elde edilebilir [24].



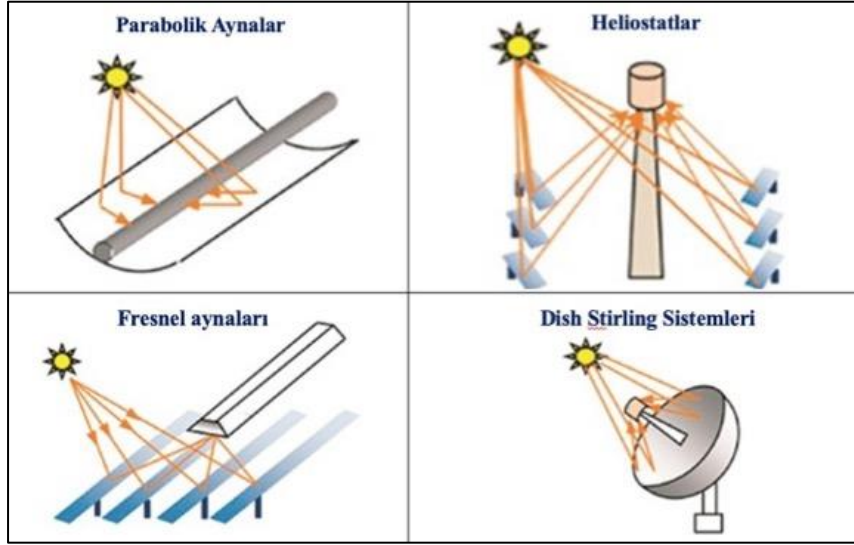
Şekil 10. Güneş paneli bileşenleri [24].



Şekil 11. Güneş pili çalışma şeması [24].

#### 4. Güneş Enerjisi Aynaları

Parabolik aynalar, Fresnel aynaları, heliostatlar ve Dish stirling sistemleri gibi farklı tiplerde üretilen güneş enerjisi aynaları, güneş ışığını toplamak, yoğunlaştırmak veya belirli bir noktaya odaklamak amacıyla kullanılan optik cihazlardır. Bu aynalar, güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğini artırmak ve enerji toplama sürecini optimize etmek için önemli roller üstlenirler (Şekil 12) [27–28].



Şekil 12. Güneş Aynalar Kullanım Sistemi Göre Çeşitleri [28].

## 4.1. Güneş Aynaları Çeşitleri

### 4.1.1. Parabolik Aynalar

Parabolik aynalar, parabolik bir yüzeye sahip olan ve güneş ışığını bir odak noktasında toplamak için kullanılan aynalardır. Bu tür aynalar, termal enerji üretimi için yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (CSP) sistemlerinde kullanılır. Parabolik aynalar, genellikle termal alıcıya odaklanarak suyu veya başka bir akışkanı ısıtarak buhar veya sıcak su üretir [27–28].

### 4.1.2. Fresnel Aynaları

Fresnel aynaları, çok sayıda küçük aynanın bir araya gelmesiyle oluşan aynalar sistemidir. Bu aynalar, güneş ışığını bir odak noktasına yönlendirmek için kullanılır. Fresnel aynaları, güneş enerjisi santrallerinde ve güneş odaklı ısıtma sistemlerinde kullanılır. Fresnel aynalarının avantajları, düşük maliyet, kolay üretim ve taşınabilirlik gibi faktörlerdir [27–28].

### 4.1.3. Heliostatlar

Heliostatlar, hareketli aynalara sahip olan güneş aynalarıdır. Heliostatlar, güneşin konumunu takip ederek güneş ışığını istenen bir hedefe yansıtır. Bu tür aynalar, genellikle büyük güneş enerjisi santrallerinde kullanılır ve güneş ışığını odaklamak ve termal enerji üretmek için kullanılır [27–28].

### 4.1.4. Dish Stirling Sistemleri

Dish Stirling Sistemleri: Bu sistemlerde, parabolik bir ayna kullanılarak güneş ışınları bir noktada toplanır ve bu noktada yer alan bir Stirling motoru kullanılarak elektrik enerjisi üretilir. Dish Stirling sistemleri, yüksek verimlilik ve odaklanmış güneş enerjisi kullanımını sağlamasıyla bilinir.

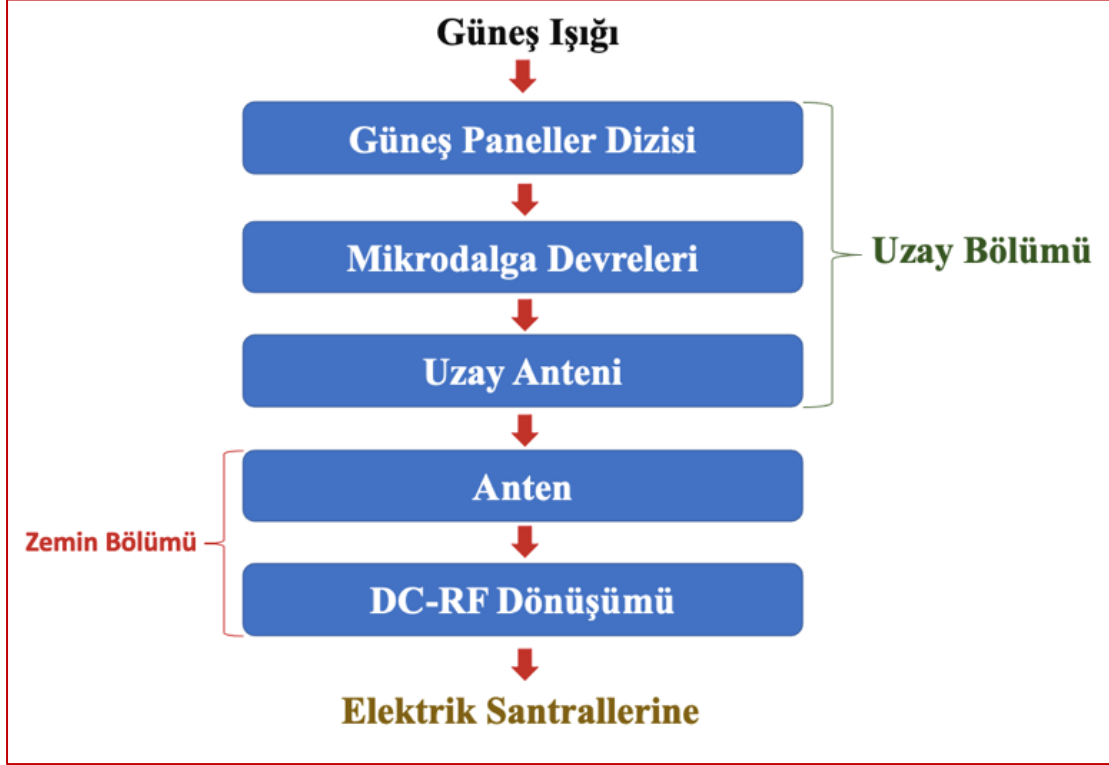
## 4.2. Güneş Enerjisi Aynalar Yapısı ve Malzemeleri

Güneş enerjisi aynaları, güneş ışınlarını odaklayarak yüksek sıcaklıklarda enerji üretmek amacıyla kullanılan bir tür teknolojidir. Genellikle termal enerji üretimi veya güneş enerjisi toplama sistemlerinde kullanılırlar. Güneş enerjisi aynaları, farklı tiplerde olabilir ve farklı malzemelerden yapılmış olabilir.

