

GREENLIGHT:
Yenilenebilir Enerji
Üretimi Eğitim Ağı

–
Yeşil ve Uyumlu
Yarınlar İçin Önde
Gelen Girişimler



Enerji ve
Sürdürülebilirliğe Giriş
Aralık 2024

2023-2-TR01-KA220-SCH-000180691



Avrupa Birliği tarafından
finanse edilmektedir



**GREENLIGHT: Yenilenebilir Enerji Üretimi Eğitim Ağı - Yeşil ve
Uyumlu Yarınlar İçin Önde Gelen Girişimler**

2023-2-TR01-KA220-SCH-000180691

Enerji ve Sürdürülebilirliğe Giriş

Aralık 2024

Bu e-kitap, Erasmus+ projesi kapsamında yazılmıştır: “GREENLIGHT: Yenilenebilir Enerji Eğitim Ağı Üretmek – Yeşil ve Uyumlu Yarınlar İçin Önde Gelen Girişimler” (2023-2-TR01-KA220-SCH-000180691)

Telif Hakkı © 2024

Bu e-kitap yazarların görüşlerini yansıtmaktadır ve Avrupa Komisyonu burada yer alan bilgilerden sorumlu tutulamaz.

Project Partners



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
1- GİRİŞ	5
2- ENERJİ VE ÇEVRE	6
2.1. Enerjinin Tanımı ve Türleri	6
2.2. Enerji Hakkındaki Mitler ve Yanlış Anlamalar	6
2.3. Enerji ve Çevre Arasındaki İlişki	6
2.4. Enerji Verimliliği ve Sürdürülebilirlik	11
2.5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Gelecek Perspektifleri	12
3- ENERJİ KAYNAKLARI	14
4- YENİLENEMEYEN ENERJİ KAYNAKLARI VE ÇEVRESEL ETKİLERİ	15
4.1. Fosil Enerji Kaynakları	15
4.2. Nükleer Enerji	15
4.3. Çevresel Etkiler	16
4.4. Küresel ve Avrupa'da Yenilenemeyen Enerji Kullanımı	16
4.5. Ortak Ülkelerde Yenilenemeyen Enerji Kullanımı	19
5- YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE ÇEVRESEL ETKİLERİ	23
5.1. Küresel Yenilenebilir Enerji Kullanımı	23
5.2. Avrupa'da Yenilenebilir Enerji Kullanımı	24
6- YENİLENEBİLİR ENERJİ TÜRLERİ	25
6.1. Güneş Enerjisi	25
6.2. Rüzgar Enerjisi	44
6.3. Hidroelektrik Enerjisi	52
6.4. Jeotermal Enerji	60
6.5. Deniz-Okyanus Enerjileri	70
6.6. Biyokütle Enerjisi	79
6.7. Biyoyakıtlar	85
6.8. Hidrojen Enerjisi	100
7- Kaynakça	108

1. GİRİŞ

Enerji, insan yaşamının vazgeçilmez bir parçasıdır. Telefonlarımızı şarj etmekten fabrikalarda mal üretmeye kadar günlük hayatımızda yaptığımız her şey enerjiye dayanır¹. Bu nedenle enerji, hayatın her anında bulunması gereken bir kaynaktır. Özellikle Sanayi Devrimi'nin başlamasıyla birlikte hızlı nüfus artışı, yaygın kentleşme ve yükselen yaşam standartları enerjiye olan talebi önemli ölçüde artırmıştır.

Bugünkü küresel enerji tüketimini incelediğimizde, enerjinin büyük bir kısmının fosil yakıtlardan geldiği açıkça ortaya çıkıyor. Kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar, milyonlarca yıl önce yaşamış bitki ve hayvanların fosilleşmiş kalıntılarından oluşan enerji kaynaklarıdır. Ancak, bu kaynakların kullanımı birkaç ciddi soruna yol açmıştır. Birincisi, özellikle fosil yakıt kaynakları olmayan ülkeler için enerji bağımlılığıdır. Enerji ihtiyaçlarını karşılamak için diğer ülkelere güvenmek hem ekonomik hem de politik zorluklar yaratabilir². İkinci konu, fosil yakıt rezervlerinin hızla tükenmesidir. Bu kaynaklar yenilenemez, yani bir kez tüketildiklerinde yenilenmeleri milyonlarca yıl sürer¹. Üçüncü ve belki de en önemli konu, fosil yakıtların neden olduğu çevresel hasardır. Bu yakıtların kullanımı atmosfere sera gazları salarak küresel ısınmaya ve dolayısıyla iklim değişikliğine katkıda bulunur. Eriyen buzullar, yükselen deniz seviyeleri ve kuraklıklar bu değişikliklerden kaynaklanan doğal afetler arasındadır³⁻¹.

Bu zorluklar insanlığı alternatif enerji kaynakları aramaya yöneltti. Çevre dostu ve sürdürülebilir olan yenilenebilir enerji kaynakları son zamanlarda yeniden ilgi görmeye başladı. Tarihe bakıldığında, Sanayi Devrimi'nden önce enerji öncelikle odun, rüzgar ve su gibi yenilenebilir kaynaklardan geliyordu. Ancak Sanayi Devrimi ile birlikte kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar uzun yıllar enerji kullanımına hakim oldu. Sanayi Devrimi insanlığa sayısız kolaylık getirirken, fosil yakıtların yoğun kullanımı çevresel zararı önemli ölçüde artırdı⁴. 1973 enerji krizi yenilenebilir enerji kaynaklarını tekrar odak noktasına getirdi. Bu dönemde, petrol fiyatlarındaki hızlı artış ülkeleri yeni enerji alternatiflerini keşfetmeye yöneltti. Ancak bu ilgi kısa sürdü ve sonunda azaldı. Fosil yakıtların neden olduğu çevresel hasar arttıkça ve Kyoto Protokolü gibi uluslararası anlaşmalar sorunun ciddiyetini vurguladıkça, yenilenebilir enerji kaynakları yeniden önem kazandı⁵.

Günümüzde yenilenebilir enerji, çevre dostu ve sürdürülebilir olması nedeniyle giderek daha fazla ön plana çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgar, güneş, hidroelektrik, jeotermal ve biyokütle enerjisi bulunur ve bunların hepsi çevreye zarar vermeden kullanılabilir ve doğada sürekli olarak yenilenir. Bu enerji türleri yalnızca çevreyi korumaya yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda enerji güvenliğini de artırır. Özellikle son yıllarda teknolojiye gelişmeler yenilenebilir enerji kaynaklarını daha verimli hale getirmiştir. Rüzgar türbinleri artık daha fazla elektrik üretiyor, güneş panelleri daha uzun süre dayanıyor ve enerji depolama sistemleri enerji tedarikindeki kesintileri en aza indiriyor⁶.