Güneş enerjisi aynalarının yapımında kullanılan malzemeler genellikle cam veya metaldir. Cam malzemeler, genellikle yüksek sıcaklıklara dayanıklı özel cam veya cam kaplamalı malzemelerdir. Metal malzemeler ise aynaların yüzeyini kaplayan reflektif bir tabaka olarak kullanılır. Bu metal tabakalar genellikle alüminyum veya gümüş bazlıdır, çünkü bu metaller güneş ışığını iyi yansıtırlar. Ayrıca, aynaların yapısal desteği için çelik veya alüminyum alaşımları gibi malzemeler de kullanılabilir.

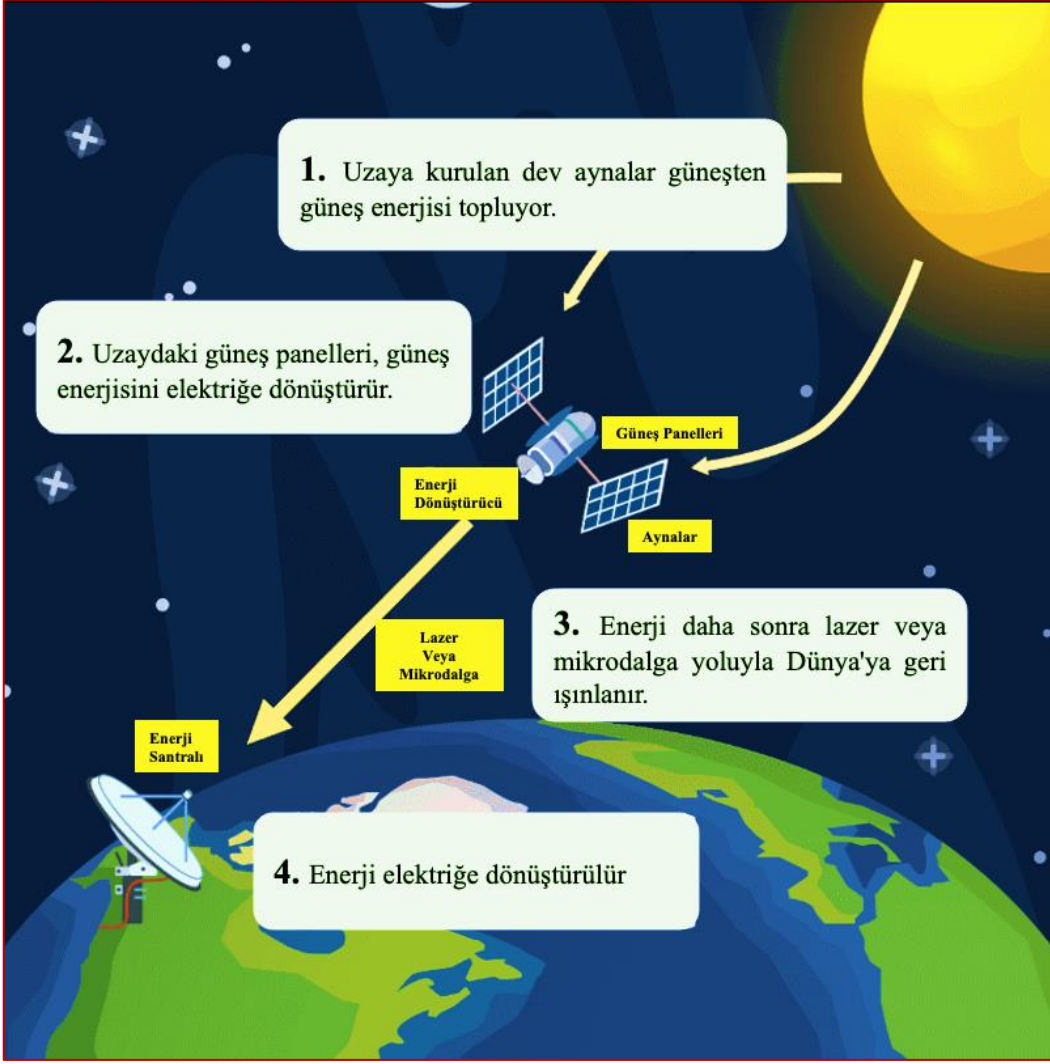
## 5. Uzaydan Güneş Enerjisi

Uzay tabanlı güneş enerjisi (UTGE), güneş enerjisi uyduları ile uzayda güneş enerjisi toplama ve Dünya'ya dağıtma konseptidir. Avantajları arasında atmosferin yansması ve emilimi, çok az gece olasılığı nedeniyle daha yüksek bir enerji toplanması ve güneşe bakacak şekilde daha iyi yönlendirme yeteneği. Uzay tabanlı güneş enerjisi sistemleri, güneş ışığını atmosferden Dünya yüzeyindeki alıcılara iletilebilen mikrodalga veya lazer gibi başka bir enerji formuna dönüştürür [29–30]. Şekil 13'te Uzaya tabanlı güneş enerjisi sistemin blok diyagram göstermektedir.



Şekil 13. Uzay Tabanlı GES Blok Şeması.

Güneş enerjisi elektriğe dönüştürüldükten sonra, çeşitli yöntemlerle Dünya'ya iletilir. Önerilen yöntemler, enerjiyi mikrodalgalar veya lazerler kullanarak yeryüzündeki alıcı istasyonlarına ışınlamaya geri göndermektir. Bu alıcı istasyonları, iletilen enerjiyi mevcut enerji şebekeleri aracılığıyla kullanılabilir elektriğe dönüştürür (Şekil 14). Kablosuz enerji iletimi, uzun mesafe kablolarına veya iletim altyapısına ihtiyaç duymadan enerji kaybını azaltarak iletim sürecini sağlar.



Şekil 14. Uzay Tabanlı GES Çalışma Yöntemi [31].

Güneş enerjisini Dünya'dan farklı olarak uzaydan elde etmenin avantajı, hava koşulları ve gündüz saatleri gibi faktörlerle sınırlı olmayışıdır. Uzayda güneş panelleri Dünya yörüngesine veya hatta Ay yüzeyine yerleştirilebilir ve sürekli güneş ışığı alabilir. Bu sayede bu sistemler sürekli olarak elektrik üretebilir ve güvenilir, kesintisiz ve temiz enerji kaynağı sağlayabilir.

### 5.1. Uzaydan Güneş Enerjisi Toplama Yöntemleri

Güneş enerjisinin uzaydan toplanması için çeşitli yenilikçi yöntemler önerilmiş ve araştırılmıştır. Bu yöntemler, güneş ışığını uzayda verimli bir şekilde yakalamayı amaçlamakta ve Dünya'ya geri iletmeyi hedeflemektedir [32]. Dikkate alınan bazı önemli yaklaşımlar şunlardır:

- **Güneş Enerjisi Uyduları:** Güneş enerjisi uyduları kavramı, jeostatik yörüngede (Geostationary orbit) bir dizi güneş paneli ile donatılmış büyük platformların konuşlandırılmasını içerir. Bu uydular sürekli olarak güneş ışığını yakalayacak ve fotovoltaik hücreler kullanarak elektrığe dönüştüreceklerdir. Üretilen güç daha sonra bir mikrodalga veya lazer ışımına dönüştürülecek ve Dünya'daki alıcı istasyonlarına iletilecektir. UGE, atmosferik koşullardan veya Dünya'nın dönüşünden herhangi bir müdahale olmadan güneş ışığını toplama avantajı sunar [33].
- **Yörünge Aynaları:** Yörünge aynaları kavramı, güneş ışığını Dünya'daki belirli alanlara yönlendirmek için uzaya yerleştirilmiş büyük aynaların veya reflektörlerin kullanılmasını içerir. Güneş ışığını güneş enerjisi santrallerine veya güneş enerjisi santrallerine

odaklayarak ve yoğunlaştırarak, bu yörünge aynaları enerji toplama verimliliğini artırabilir. Bu yöntem, karmaşık iletim sistemlerine olan ihtiyacı ortadan kaldırır ve mevcut enerji üretim teknolojilerinin kullanılmasına izin verir [33].