Bu kitap, yenilenebilir enerji kaynaklarının ne olduğunu, nasıl üretildiklerini, kullanılan teknolojileri ve bu enerji türlerinin çevremiz üzerindeki etkisini açıklamayı amaçlamaktadır. Geleceğin enerji kaynaklarını anlamak, sürdürülebilir bir dünya için enerji tüketimimizi sorumlu bir şekilde yönetmek ve çevremizi korurken yaşam kalitemizi iyileştirmek hayati önem taşımaktadır. Özellikle sizin gibi genç bireyler için bu alanın farkına varmak, hem bugün hem de gelecekte daha temiz bir dünya inşa etmeye katkıda bulunacaktır.

2. ENERJİ VE ÇEVRE

2.1. Enerjinin Tanımı ve Türleri

Enerji, "işe dönüştürülebilir" anlamına gelen eski Yunanca "aktif" ("en") ve "iş" ("ergon") kelimelerinden türemiştir⁷. Temel olarak enerji, iş yapma kapasitesini ifade eder. Kimyasal, ışık, fosil ve elektrik enerjisi gibi çeşitli biçimlerde bulunur ve bunların hepsi birbirine dönüştürülebilir. Enerjinin Korunumu Yasası'na göre, enerji yaratılamaz veya yok edilemez, yalnızca dönüştürülebilir ve kapalı bir sistemde dengeyi korur⁸.

2.2. Enerji Hakkındaki Mitler ve Yanlış Anlamalar

Günlük hayatta sık kullanılmasına rağmen enerji sıklıkla yanlış anlaşılmaktadır. Yaygın yanlış anlamalar şunlardır:

- Enerji "kaybolabilir" veya "yok edilebilir".
- Tüketilen enerji geri döndürülemez şekilde değişir.
- Kimyasal enerji "sonsuzca kadar depolanabilir".

Enerji ...

- bir mekanizmanın veya 'somut' bir şeyin tanımı değildir
- doğrudan gözlemlenebilir değildir
- doğrudan ölçülemez



Bu mitler kısmen yetersiz eğitimden kaynaklanmaktadır. Öğrenciler enerjiyi elle tutulur bir madde olarak yanlış algılayabilir veya soyut, fiziksel doğasını yanlış anlayabilir. Örneğin, enerji sıklıkla yanlış bir şekilde "tükenmiş" yakıt benzeri bir maddeyle eş tutulur. Bu yanlış anlamaları ortadan kaldırmak için, okullarda ve kamusal alanda enerjinin ilkelerinin açık bir şekilde açıklanması esastır.

Hükümetler küresel olarak düşük karbonlu geleceğe geçiş için yenilenebilir enerji sistemlerine vurgu yapıyor. Kamu algısı bu çabaları önemli ölçüde etkiliyor ve zorluklar arasında "NIMBY" (Benim Arka Bahçemde Değil) tutumları ve yenilenebilir enerjinin maliyetleri ve güvenilirliği hakkındaki mitler yer alıyor. Enerji vatandaşlığını teşvik etmek için eğitim ve şeffaf iletişim yoluyla bunlara değinmek çok önemlidir⁹.

2.3. Enerji ve Çevre Arasındaki İlişki

Enerji ve çevresel hususlar derinlemesine iç içe geçmiştir. Tarihsel olarak, fosil yakıtlar endüstriyel büyümeyi yönlendirmiştir ancak sera gazı emisyonları, iklim değişikliği ve ekolojik dengesizlikler gibi önemli çevresel zorluklara da yol açmıştır. Bu sorunlar sürdürülebilir enerji uygulamalarını benimsemenin aciliyetini vurgulamaktadır. Güneş ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları, zararlı emisyonları azaltan ve ekolojik dengeyi destekleyen umut verici alternatifler sunmaktadır¹⁰.

Enerji tüketimi yalnızca teknik bir konu değil aynı zamanda toplumsal ve ekonomik bir endişedir. Nüfus artışı, teknolojik ilerlemeler, enerji rezervleri ve çevre bilinci tarafından etkilenir¹¹.



Şekil 1: Enerji ve ulaşım, çevresel etkiye büyük katkıda bulunmaktadır

Enerji için fosil yakıtlara küresel bağımlılık ciddi çevresel ve ekonomik zorluklara yol açmıştır. Azalan fosil yakıt rezervleri, enerji ithalat bağımlılıkları ve erişilebilirlik sorunları bir geçişe olan ihtiyacı vurgulamaktadır. Ayrıca, fosil yakıtlardan kaynaklanan emisyonlar küresel sıcaklık artışlarını ve iklim değişikliğini yönlendirerek enerji güvenliğini ve sürdürülebilirliği tehdit etmektedir¹².



Şekil 2: Endüstriyel faaliyetler ekolojik dengeyi bozan kirliliğe neden oluyor

Birleşmiş Milletler'in 1987 Brundtland Raporu'nda¹³, tanımlandığı gibi sürdürülebilirlik, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğini tehlikeye atmadan mevcut ihtiyaçları karşılamak anlamına gelir. Bu dengeyi sağlamak, çevresel zararı en aza indiren enerji kaynaklarına öncelik vermeyi gerektirir. Enerji üretimini sürdürülebilirlik ilkeleriyle uyumlu hale getirirken ekonomik büyümeyi desteklemek ve çevreyi korumak için temel önlemler şunlardır¹⁴:

Enerji kaynaklarının tüketimini azaltmak,
Enerji tasarrufunu teşvik etmek ve uygulamak,
Yenilikçi teknolojiler ve politikalarla enerji verimliliğini artırmak.



Bu unsurların ele alınmasıyla enerji üretiminin sürdürülebilirlik ilkeleriyle uyumlu hale getirilmesi ve hem ekonomik büyümenin hem de çevrenin korunmasının sağlanması mümkün olacaktır.



Şekil 3: Enerji kullanımındaki değişimler hem toplumu hem de doğayı şekillendirmiştir.

Enerji, günlük aktivitelerden endüstriyel üretime kadar modern yaşamın her alanında vazgeçilmezdir. Toplamlar büyüdüğü ve evrimleştiğiçe, enerji üretimi, sürdürülebilirlik ve ekonomik kalkınma küresel ilerlemeyi şekillendiren kritik bir bağ oluşturur. Enerji kalkınma için hayati önem taşısa da, kontrolsüz üretimi ve tüketimi ekolojik dengeleri bozmuş ve küresel zorluklar yaratmıştır. Hızlı sanayileşme ve kentleşmenin yönlendirdiği çevresel sorunların artan görünürlüğü, sürdürülebilir enerji çözümlerine olan ihtiyacı vurgulamaktadır¹⁵.