- **Uzay Tabanlı Konsantre Güneş Enerjisi:** Konsantre Güneş Enerjisi (CSP) teknolojileri, güneş ışığını merkezi bir alıcıya odaklamak için aynaların veya lenslerin kullanılmasını içerir; daha sonra konsantre güneş ışığını ısıya veya elektriğe dönüştürür. Bu kavramı uzayda kullanarak, atmosferik parazitin olmaması nedeniyle güneş enerjisi toplanabilir ve daha etkili bir şekilde konsantre edilebilir. Konsantre güneş enerjisi daha sonra mikrodalga veya lazer ışınları yoluyla Dünya'ya iletmeyi amaçlayabilir [33].
- **Güneş Yelkenleri:** Güneş yelkenleri, uzayda güneş enerjisini yakalamak için eşsiz bir yaklaşım sunar. Bu büyük, hafif yapılar, bir teknedeki yelkenlerin rüzgar tarafından sürüklendiği gibi, güneş ışığının baskısı ile tahrik edilir. Güneş yelkenleri, güneş ışığını yakalayan ve uzay aracına güç sağlamak veya enerjiyi Dünya'ya geri iletmek için elektriğe dönüştürülen esnek güneş panelleri ile donatılabilir. Bu yöntem, hem enerji toplama hem de itme amaçları için kullanılabilir, bu da onu uzay araştırmaları ve enerji üretimi için çok yönlü bir seçenek haline getirir [33].
- **Ay Güç Sistemleri:** Bir başka ilgi çekici yaklaşım, Ay'dan güneş enerjisinin kullanılmasıdır. Ay güç sistemleri, güneş ışığını engellenmeden yakalamak için Ay'ın yüzeyinde güneş dizileri inşa etmeyi içerecektir. Toplanan enerji daha sonra lazer veya ışınlanmış güç gibi farklı yöntemlerle dönüştürülerek ve Dünya'ya iletmeyi amaçlayacaktır. Bu yöntem, Ay'ın Dünya'ya yakın olmasından ve uzun süre güneş ışığına maruz kalmasından yararlanır [33].

## 5.2. Uzaydan Güneş Enerjisi İletim Yöntemleri

Güneş enerjisini uzaydan kullanmanın temel zorluklarından biri, toplanan enerjiyi verimli bir şekilde Dünya'ya geri iletmektir. Uzay tabanlı güneş enerjisi (UTGE) sistemlerinin bu önemli yönünü ele almak için çeşitli iletim yöntemleri önerilmiş ve araştırılmıştır [33–34–35]. Bu yöntemler, yakalanan güneş enerjisini önemli mesafeler olmadan geniş mesafelerde iletmeyi ve varışta kullanılabilir elektriğe dönüştürmeyi amaçlamaktadır

### 5.2.1. Mikrodalga Güç İletimi

Mikrodalga güç iletimi, güneş enerjisini uzaydan iletmek için en yaygın olarak incelenen ve umut verici yöntemlerden biridir. Bu yöntem, toplanan güneş enerjisinin mikrodalga radyasyonuna dönüştürülmesini içerir, bu da daha sonra odaklanmış bir ışın şeklinde Dünya'ya ışınlanır. Yerde, doğrultucu antenlerle donatılmış özel alıcı istasyonları mikrodalga kirisini yakalar ve tekrar elektriğe dönüştürür. Mikrodalga güç iletimi, yüksek iletim verimliliği ve uzun mesafelerde güç iletime yeteneği dahil olmak üzere çeşitli avantajlar sunar [32–33–36].

### 5.2.2. Lazer Güç Aktarımı:

Güneş enerjisini uzaydan iletmek için araştırılan bir başka uygulanabilir yöntem lazer güç iletimidir. Toplanan güneş enerjisi daha sonra Dünya'ya yönlendirilen lazer ışınlarına dönüştürülerek iletilir. Yer tabanlı fotovoltaik hücreler veya alıcılar lazer ışınını alır ve elektriğe çevirir. Lazer güç iletimi, uzun menzilli odaklama kabiliyeti ve mikrodalga güç iletimine kıyasla daha yüksek iletim verimliliği potansiyeli gibi avantajlar sunmaktadır [33–36].

### 5.2.3. Radyo Frekans (RF) ile Güç Işınlama:

Radyo frekansı (RF) ile güç ışınlanması, güneş enerjisini uzaydan iletmek için araştırılan alternatif bir yöntemdir. Bu yaklaşım, uydudan yer tabanlı alıcılara güç aktarmak için radyo dalgalarını kullanır. Toplanan güneş enerjisi, Dünya'ya iletilen ve alıcı istasyonlarda elektriğe dönüştürülen radyo frekans sinyallerine dönüştürülür [37–38].

## 6. Uzak Tabanlı Güneş Enerjisi Santral Güç İletimi Tipi Göre Tasarımı

Uzak tabanlı güneş enerjisi esasen üç unsurdan oluşur:

- Güneş enerjisinin güneş pilleri üzerindeki yansıtıcılar veya yansıtıcı aynalar veya termal sistemler için ısıtıcılar ile uzayda toplanması,
- Mikrodalga veya lazerle Dünya'ya kablosuz güç iletimi,
- Rectenna; Bir mikrodalga anteni aracılığıyla Dünya'da enerji alımı [35].

Uzak tabanlı kısmın nispeten zayıf gelgit gerilmeleri (dışında yerçekimine) karşı kendini desteklemesi gerekmeyecektir. Karasal rüzgar veya hava koşullarından korunmaya ihtiyaç duymaz, ancak mikrometreler ve güneş patlamaları gibi alan tehlikeleriyle başa çıkmak zorunda kalacaktır. İki temel dönüşüm yöntemi incelenmiştir: fotovoltaik (FV) ve güneş dinamiği. UTGU'nin çoğu analizi, güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştüren güneş pilleri kullanarak fotovoltaik dönüşüme odaklanmıştır. Güneş dinamiği, ışığı bir kazan üzerinde yoğunlaştırmak için aynalar kullanır. Güneş dinamiğinin kullanılması watt başına kütle azaltabilir. Kablosuz güç iletimi, çeşitli frekanslarda mikrodalga veya lazer radyasyonu kullanılarak enerjiyi toplamadan Dünya yüzeyine aktarmanın bir yolu olarak erken önerildi [33–38].

Uydu, dünyanın etrafında dönen bir nesne olarak tanımlanır, bu nedenle ay da bir uydu olarak bilinir ve doğal bir uydu olarak adlandırılır. Öte yandan, insan yapımı uydulara yapay uydular denir ve dört tip olarak ayrılmaktadır [39]. Bunlar;

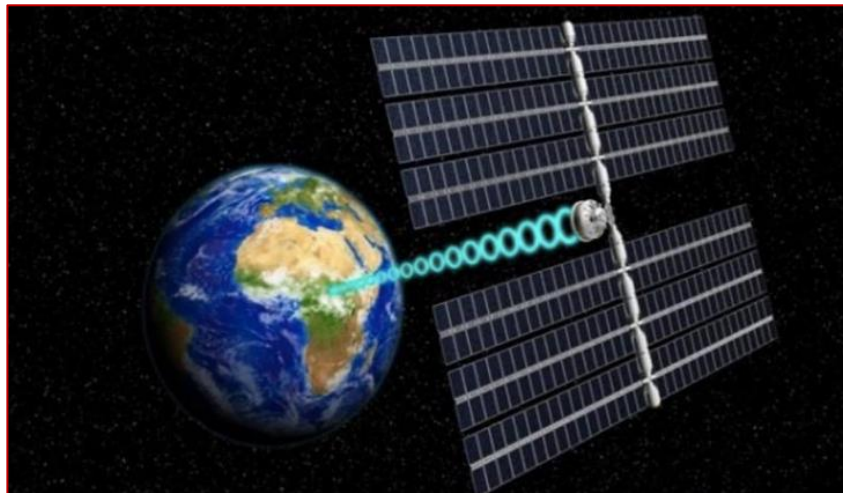
- Düşük Toprak yörüngesi (180-2000 km),
- Orta Dünya yörüngesi (2000-35785 km),
- Jeosenkron yörünge (35786 km),
- Yüksek Dünya yörüngesi (>35786 km).

Üç tip UTGE istasyonu bulunmaktadır, bu istasyonlar tasarımı şu şekilde sınıflandırılmıştır:

- Tip-I,
- Tip-II,
- Tip-III [40].

### 6.1. Tip-I

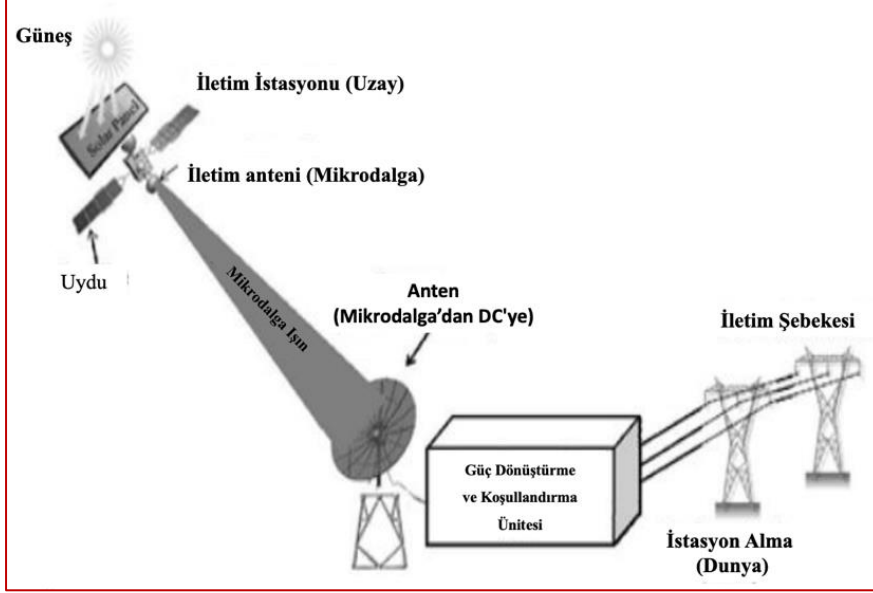
UTGE istasyonu Tip-I güneş işaretli güneş sistemi modülünden, toprak işaretli kablosuz güç iletiminden (Şekil 15) UTGE için mikrodalga frekansı, anten boyutu ile atmosferik zayıflama arasında ödün vererek 1–6 GHz aralığında alınır. Bu tasarım, aşağıdaki farklı tasarım türlerinde çözülen önemli bir sorun “yüksek gerilim güç yönetimi ve dağıtım sistemi” 'e sahiptir [41].



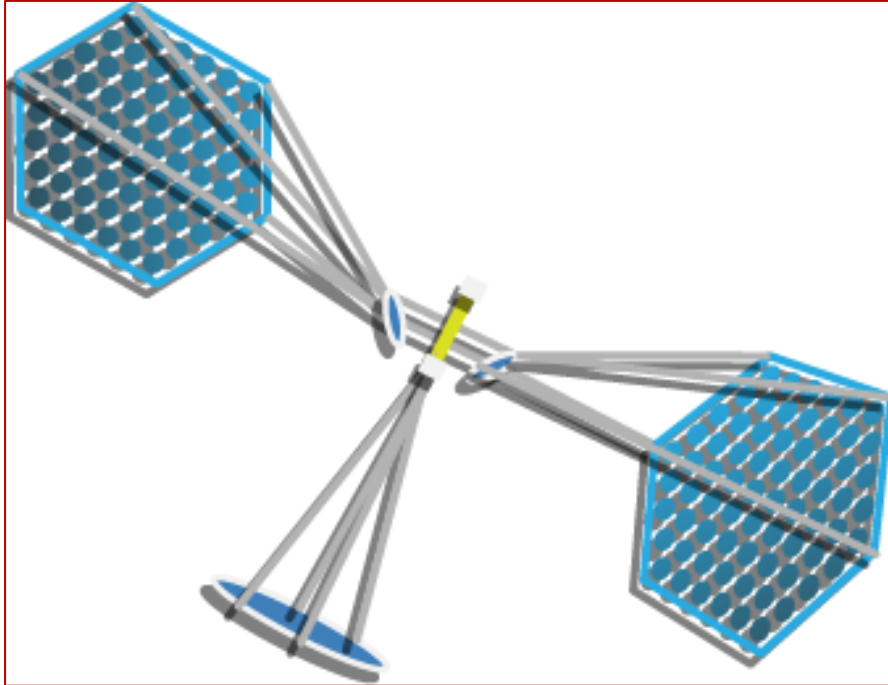
Şekil 15. Tip-I "Mikrodalga" [41].

### 6.1.1. Mikrodalga Tabanlı

Bu teknolojide, güneş pili uyduya monte edilir ve üzerine güneş ışığı düştüğünde elektrik enerjisi üretir. Ayrıca, bu elektrik enerjisi 5.8 GHz frekansta toprağa ileten bir yardım vericisi (anten) aracılığıyla radyo frekans enerjisine dönüştürülür. Bu konsept, magnetron ve empedans eşleştirme devresini içerir. Magnetron, elektrik enerjisini mikrodalgalarına dönüştürürken, empedans eşleştirme devresi mikrodalga fırının empedansını antenle uyumlu hale getirmeye yardımcı olur [42].



Şekil 16. Mikrodalga Tabanlı UTGE Sistemi [42].



Şekil 17. Mikrodalga İletimli Güneş Uyduları Şekil.

Dünya'da, mikrodalga radyo frekansları uzaydan alınarak doğrudan akıma (DC) dönüştürülür; ayrıca yerel ve ticari enerji sağlamak için alternatif akıma (AC) dönüştürülür. Bu alıcı aynı zamanda "Rectenna" olarak adlandırılan bir doğrultucu ve anten kombinasyonunu ifade eder. Bu kavramın anlaşılması için Şekil 16, kullanılacak olan tüm modülleri temsil etmektedir [42].



## 6.2. Tip-II

UTGE istasyonunun Tip-II tasarımı, Tip-I tasarımından farklılık gösterir. Bu tasarım temel olarak "Lazer Teknolojisi"ne dayanmaktadır. Elektrik, lazer tabanlı bir yaklaşımla oldukça uygulanabilir hale gelir ve bu çoklu bireysel ve bağımsız lazer platformunda sağlanır. Tip-II tasarımını uygulamak için tek engelin verimliliğidir. Lazer ışını, katı hal lazer cihazları kullanılarak güneş enerjisinden üretilecektir. Bu lazer ışını zemine odaklanacak ve pürüzsüz iletim ile elektrik enerjisi üretmek için kullanılacaktır [41].