Şekil 4: Sürdürülebilir bir gelecek, enerji ve doğanın uyumunu gerektirir.

Nüfus artışı, hızlı kentleşme ve endüstriyel faaliyetler nedeniyle çevresel sorunlar 20. yüzyılın ortalarından bu yana daha belirgin hale geldi. Bu değişiklikler hava, su ve toprak kirliliğini yoğunlaştırdı ve ekolojik sağlık ve istikrarı tehdit etti. Bu zorlukların ele alınması, enerji ihtiyaçlarını çevre korumayla dengeleyen entegre yaklaşımlar gerektirir. Yenilenebilir enerji benimsenmesini teşvik eden ve enerji verimliliğini artıran politikalar, sürdürülebilirlik ve ekonomik büyümenin ikili hedefleriyle uyumlu, uygulanabilir çözümler sunar¹⁶.

2.3.1 İklim Değişikliği ve Karbon Ayak İzi

Küresel ısınma, karbondioksit ve metan gibi gazların Dünya atmosferinde ısıyı hapsediği sera etkisinden kaynaklanır. İnsan faaliyetleri, özellikle enerji üretimi ve tüketimi, bu olguya önemli ölçüde katkıda bulunur. Birincil sera gazları şunları içerir¹⁷:

- **Karbondioksit (CO₂):** Fosil yakıtların yakılmasıyla yayılır.
- **Metan (CH₄):** Tarım ve atık yönetiminden üretilir.
- **Azot Oksitler (N₂O):** Endüstriyel prosesler sırasında salınır.
- **Florlu Gazlar:** Soğutma sistemleriyle ilişkilidir.

Sera gazı konsantrasyonlarındaki küçük değişiklikler bile iklim sistemlerini bozabilir, sıcaklıkların artmasına, buzulların erimesine ve deniz seviyesinin yükselmesine yol açabilir. İklim değişikliğini hafifletmek, sera gazı emisyonlarını şu şekilde azaltmayı gerektirir:

- Yenilenebilir enerji benimseme
- Enerji tüketimini azaltma
- Enerji verimliliği uygulamalarını teşvik etme



Şekil 5: İklim değişikliğiyle mücadelede toplu taşıma, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji yoluyla karbon ayak izimizi azaltmak büyük önem taşıyor.

Ek olarak, karbon ayak izini (bireysel veya kolektif faaliyetler tarafından yayılan toplam sera gazları) en aza indirmek kritik öneme sahiptir. Pratik stratejiler şunları içerir¹⁸:

- Toplu taşımayı kullanma
- Enerji tasarruflu cihazları tercih etme

2.3.2. Sera Gazı Etkisi

Küresel ısınma, doğal süreçler veya insan faaliyetleri nedeniyle atmosferin yeryüzüne yakın kısımlarında hava sıcaklığının artmasıdır¹⁹.

Güneşten gelen ışınların bir kısmı atmosfer tarafından yansıtılırken, büyük bir kısmı dünya tarafından emilir ve uzun dalga ışınları olarak atmosfere yeniden yayılır. Atmosferdeki gazlar, özelliklerine bağlı olarak güneş ışınlarını farklı hızlarda iletir. Bu gazların yoğunluğundaki artış, dünyanın yüzeyine yakın bölgelerde sıcaklıkların artmasına neden olur. Atmosferdeki bu ısınma olayına "sera etkisi" denir²⁰. Atmosferdeki gaz miktarının, özellikle insan faaliyetleri sonucu oluşan sera gazı yoğunluğunun artması ekolojik dengede önemli değişikliklere yol açmaktadır. Bu durum iklim değişikliği olarak tanımlanan çevresel dengesizliklerin başlıca nedenlerinden biridir.

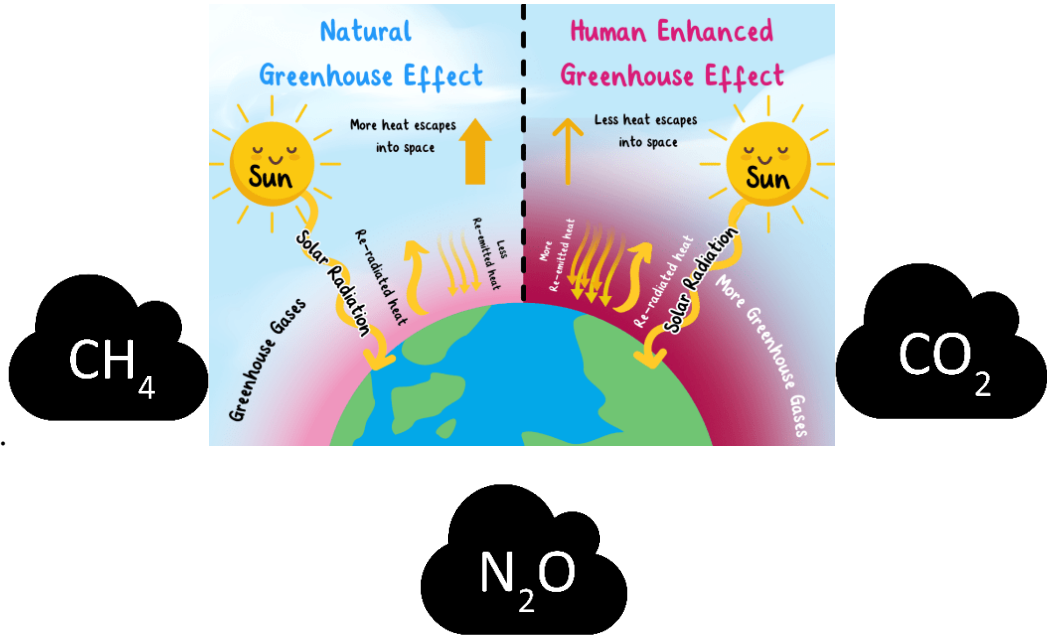
2.3.3. İnsan Kaynaklı Sera Gazları ve Enerji Tüketiminin Rolü

İnsan kaynaklı sera etkisinin başlıca nedenlerinden biri, enerji üretim yöntemleri ve tüketim miktarlarının doğanın kendini yenileme kapasitesini aşmasıdır. Enerji tüketiminin artması, fosil yakıtların daha yoğun kullanılmasına neden olur ve bu da atmosfere salınan sera gazlarının miktarını artırır²¹. Sera gazları, güneş ışınlarının yeryüzüne ulaşmasını engellemez; ancak yeryüzünden yansıyan uzun dalga boylu ışınların bir kısmını soğurarak tekrar yeryüzüne geri yansıtır. Bu durum atmosferin ısınmasına neden olur. Sera etkisine neden olan başlıca gazlar şunlardır:

- **Karbon dioksit (CO₂):** Fosil yakıtların yakılması, sanayi faaliyetleri ve ormansızlaşma.
- **Metan (CH₄):** Tarımsal faaliyetler, hayvancılık ve atık yönetimi.
- **Azot oksitler (N₂O):** Gübre kullanımı ve çeşitli sanayi süreçleri.
- **Florlu gazlar:** Sanayi süreçleri ve soğutma sistemleri.