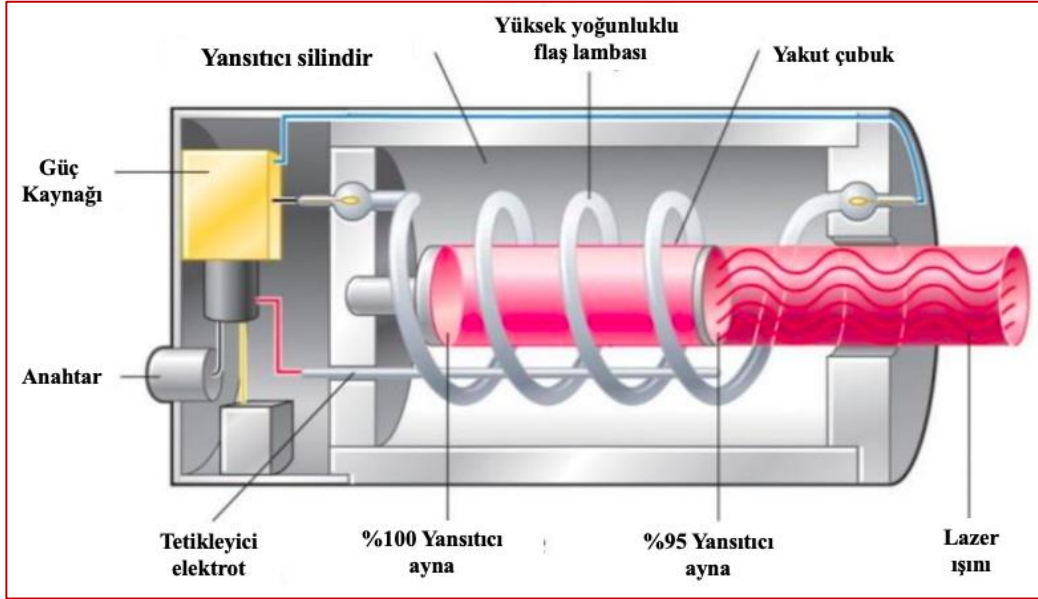
Şekil 18. Tip-II UTGE İstasyonu [41].

### 6.2.1. Lazer Tabanlı

"Doğrudan güneş enerjisi toplama lazer ile güç üretimi" olarak adlandırılan bu teknoloji, güneş panelleri tarafından toplanan enerjiyi kullanarak, önerilen konseptte göre, Şekil 20'de gösterilen (katı hal lazer ortamı) kullanılarak tek renkli "tek dalga boyu" ışık demeti üretmektedir. Bu tür bir cihaz, elektrik enerjisini bir lazer ışığına dönüştürmek için kullanılır. Oluşturulan lazer ışını, tüm sistemi verimli hale getirmek için kullanılır; bu ışın, alıcı olarak fotovoltaik hücrenin yüzeyine yönlendirilir ve yerden alıcıya her zaman işaret etmesini sağlamak için vericinin bir kontrol sistemi tarafından yönlendirilir. Alıcı tarafından lazer ışını alındıktan sonra, güneş pili ile elektrik enerjisi üretmek için aynı kriterleri takip eder [42].

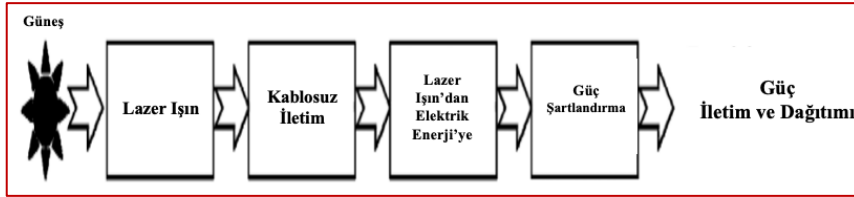


Şekil 19. Lazer Tabanlı Güneş Enerjisi Uyduları.



Şekil 20. Katı Hal Lazer Cihazı [42].

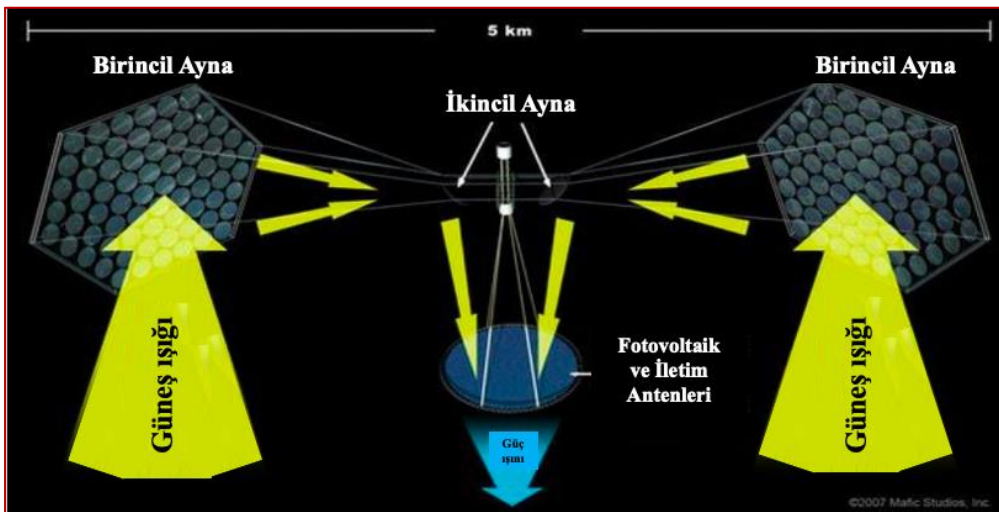
Bu modül, belirli frekans fotonlarını artırmaya ve işlemi verimli hale getirmeye yardımcı olur; safir malzeme lazer ortamı olarak veya kristal olarak kullanılır. Aşağıdaki şekil, lazer tabanlı UTGE çalışma prensibini göstermektedir [43].



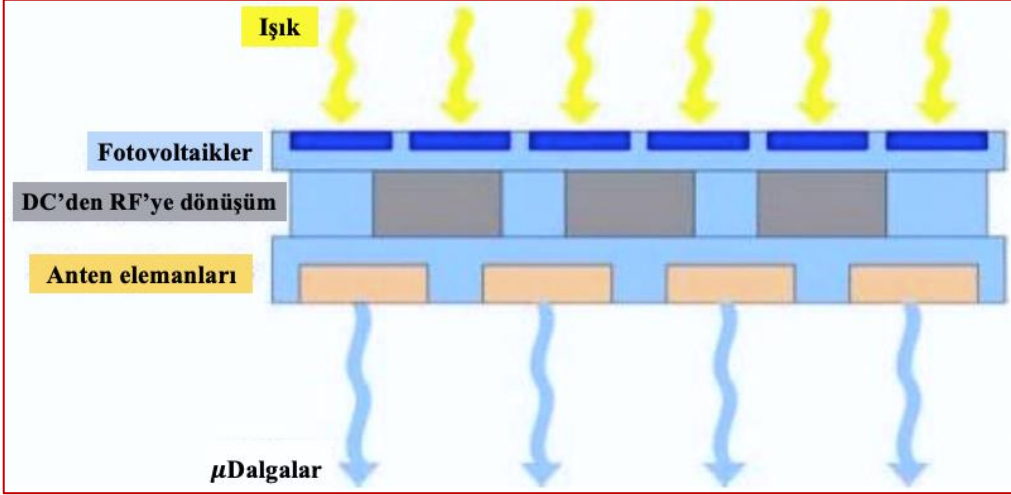
Şekil 21. Lazer Tabanlı UTGE Çalışma İlkeleri [43].

### 6.3. Tip-III

Bu tasarım, modüler simetrik yoğunlaştırıcı konseptini sandviç şeklinde kullanır. Bu sayede tasarım, hafif yeniden yönlendirme konseptini içerir ve bu nedenle Tip-I'deki (Güç yönetimi ve dağıtım sistemi) sorunu çözer (Şekil 22 ve 23) [44].