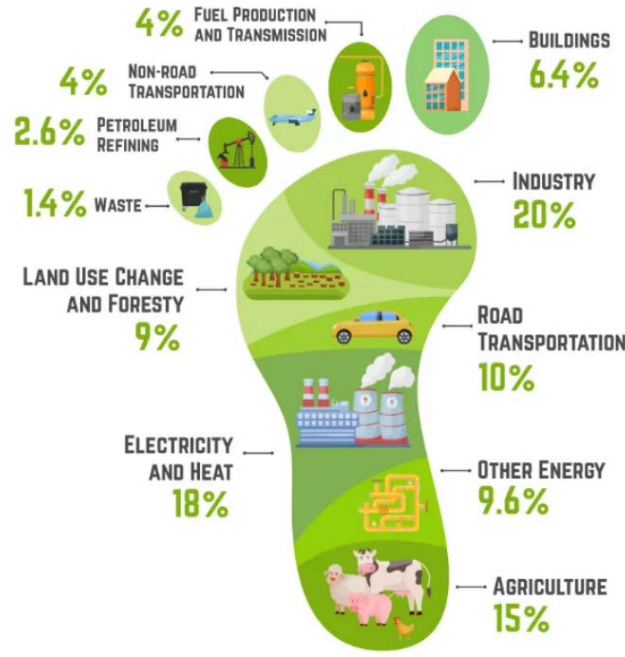
Şekil 6: Sanayi kaynaklı emisyonlar, sera gazlarının başlıca kaynaklarından biridir.



Şekil 7: İnsan faaliyetleri sera etkisini yoğunlaştırıyor ve daha fazla ısının tutulmasına neden oluyor.

Atmosferdeki sera gazı oranındaki artış, ortalama sıcaklıkların yükselmesine, yani küresel ısınmaya neden olur. Bu durum iklim sistemi üzerinde zincirleme etkilere yol açar. Küresel ısınmanın doğal bir sonucu olarak, yüksek dağlardaki ve kutuplardaki buzullar hızla erimekte, bu da deniz seviyelerinin yükselmesine neden olmaktadır. Artan sıcaklıklar nedeniyle birçok canlı türü yaşam alanlarını kaybetmekte ve ekosistem dengesi bozulmaktadır. Denizler ısındıkça, suda çözünen karbondioksit salınmakta ve atmosfere karışmaktadır. Bu da sera etkisini daha da artırarak kısır bir döngü yaratmaktadır. Küresel ısınmanın neden olduğu iklim değişikliği, insanlık ve diğer canlılar için çok zor yaşam koşulları yaratabilir. İklim uzmanlarının genel görüşü, bu değişikliklerin büyük çevre felaketlerine yol açabileceğidir²². Özellikle tarım, su kaynakları ve enerji temini gibi kritik alanlarda ortaya çıkacak sorunlar sürdürülebilir yaşamı tehdit etmektedir. Sera gazlarındaki artışın kontrol altına alınması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının teşvik edilmesi ve enerji tüketiminin azaltılması küresel ısınmanın etkilerinin sınırlandırılmasında önemlidir.

Karbon ayak izi, bir kişinin, topluluğun veya kuruluşun faaliyetleri sonucunda atmosfere salınan toplam karbondioksit (CO₂) ve diğer sera gazlarını ifade eder. Bu kavram, enerji tüketimi, ulaşım alışkanlıkları, tüketilen ürünler ve üretim süreçlerinden kaynaklanan emisyonları kapsar. Örneğin, bir kişi kendi aracıyla seyahat ettiğinde, uçakla yolculuk yaptığında veya elektrikli cihazlar kullandığında doğrudan karbon salınımına neden olur. Ayrıca, tükettiğimiz gıda ve diğer ürünlerin üretimi de karbon ayak izimizi artırabilir, çünkü üretim süreçleri genellikle enerji gerektirir ve bu süreçlerde sera gazları açığa çıkar. Karbon ayak izimizi azaltmak, çevre üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirmek ve küresel ısınmayı yavaşlatmak için enerji tasarrufu yapmak, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek ve daha sürdürülebilir tüketim alışkanlıkları geliştirmek büyük önem taşır.



Şekil 8: Günlük seçimlerimiz, karbon ayak izimizin büyüklüğünü belirler²³.

Yenilenebilir enerji kaynakları karbon ayak izimizi azaltmanın en etkili çözümlerinden biridir²⁴. Güneş, rüzgar, su ve jeotermal gibi doğal kaynaklardan elde edilen yenilenebilir enerjiler, fosil yakıtlara kıyasla çok daha düşük karbon emisyonuna sahiptir. Bu kaynaklar kullanıldığında, sera gazlarının atmosfere salınması önlendiği için elektrik üretimi ve diğer enerji ihtiyaçları daha çevre dostu bir şekilde karşılanır. Yenilenebilir enerji kaynakları, tükenmez oldukları ve çevreye zarar vermedikleri için uzun vadede daha sürdürülebilir bir enerji seçeneği sunar. Ayrıca, yenilenebilir enerji sistemleri yerel ölçekte enerji üretimine izin vererek, taşıma ve iletim sırasındaki enerji kayıplarını azaltır. Yenilenebilir enerjiye geçmek, yalnızca karbon ayak izini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda çevresel etkileri en aza indirir ve gelecekteki enerji ihtiyaçlarını güvence altına alır. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, küresel ısınmaya karşı mücadelede ve sürdürülebilir bir gelecek için atılacak en önemli adımlardan biridir²⁵.

2.4. Enerji Verimliliği ve Sürdürülebilirlik

Enerji verimliliği, performanstan ödün vermeden çıktı birimi başına enerji tüketimini azaltmayı ifade eder. Bu yaklaşım, çevresel sürdürülebilirliği desteklerken enerji kullanımını optimize eder. Başlıca faydaları şunlardır:

- Azaltılmış sera gazı emisyonları
- Haneler ve endüstriler için daha düşük enerji maliyetleri
- Geliştirilmiş ulusal enerji güvenliği



Şekil 9: Enerji kıtlığı ve iklim değişikliği hem insanları hem de doğayı tehdit ediyor

Enerji verimliliği, üretim miktarı ve kalitesinde herhangi bir azalma olmadan, sanayi, ulaşım, tarım ve konut gibi tüm sektörlerde ürün veya hizmet başına daha az enerji tüketimi sağlamayı amaçlayan bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım yalnızca enerji kullanımını optimize etmekle kalmaz, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği destekler ve doğal kaynakların korunmasına önemli katkılarda bulunur.