Şekil 22. Tip-II UTGE "Modüler Sandviç Mikrodalga" [44].



Şekil 23. Sandviç Modülünün Fonksiyonel Katmanları [44].

Sandviç modülü, ışımlanabilir ısı transfer ilişkisi nedeniyle bazı kısıtlamalar sergiler;

$$P = \epsilon \sigma AT^4 \quad (1)$$

P iletilen ısı gücüdür,  
 $\epsilon$  malzemenin emisyonudur,  
 $\sigma$  Stefan-Boltzmann sabiti,  
 A yayılan alandır,  
 T modülün çalışma sıcaklığı [44].

### 6.3.1. Hibrit Tabanlı

Burada, mikrodalga teknolojisi ve lazer teknolojisi bu konsept içerisinde ele alınmıştır. Çünkü her iki teknolojinin de tüm sorunların üstesinden gelmek ve özelliklerine uygun en iyi modülü tasarlamak konusunda faydaları ve dezavantajları bulunmaktadır. "Japonya Ulusal Uzay Kalkınma Ajansı" (NASDA), hibrit bir konsepti planlamıştır. Bu jeosenkron yörüngeden gelen uyduda elektrik enerjisi üretilecek ve lazer olarak yörünge tabanlı istasyona iletmeyi hedefleyecektir. İstasyonda, lazerden gelen enerji önce elektriğe, ardından elektrik mikrodalga radyasyonuna dönüştürülecektir. Ortaya çıkan mikrodalga enerjisi, dünyanın yüzeyine yerleştirilen alıcıya iletmeyi amaçlamaktadır [45].

## 7. Uzaydan Güç Sağlamanın Avantajları

Güneş enerjisini uzaydan kullanmak, hem çevresel hem de ekonomik açıdan sayısız avantaj sunar. Daha sürdürülebilir bir geleceğe geçiş yapmaya çalışırken, uzay tabanlı güneş enerjisinin (UTGE) potansiyel faydaları giderek daha belirgin hale geliyor [46].

- Çevresel Sürdürülebilirlik: UTGE, karbon ayak izimizi azaltmak ve iklim değişikliğiyle mücadele etmek için önemli bir fırsat sunuyor. Temiz ve yenilenebilir güneş enerjisine dayanarak, geleneksel enerji üretim yöntemleriyle ilişkili sera gazı emisyonlarını en aza indirebiliriz. Fosil yakıt bazlı enerji üretiminin aksine, uzay tabanlı güneş enerjisi atmosfere karbondioksit veya kükürt dioksit gibi zararlı kirleticileri salmaz. Bu yaklaşım daha temiz havaya katkıda bulunur, küresel ısınmanın etkisini azaltır ve daha sağlıklı ve daha sürdürülebilir bir gezegeni teşvik eder [46].
- Sınırsız Güneş Potansiyeli: Uzayda güneş enerjisinin bolluğu, uzay tabanlı güneş enerjisi için benzersiz bir avantaj sağlar. Hava koşulları, mevsimler ve gece nedeniyle güneş ışığında değişikliklere maruz kalan karasal güneş panellerinin aksine, uzaydaki güneş panelleri sabit ve kesintisiz güneş ışığı alır. Bu, uzay tabanlı güneş dizilerinin maksimum verimlilikte çalışmasını sağlayarak daha yüksek enerji verimi ve daha tutarlı bir güç kaynağı sağlar. Uzayda neredeyse sınırsız güneş potansiyeli, büyüyen küresel ihtiyaçlarımız için sürdürülebilir ve güvenilir bir enerji kaynağı sağlar [46].

- Küresel Enerji Erişilebilirliği: UTGE'nin dikkat çekici yönlerinden biri, coğrafi sınırlamaların üstesinden gelme yeteneğidir. Geleneksel enerji altyapısının oluşturulmasında zorluklarla karşılaşan uzak ve yoğun nüfuslu bölgeler, uzay tabanlı güneş enerjisinden büyük fayda sağlayabilir. Güneş enerjisini kablosuz olarak yer tabanlı istasyonlara ileterek, enerji, ulaşılması zor olan veya büyük ölçekli güneş enerjisi tesisatları için uygun araziye sahip olmayan alanlara dağıtılabilir. Bu erişilebilirlik, toplulukları ve ulusları temiz bir enerji kaynağı ile güçlendirir, gelişmeyi teşvik eder ve enerji erişimindeki eşitsizlikleri azaltır [46].
- Azalan Arazi Kullanımı ve Çevresel Etki: Dünyadaki güneş panelleri, genellikle tarımsal veya doğal yaşam alanlarıyla rekabet eden kurulum için önemli arazi alanları gerektirir. Buna karşılık, uzay tabanlı güneş enerjisi, büyük kara ayak izlerine olan ihtiyacı ortadan kaldırarak karasal güneş çiftlikleriyle ilişkili çevresel etkiyi azaltır. Güneş enerjisi toplama için alan kullanarak, tarım, koruma ve diğer hayati amaçlar için araziyi koruyabilir, böylece enerji üretimi ile çevre yönetimi arasında daha sürdürülebilir bir denge sağlayabiliriz [46].
- Ekonomik Fırsatlar: UTGE'nin ilk yatırım ve geliştirme maliyetleri önemli olsa da, uzun vadeli ekonomik faydalar umut vericidir. Uzay tabanlı güneş enerjisi yeni endüstriler yaratma, istihdam fırsatları yaratma ve teknolojik gelişmeleri teşvik etme potansiyeline sahiptir. UTGE'nin altyapısı oluşturuldukça ve büyütüldükçe, uzay araştırmaları, uydu teknolojisi ve enerji iletim sistemlerine yenilik ve yatırım getirebilir. Buna ek olarak, maliyetli ve sınırlı fosil yakıt kaynaklarına olan bağımlılığın azalması, daha fazla enerji güvenliği ve fiyat istikrarına yol açarak ekonomik dayanıklılığı artırabilir ve sürdürülebilir ekonomik büyümeyi teşvik edebilir [46].

Uzay tabanlı güneş enerjisi, çevreyi korurken enerji ihtiyaçlarımızı karşılamak için dönüştürücü bir yaklaşımı temsil eder. Güneşin gücünü uzaydan kullanarak, gelecek nesiller için daha temiz, daha sürdürülebilir bir gelecek yaratabiliriz. Bu alandaki araştırma ve geliştirme ilerledikçe, uzay gücünün çevresel ve ekonomik avantajları giderek daha cazip hale geliyor ve sınırsız, yenilenebilir enerji ile çalışan bir geleceğe bir bakış sunuyor [46].

## 8. Uzay Tabanlı Güneş Enerjisi Yönelik Çalışmalar

Uzay tabanlı güneş enerjisi arayışı, ülkeler enerji üretme ve dağıtma şeklimizde devrim yapma potansiyelini tanıdığından, dünya çapında çok sayıda proje ve çalışmaya yol açtı. Bu çabalar, güneş enerjisini uzaydan kullanmak, temiz ve sürdürülebilir kaynaklardan güç alan bir geleceğin yolunu açmakla ilgili teknolojik, ekonomik ve lojistik zorlukları ele almayı amaçlamaktadır [33–47–48].