Enerji verimliliği uygulamaları, fosil yakıt tüketimini azaltarak sera gazı emisyonlarını düşürür ve böylece iklim değişikliğiyle mücadelede etkili bir araç haline gelir. Ayrıca, bireylerin enerji maliyetlerini azaltarak hanehalkı ekonomisini desteklerken, ülke genelinde enerji ithalatını azaltarak enerji güvenliğini artırır ve cari açıkların azalmasına katkıda bulunur. Öte yandan, enerji verimliliği, teknolojik yenilikleri ve modernleşme süreçlerini teşvik eder. Örneğin, eski ekipmanların daha verimli ve çevre dostu teknolojilerle değiştirilmesi, hem üretim süreçlerini iyileştirir hem de sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasını kolaylaştırır²⁶. Bu nedenle, enerji verimliliği, çevresel, ekonomik ve sosyal faydalar sağlayarak kalkınma politikalarının temel unsurlarından biri olarak görülmelidir.



Şekil 10: Sürdürülebilir bir geleceğin anahtarı enerji verimliliği ve doğanın korunmasıdır.

2.5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Gelecek Perspektifleri

Güneş, rüzgar, hidroelektrik ve jeotermal enerji dahil olmak üzere yenilenebilir enerji kaynakları, sürdürülebilir enerji politikalarının temel taşı temsil eder. Bu kaynaklar çok sayıda fayda sunar:

- **Çevresel Avantajlar:** Minimum sera gazı emisyonu.
- **Tükenmezlik:** Fosil yakıtların aksine, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımla tükenmez.
- **Yerel Enerji Üretimi:** İletim sırasında enerji kayıplarını azaltır.

Güneş ve rüzgar kaynaklarından aralıklı enerji üretimi ve altyapının yüksek başlangıç maliyetleri gibi zorluklar devam ediyor. Bunlara rağmen, depolama teknolojilerindeki gelişmeler ve destekleyici politikalar yenilenebilir enerjileri giderek daha uygulanabilir hale getiriyor²⁷.

Enerjinin geleceği, fosil yakıt bağımlılığından yenilenebilir kaynaklara odaklanan bir sisteme geçişte yatmaktadır. Yenilikçi teknolojileri benimseyerek, toplum katılımını teşvik ederek ve etkili politikalar uygulayarak toplumlar, gelecek nesiller için sürdürülebilir bir enerji geleceği sağlayabilir.

3. ENERJİ KAYNAKLARI

Enerji kaynakları, kullanılabilirlik, kullanım ve yenileme kapasitelerine göre **yenilenemez** ve **yenilenebilir** olarak genel olarak kategorize edilebilir. Bu kaynakların özelliklerini anlamak, mevcut ve gelecekteki enerji taleplerini sürdürülebilir bir şekilde ele almak için kritik öneme sahiptir.

Yenilenemeyen enerji kaynakları, kısa bir süre içinde yenilenemeyen ve yenilenebildiğinden daha hızlı tüketilen kaynaklardır. Bu kaynaklar sonludur ve sonunda tükenecektir. Yenilenemeyen enerji temel olarak iki kategoriye ayrılır:

1. Fosil Yakıtlar: Bunlar, milyonlarca yıl boyunca eski bitki ve hayvan kalıntılarından oluşan kömür, doğal gaz ve petrolü içerir. Bol miktarda bulunmalarına ve yaygın olarak kullanılmalarına rağmen, fosil yakıtlar doğal yenilenme süreçlerini çok aşan bir oranda tüketilmektedir.

2. Nükleer Enerji: Uranyum veya diğer radyoaktif elementlerden türetilen nükleer enerji, yenilenemeyen bir diğer kaynaktır. Enerji üretimi sırasında sera gazı üretmese de, kullanılan hammaddeler sınırlıdır ve yenilenemez.

Yenilenemeyen enerji kaynaklarının tüketimi, sonlu yapısı, çevresel etkisi ve oluşumu için gereken milyonlarca yıllık zaman nedeniyle zorluklar doğurmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları, devam eden doğal süreçlerle kısa süreler içinde doğal olarak yenilenen kaynaklardır. Bu kaynaklar, Dünya'nın doğal döngüleri tarafından sürekli olarak yenilendikleri için tükenmez olarak kabul edilirler.

Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları şunlardır²⁸:

- 1. Güneş Enerjisi:** Güneş panelleri kullanılarak güneş ışığından elde edilen enerji.
- 2. Rüzgar Enerjisi:** Türbinler aracılığıyla rüzgardan üretilen enerji.
- 3. Hidroelektrik:** Nehirlerde veya barajlarda hareket eden sudan elde edilen enerji.
- 4. Biyokütle:** Enerji için kullanılan bitki ve hayvan atıkları gibi organik madde.
- 5. Jeotermal Enerji:** Dünya yüzeyinin altından elde edilen ısı enerjisi.
- 6. Okyanus Enerjisi:** Gelgitlerden, dalgalardan ve okyanus akıntılarından elde edilen enerji.

Fosil yakıtlar ve nükleer enerjinin aksine, yenilenebilir enerji kaynakları çevre dostu ve sürdürülebilirdir. Doğal döngüler içinde sürekli olarak kullanılabilirlikleri yenilendiği için aynı tükenme endişeleriyle karşılaşmazlar. Yenilenebilir enerji, çevresel zararı azaltma, iklim değişikliğiyle mücadele etme ve sürdürülebilir bir enerji geleceği sağlama potansiyeli nedeniyle kritik bir odak alanı haline gelmiştir.



Şekil 11: Yenilenemeyen enerji kaynakları sınırlıdır ve önemli çevresel etkilere sahiptir.

4. YENİLENEMEYEN ENERJİ KAYNAKLARI VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

Yenilenemeyen enerji kaynakları, kısa bir süre içinde yenilenemeyen ve yenilenebileceklerinden çok daha hızlı tüketilen kaynaklardır. Bu kaynaklar sonludur ve sonunda tükenektir, bu da sürdürülebilir yönetimlerini kritik bir zorluk haline getirir. Yenilenemeyen enerji kaynaklarına öncelikle kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar ve uranyum ve toryum gibi radyoaktif maddelerden elde edilen nükleer enerji dahildir²⁹.