- Amerika Birleşik Devletleri: Amerika Birleşik Devletleri, çeşitli devlet kurumları, araştırma kurumları ve özel şirketler ile olasılıkları aktif olarak araştıran uzay enerjisi araştırmalarının ön saflarında yer almıştır. NASA, Ulusal Uzay Topluluğu ve Enerji Bakanlığı gibi kuruluşlarla işbirliği yaparak, uzay tabanlı güneş enerjisi için çalışmalar ve fizibilite değerlendirmeleri yapmıştır. Ayrıca, SpaceX ve Lockheed Martin gibi özel şirketler uzay gücü teknolojilerini geliştirmeye ilgi duyduklarını ifade ettiler[35].
- Çin: Çin, artan enerji taleplerini karşılama ve fosil yakıtlara olan bağımlılığını azaltma potansiyelini kabul ederek uzay enerjisi araştırmalarında önemli adımlar attı. Çin Ulusal Uzay İdaresi (CNSA), uzay tabanlı güneş enerjisinin fizibilitesini değerlendirmek için çalışmalar ve deneysel görevler başlattı. Özellikle, Çin 2021 yılında uzayda güneş enerjisi toplama ve Dünya'ya aktarma kavramını test etmek için deneysel bir uydu başlattı [35].
- Japonya: Japonya'nın uzay gücü teknolojilerinde uzun bir araştırma ve geliştirme geçmişi vardır. Japonya Havacılık ve Uzay Araştırma Ajansı (JAXA), uzay tabanlı güneş enerjisi kavramını incelemekte aktif olarak yer aldı ve 2030'lara kadar bir gösteri gücü uydusu inşa etmek için iddialı planlar önerdi. JAXA, mikrodalga ışınları kullanarak kablosuz güç iletiminin başarılı bir şekilde gösterilmesi ve uzay güç sistemlerinin potansiyelini daha da doğrulaması gibi deneyler gerçekleştirdi [35].
- Avrupa Birliği: Avrupa Birliği (EU), uzay tabanlı güneş enerjisinin önemini de kabul etmiş ve fizibilitesini araştırmak için araştırma projelerine fon sağlamıştır. Uluslararası Uzay Üniversitesi liderliğindeki AB tarafından finanse edilen SPS-ALPHA projesi, gelişmiş robotik ve otonom montaj tekniklerini birleştiren uzay tabanlı bir güneş enerjisi sistemi geliştirmeyi hedefliyor. Proje, uzay

gücü teknolojilerinin anlaşılmasını ve uygulanmasını ilerletmek için çeşitli Avrupa ülkelerinden uzmanları bir araya getiriyor [35].

- Uluslararası İşbirliği: Bireysel ülke girişimlerine ek olarak, uluslararası işbirliği uzay gücü çalışmalarının geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Uluslararası Uzay Bilimleri Akademisi (IAA) ve Uluslararası Uzay Bilimleri Federasyonu (IAF) gibi kuruluşlar, araştırma, bilgi alışverişi, ve ülkeler arasında işbirliğini kolaylaştırmak [35].

Bu küresel çabalar, uzay tabanlı güneş enerjisinin potansiyel faydalarının giderek daha fazla tanınmasını yansıtmaktadır. Ülkeler iş birliği yaparken ve bulgularını paylaştıkça, kazanılan kolektif bilgi, uygulanabilir alan güç sistemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunacaktır. Önemli zorluklar devam etmekle birlikte, bu çalışmaların işbirlikçi doğası, uzay tabanlı güneş enerjisi potansiyelinin kilidini açmak için ortak bir çaba sağlamaktadır.

## 9. Sonuç

Bu makale, çevre sorunları ve bölge sakinleri için enerji üretimi eksikliği gibi sorunlarımızın üstesinden gelen uzay tabanlı güneş enerjisi üretimi ve dağıtılmış ağ kavramını özetlemektedir. Bu teknoloji ile, temiz ve temiz bir işleme gece gündüz herhangi bir etkisi olmadan 24 saat güç elde etmek mümkündür. Güç, dünyanın herhangi bir noktasını kablosuz olarak farklı konumlardaki alıcı istasyonlara iletiyor olabilir.

UTGE, geleneksel enerji kaynakları için önemli bir seçenek olarak kanıtlanma yeteneğine sahiptir. Mikrodalga iletimindeki kayıplar, geleneksel enerji iletim seçeneklerinden çok daha azdır. Böyle bir kablosuz İletim, biyolojik ekosistemi ve dünyadaki doğayı etkilemez. Mikrodalga enerjisi, sürdürülebilir kalkınma hedeflerini kolayca karşılayacak çok temiz bir kaynaktır. Bununla birlikte, böyle bir güneş enerjisi istasyonunun uygulanması sadece uygulanabilir teknolojinin yavaş gelişimi değil, aynı zamanda daha yüksek maliyettir. Gelecekte UTGE, enerji krizinde yaklaşan ihtiyaçları karşılamak için uzaya dayalı enerjiyi kullanmak için daha etkili ve verimli bir seçenek olacaktır. Elbette uygulanması zaman alacaktır. Ancak, bu alandaki tutarlı çalışma ve teknolojik araştırma, daha hızlı ve başarılı bir şekilde büyümemize yardımcı olacaktır.

## Contribution of Researchers

All researchers have contributed equally to writing this paper.

## Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

## Referanslar

- [1] C. Sevim, "Küresel enerji jeopolitiği ve enerji güvenliği," Yaşar Üniversitesi E-Dergisi, vol. 7, no. 26, pp. 4378–4391, 2012.
- [2] "World energy supply and consumption," Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/World\\_energy\\_supply\\_and\\_consumption](https://en.wikipedia.org/wiki/World_energy_supply_and_consumption)
- [3] S. F. Adams, "Solar thermionic space power technology testing: A historical perspective," in AIP Conference Proceedings, American Institute of Physics, 2006, pp. 590–597.
- [4] S. Tokin, "China plans to launch trial for a solar power plant SPACE STATION in 2028 that will beam energy back down to Earth - beating the US and UK to the punch," Dailymail, 2022. <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-10893523/China-plans-launch-solar-power-plant-space-station-beam-energy-Earth.html> (accessed Jun. 07, 2022).
- [5] N. Lior, "Power from space," Energy Convers Manag, vol. 42, no. 15–17, pp. 1769–1805, 2001.
- [6] "Güneş," Vikipeidi. <https://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%BCne%C5%9F>