4.1. Fosil Enerji Kaynakları

Fosil yakıtlar dünyada en yaygın kullanılan yenilenemeyen enerji kaynaklarıdır. Milyonlarca yıl önce yaşamış ve toprak ve kaya katmanlarının altına gömülmüş bitki ve hayvan kalıntılarından oluşurlar. Zamanla, ısı ve basınç bu kalıntıları kömür, petrol ve doğal gaza dönüştürmüştür³⁰. Fosil yakıtlar, araçları çalıştırmak, elektrik üretmek ve fabrikaları çalıştırmak için kullanılır.

Kömür: Kömür, çoğunlukla karbondan oluşan katı siyah veya kahverengi bir maddedir. En eski fosil yakıttır ve yüzyıllardır ısı ve enerji üretmek için kullanılmıştır. Kömür günümüzde hala yaygın olarak kullanılmaktadır, özellikle elektrik üretmek için elektrik santrallerinde. Ancak kömür yakmak atmosfere zararlı gazlar salarak hava kirliliğine ve iklim değişikliğine katkıda bulunur³¹.



Şekil 12: Yaygın olarak kullanılan bir fosil yakıt olan kömür, enerji içeriği bakımından çeşitlilik gösteriyor ve hava kirliliğine neden oluyor.

Petrol (Petrol): Petrol, yeraltı rezervuarlarında bulunan sıvı bir fosil yakıttır. Araçlara ve uçaklara güç veren benzin, dizel ve jet yakıtı gibi ürünler yapmak için kullanılır. Petrol ayrıca plastik, asfalt ve kimyasallar gibi ürünler oluşturmak için de kullanılır. Petrol çok faydalı olsa da, çıkarılması ve taşınması vahşi yaşama ve ekosistemlere zarar veren petrol sızıntıları gibi çevresel sorunlara neden olabilir³².

Doğal Gaz: Doğal gaz, çoğunlukla metandan oluşan temiz yanan bir fosil yakıttır. Yemek pişirmek, evleri ısıtmak ve elektrik üretmek için kullanılır. Kömür ve petrole göre daha temiz yanar ve daha az kirlilik üretir. Ancak, doğal gaz taşıma sırasında sızabilir ve metan güçlü bir sera gazı olduğundan, küçük sızıntılar bile çevreyi önemli ölçüde etkileyebilir³³.

4.2. Nükleer enerji

Nükleer enerji, uranyum ve toryum gibi radyoaktif maddelerden üretilir. Atomlar bölündüğünde (filyon adı verilen bir işlem) veya birleştirildiğinde (füzyon adı verilen bir işlem) büyük miktarda enerji açığa çıkar. Bu enerji, nükleer santrallerde elektrik üretmek için kullanılır. Nükleer santraller sera gazı üretmez ve bu da onları hava kirliliği açısından fosil yakıtlardan daha temiz hale getirir³⁴.

Ancak nükleer enerjinin zorlukları vardır. Nükleer santrallerin ürettiği atıklar binlerce yıl boyunca radyoaktif kalır ve çevreye veya insan sağlığına zarar vermemek için dikkatli bir şekilde depolanması gerekir. Ayrıca, bir nükleer santralde bir şeyler ters giderse, hem insanları hem de doğayı etkileyen ciddi kazalara yol açabilir³⁵.

4.3. Çevresel Etkiler

Yenilenemeyen enerji kaynakları, güvenilir olmaları ve büyük miktarda güç üretebilmeleri nedeniyle uzun zamandır enerji üretmemizin ana yolu olmuştur. Ancak, bazı büyük dezavantajları da vardır:

Hava kirliliği: Fosil yakıt yanması, partikül madde, karbondioksit, kükürt dioksit ve nitrojen oksitler gibi zararlı kirleticiler açığa çıkarır. Bu kirleticiler solunum ve kardiyovasküler hastalıklara katkıda bulunur, hava kalitesini düşürür ve asit yağmuru ve sis gibi olayları tetikler³⁶.

Su Kirliliği: Petrol sızıntıları, yenilenemeyen enerji kullanımının neden olduğu en görünür çevresel felaketler arasındadır. Bu sızıntılar deniz ekosistemlerini tahrip eder, yaban hayatını öldürür ve yaşam alanlarına zarar verir. Ayrıca, kömür madenciliği ve çatlatma işlemlerinden kaynaklanan akış genellikle nehirleri, gölleri ve yeraltı sularını toksik maddelerle kirletir³⁷.

Toprak Bozulması: Kömür, petrol ve doğal gazın çıkarılması sıklıkla açık ocak madenciliği ve sondaj gibi arazi yoğunluklu faaliyetleri içerir. Bu süreçler yaşam alanlarını yok eder, ormansızlaşmaya yol açar ve toprak erozyonuna neden olarak toprağı yaralı ve gelecekteki kullanım için daha az üretken bırakır³⁸.

İklim Değişikliği: Fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanan sera gazı emisyonları, küresel ısınmanın birincil itici gücüdür. Artan sıcaklıklar, buzulların erimesine, deniz seviyesinin yükselmesine, aşırı hava olaylarına ve biyolojik çeşitliliği ve insan geçim kaynaklarını tehdit eden ekosistemlerde kaymalara yol açar²⁰.

Radyoaktif Atık: Nükleer enerji binlerce yıl boyunca tehlikeli olmaya devam eden radyoaktif atık üretir. Güvenli bertaraf, çevreye sızıntıları önlemek için son derece güvenli tesisler ve uzun vadeli izleme gerektirir. Radyoaktif atıkların kötü yönetimi, hem insan hem de ekolojik sağlığı tehlikeye atarak toprak ve suyun kirlenmesine yol açabilir³⁹.

Neden Alternatifler Bulmalıyız: Yenilenemeyen enerji kaynaklarıyla ilgili sorunlar, insanları daha iyi çözümler aramaya teşvik etti. Güneş, rüzgar ve hidroelektrik gibi yenilenebilir enerji kaynakları daha temizdir ve tükenmez. Bu enerji türlerine geçmek, gezegeni gelecek nesiller için korumaya yardımcı olabilir¹¹.

4.4. Küresel ve Avrupa'da Yenilenemeyen Enerji Kullanımı

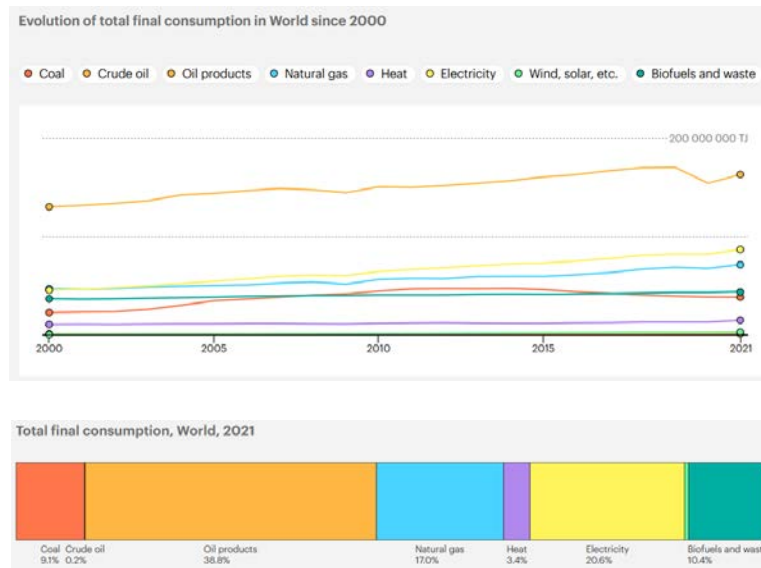
Yenilenemeyen enerji kaynakları, dünyanın enerji tüketiminin önemli bir bölümünü oluşturarak küresel enerji sistemlerinin omurgasını oluşturmaya devam ediyor. Çevresel etkilerine ilişkin farkındalığın artmasına rağmen, enerji yoğunlukları, güvenilirlikleri ve mevcut altyapıları nedeniyle fosil yakıtlara ve nükleer enerjiye bağımlılık devam ediyor.

4.4.1. Küreselde Yenilenemeyen Enerji Kullanımı

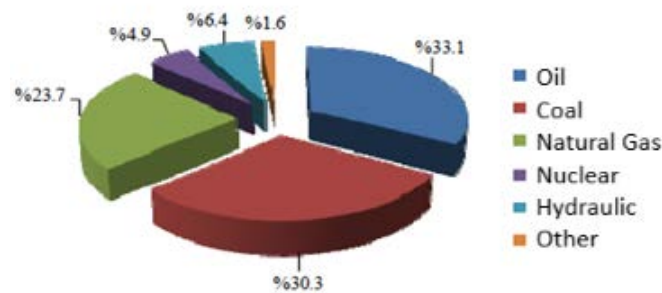
Küresel olarak, fosil yakıtlar enerji karışımına hakimdir ve toplam birincil enerji tüketiminin yaklaşık %86'sına katkıda bulunur²⁶. Kömür, petrol ve doğal gaz, endüstriyel, ulaştırma ve konut sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kömür tüketimi, küresel kömür kullanımının %65'inden fazlasını oluşturan Çin ve Hindistan gibi gelişmekte olan ekonomilerde özellikle yüksektir. Petrol, ulaştırma için kritik öneme sahip olmaya devam etmektedir ve en büyük tüketiciler arasında ABD ve Suudi Arabistan yer almaktadır. Doğal gaz kullanımı, kömüre kıyasla daha düşük emisyonları nedeniyle istikrarlı bir şekilde artmıştır ve Rusya ve ABD üretim ve tüketimde lider konumdadır.

Nükleer enerji, küresel enerji tüketiminin daha küçük bir payını oluşturmaya rağmen, Amerika Birleşik Devletleri, Fransa ve Çin gibi ülkelerde önemli bir rol oynamaktadır. Öncelikle elektrik üretimi için kullanılır ve fosil yakıtlara düşük karbonlu bir alternatif sunar.

Yenilenemeyen enerji kaynakları, küresel olarak en yaygın kullanılan enerji kaynakları olmaya devam etmektedir. 2024 itibarıyla fosil yakıtlar, küresel enerji tüketiminin %80'inden fazlasını oluşturmaktadır. Ancak, çevresel etkileri ve tükenme riski nedeniyle, bu kaynaklara olan bağımlılığı azaltmaya yönelik küresel bir eğilim vardır.



Şekil 13: Dünya çapında Enerji Kaynaklarının Son Tüketimi ⁴⁰.



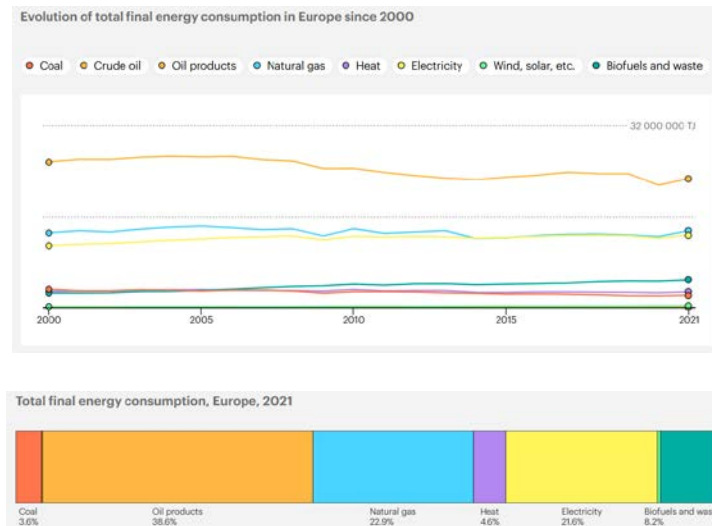
Şekil 14: Dünya birincil enerji kullanımı

4.4.2. Avrupa'da Yenilenemeyen Enerji Kullanımı

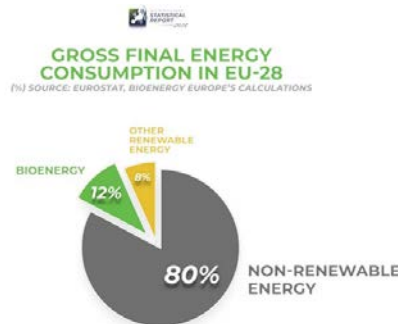
Avrupa'da, ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş yaptıkça ve sıkı iklim politikaları uyguladıkça yenilenemeyen enerji tüketimi kademeli olarak azaldı. Bununla birlikte, fosil yakıtlar hala enerji karışımının önemli bir bölümünü oluşturuyor. Eurostat'a (2021) göre, petrol AB'nin enerji tüketiminin yaklaşık %34'ünü oluştururken, bunu %25 ile doğal gaz ve %13 ile kömür takip ediyor. Bu rakamlara rağmen, AB son yirmi yılda kömür kullanımını önemli ölçüde azalttı, özellikle de kömürün tarihsel olarak baskın bir enerji kaynağı olduğu Almanya ve Polonya'da.

Nükleer enerji, Avrupa'nın düşük karbonlu enerji stratejisinde önemli bir rol oynar. Fransa, elektriğinin %70'inden fazlasını nükleer santrallerden üreterek kıtada nükleer enerjiye öncülük eder. İsveç ve Finlandiya gibi diğer ülkeler de nükleer enerjiye güvenir, ancak Almanya gibi bazı ülkeler bunu aşamalı olarak sonlandırmayı taahhüt etmiştir.