- [7] M. YILDIZ, "Güneş'in İç Yapısını Ne Kadar Biliyoruz?," in XI. Ulusal Astronomi Toplantısı, ELAZIĞ: Fırat Üniversitesi, Fizik Bölümü, Aug. 1999, pp. 16–19. [Online]. Available: <http://kitap.uak.info.tr/1999/1999UAK..1999...16Y.pdf>
- [8] C. K. ULUSOY, "YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ KULLANIMINDAKİ GELİŞMELER; GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ VE FİNANSMAN MODELLERİ," ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi, vol. 6, no. 13, pp. 65–84, 2019.
- [9] "Güneş'in İç Yapısı (standard solar model)," Prof. Dr. Bilsen Beşergil, Dec. 08, 2020. <http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/ic-yap-standard-solar-model-ic-yap.html>
- [10] "Arka Fön Görüntüsü: Güneş, Dünya ve güneş sistemindeki diğer gezgenler arasındaki mesafe(NASA)," NASA, 2017. <https://www.nasa.gov/>
- [11] F. Ç. KILIÇ, "Güneş enerjisi, Türkiye'deki son durumu ve üretim teknolojileri," Mühendis ve Makina, vol. 56, no. 671, pp. 28–40, 2015.
- [12] B. TURAN and S. DAĞDAŞ, "Güneş enerjisi ve artan kullanım imkanları," Artvin: III. Ulusal Karadeniz Ormanlık Kongresi, Jun. 2010, pp. 97–106. [Online]. Available: <https://openaccess.artvin.edu.tr/xmlui/handle/11494/2689>
- [13] H. H. ÖZTÜRK, Yenilenebilir Enerji Kaynakları. İstanbul: Birsen Yayınevi, 2021, pp. 667
- [14] N. Altıntop and D. Erdemir, "Dünyada ve Türkiye'de güneş enerjisi ile ilgili gelişmeler," Mühendis ve Makina, pp. 69–77, 2013.
- [15] S. Öksüz, "Güneş Enerjisi Sistemleri Temel Prensipler," Teknik ve Eğitim Bölümü. Makine Mühendisleri Odası. Ankara, 2014.
- [16] D. S. Polatkan, "Fotovoltaik Güneş Elektiriği Sistemleri," YEKSEM 2009 5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, pp. 215–217, 2009.
- [17] M. S. CENGİZ and M. S. MAMİŞ, "Termal Güneş Enerjisi Kullanımı ve CSP Sistemlerin Verimlilik Analizi," Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, vol. 5, no. 1, 2016.
- [18] "Güneş Enerjisi Hakkında Genel Bilgi," Yavuz Enerji. <https://www.yavuzenerji.com/y/gunes-enerjisi-hakkinda-genel-bilgi.html>
- [19] "Güneş enerjisi kulesi nedir?," Yeşil Odak. <https://www.yesilodak.com/gunes-enerjisi-kulesi-nedir>
- [20] H. S. TORTOP and Ö. Nuri, "Proje tabanlı öğrenmede anlamlı alan gezisi; güneş enerjisi ve kullanım alanları konusu," Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, vol. 44, no. 44, pp. 300–307, 2013.
- [21] S. RÜSTEMLİ, F. DİNÇER, M. ÇELİK, and M. S. CENGİZ, "Fotovoltaik Paneller: Güneş Takip Sistemleri ve İklimlendirme Sistemleri," Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, vol. 2, no. 2, pp. 141–147, 2013.
- [22] R. Zakharchenko et al., "Photovoltaic solar panel for a hybrid PV/thermal system," Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 82, no. 1–2, pp. 253–261, 2004.
- [23] G. KARPUZ, "Güneş Paneli Üretiminde Kullanılan Yarı İletken Malzemeler", Metalurji Ve Malzeme Mühendisleri Odası Dergisi, Available: [https://metalurji.org.tr/ehaber/2020\\_07/18\\_Makale\\_Gunes\\_Paneli.pdf](https://metalurji.org.tr/ehaber/2020_07/18_Makale_Gunes_Paneli.pdf)
- [24] "Şeffaf Güneş Pilleri," Yeşerenerji, Jul. 07, 2021. <https://yeserenerji.com/seffaf-gunes-pilleri/>
- [25] "Güneş Paneli Yapımı-Yapısı," Antalya Enerji. <https://www.antalyaenerji.com/gunes-paneli-nasil-yapilir/>
- [26] R. SELBAŞ and H. ÇETİN, "FOTOVOLTAİK GÜNEŞ SANRALLERİNİN VERİMLERİNİN DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ," Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi, vol. 6, no. 1, pp. 10–17.
- [27] H. İ. Erdal, "Parabolik Oluk Sistem Güneş Santralleri ile Güneş Kuleleri Yatırımlarının Teknik Değerlendirmesi ve Maliyet Karşılaştırması," Enerji, Piyasa ve Düzenleme (Cilt:2, 2011, Sayfa 21-48).
- [28] H. LİVATYALI, "YOĞUNLAŞTIRILMIŞ GÜNEŞ ENERJİSİ TEKNOLOJİLERİ," Tübitak, Marmara Araştırma Merkezi, Enerji Enstitüsü, Apr. 2011, [Online]. Available: [http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/c21ec3eb17542d5\\_ek.pdf](http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/c21ec3eb17542d5_ek.pdf)
- [29] S. S. Gosavi et al., "A review on space based solar power," Journal of Thermal Energy Systems, vol. 6, no. 1, pp. 16–24, 2021.
- [30] R. Check, P. S. Space-based, K. Percent, and E. Shingles, "The future of solar energy," Mitochondrion, pp. 3–6, 2015.
- [31] "Space-Based Solar Power: The Future Source of Energy?," Green Match, Jul. 12, 2022. <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2020/02/space-based-solar-power> (accessed Jul. 07, 2022).
- [32] P. Jaffe and J. McSpadden, "Energy conversion and transmission modules for space solar power," Proceedings of the IEEE, vol. 101, no. 6, pp. 1424–1437, 2013.
- [33] "Space-based solar power," Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Space-based\\_solar\\_power#:~:text=Space%2Dbased%20solar%20power%20essentially,a%20rectenna%2C%20a%20microwave%20antenna](https://en.wikipedia.org/wiki/Space-based_solar_power#:~:text=Space%2Dbased%20solar%20power%20essentially,a%20rectenna%2C%20a%20microwave%20antenna)
- [34] K. Chaudhary and D. Kumar, "Satellite solar wireless power transfer for baseload ground supply: clean energy for the future," European Journal of Futures Research, vol. 6, no. 1, p. 9, 2018, doi: 10.1186/s40309-018-0139-7.
- [35] C. Yang, X. Hou, and L. Wang, "Thermal design, analysis and comparison on three concepts of space solar power satellite," Acta Astronaut, vol. 137, pp. 382–402, 2017.

- [36] X. Li, B. Duan, L. Song, Y. Yang, Y. Zhang, and D. Wang, "A new concept of space solar power satellite," *Acta Astronaut*, vol. 136, pp. 182–189, 2017.
- [37] S. Sasaki, K. Tanaka, and K. Maki, "Microwave power transmission technologies for solar power satellites," *Proceedings of the IEEE*, vol. 101, no. 6, pp. 1438–1447, 2013.
- [38] R. Venugopal, H. Manjunath, V. R. Anjanpura, and P. K. Singh, "Overview of space based solar power," *Material Science and Research India*, vol. 19, no. 1030, pp. 58–62, 2022.
- [39] H. Matsumoto, "Space solar power satellite/station and the politics," *IEICE Proceedings Series*, vol. 14, no. 21Q1-4, 2009.
- [40] F. E. Little, J. O. McSpadden, K. Chang, and N. Kaya, "Toward space solar power: Wireless energy transmission experiments past, present and future," in *AIP Conference Proceedings*, AIP Publishing, 1998, pp. 1225–1233.
- [41] R. M. McLinko and B. V Sagar, "Space-based solar power generation using a distributed network of satellites and methods for efficient space power transmission," in *International Conference on Space Information Technology 2009*, SPIE, 2010, pp. 908–914.
- [42] S. S. Mohammed and K. Ramasamy, "Solar Power Generation using SPS and Wireless Power Transmission," in *Proc. Int. Conf. Energy Environ*, 2009, pp. 413–418.
- [43] L. Summerer and O. Purcell, "Concepts for wireless energy transmission via laser," *Europeans Space Agency (ESA)-Advanced Concepts Team*, 2009.
- [44] P. Jaffe et al., "Opportunities and challenges for space solar for remote installations," *Naval Research Lab Washington DC Washington United States*, 2019.
- [45] S. Sasaki, K. Tanaka, and K. Maki, "Microwave power transmission technologies for solar power satellites," *Proceedings of the IEEE*, vol. 101, no. 6, pp. 1438–1447, 2013.
- [46] J. K. Strickland Jr, "Advantages of solar power satellites for base load electrical supply compared to ground solar power," *Solar Energy*, vol. 56, no. 1, pp. 23–40, 1996.
- [47] J. O. McSpadden and J. C. Mankins, "Space solar power programs and microwave wireless power transmission technology," *IEEE Microw Mag*, vol. 3, no. 4, pp. 46–57, 2002, doi: 10.1109/MMW.2002.1145675.
- [48] P. Jaffe and J. McSpadden, "Energy conversion and transmission modules for space solar power," *Proceedings of the IEEE*, vol. 101, no. 6, pp. 1424–1437, 2013.