Avrupa Birliği, 2050 yılına kadar karbon nötr olma hedefi doğrultusunda fosil yakıt kullanımını azaltmayı ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişi amaçlamaktadır. Nükleer enerji, bazı Avrupa ülkelerinde önemli bir enerji kaynağı olmaya devam etmektedir⁴¹.



Şekil 15: Avrupa'da Enerji Kaynaklarının Nihai Tüketimi⁴².



Şekil 16: AB-28'de brüt nihai enerji tüketimi⁴³.

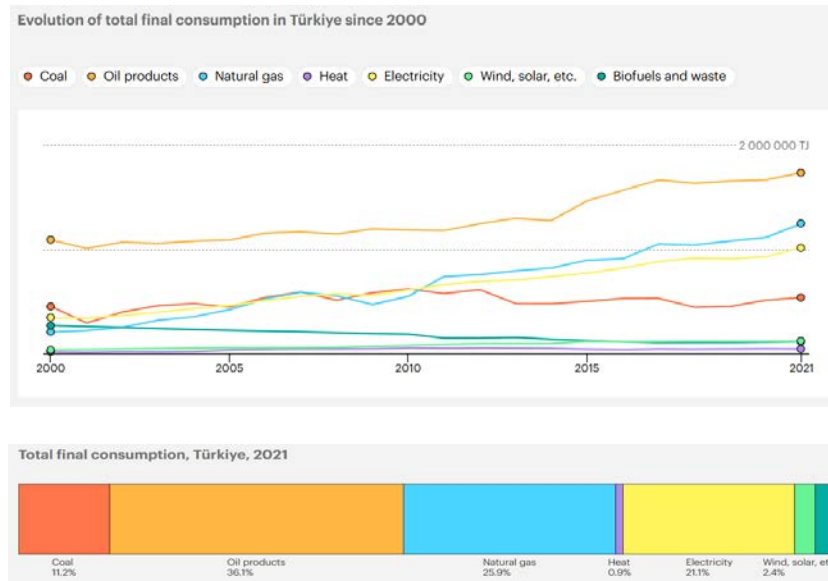
Bölgesel Farklılıklar: Yenilenemeyen enerjinin tüketimi bölgelere göre önemli ölçüde değişmektedir. Kuzey ve Batı Avrupa, güçlü hükümet politikaları ve temiz enerjiye yönelik kamu desteğiyle yenilenebilir enerjiye doğru daha belirgin bir kayma görmüştür. Ancak Güney ve Doğu Avrupa, büyük ölçüde ekonomik kısıtlamalar ve yenilenebilir teknolojilerin daha yavaş benimsenmesi nedeniyle fosil yakıtlara daha bağımlı olmaya devam etmektedir⁴⁴.

Çevresel ve Politika Etkileri: Avrupa'da ve küresel olarak yenilenemeyen enerji kaynaklarının sürekli kullanımı, hava kirliliği, su kirliliği ve sera gazı emisyonları gibi önemli çevresel zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Avrupa Birliği'nin Yeşil Mutabakatı ve Paris Anlaşması gibi diğer uluslararası anlaşmalar, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak ve enerji karışımında yenilenebilir kaynakların payını artırarak bu sorunları ele almayı amaçlamaktadır⁴⁵.

4.5. Ortak Ülkelerde Yenilenemeyen Enerji Kullanımı

4.5.1 Türkiye'de yenilenemeyen enerji kullanımı

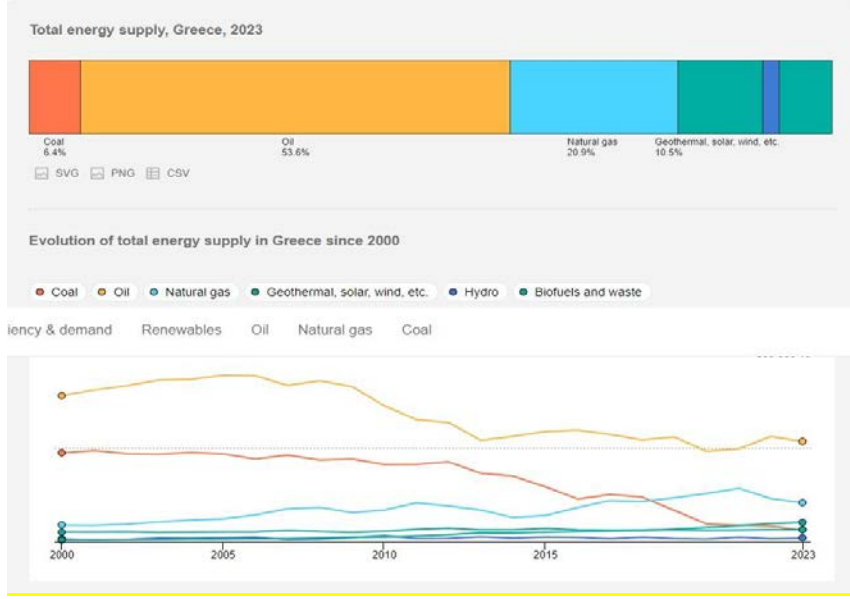
Türkiye, fosil yakıtlara oldukça bağımlı bir ülkedir. Doğal gaz ve petrol ithalatı, Türkiye'nin enerji tüketiminin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Ancak yenilenebilir enerjiye yapılan artan yatırımlar, fosil yakıtların payını azaltmaya başlamıştır. Nükleer enerji alanında, Akkuyu Nükleer Santrali gibi projeler enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesine katkıda bulunmaktadır⁴⁶.



Şekil 17. Türkiye'de Enerji Kaynaklarının Nihai Tüketimi⁴².

4.5.2 Yunanistan'da yenilenemeyen enerji kullanımı

Yunanistan, enerji ihtiyaçları için tarihsel olarak fosil yakıtlara, özellikle petrol ve doğal gaza büyük ölçüde güvenmiştir. 2023'te petrol, ülkenin toplam enerji arzının %54'ünü oluşturuyordu. Ancak ülke, karbon emisyonlarına önemli ölçüde katkıda bulunan bir kömür türü olan linyite olan bağımlılığını aktif olarak azaltmaktadır. 2005'ten 2021'e kadar, linyitle çalışan elektrik üretiminin payı %60'tan %10'a düşmüştür ve 2028'e kadar tamamen aşamalı olarak kaldırılması planlanmaktadır. Aynı zamanda, Yunanistan doğal gaz altyapısına yatırım yapıyor ve enerji karışımını çeşitlendirmek ve sürdürülebilirliği artırmak için yenilenebilir enerji kaynaklarını genişletiyor⁴⁷.



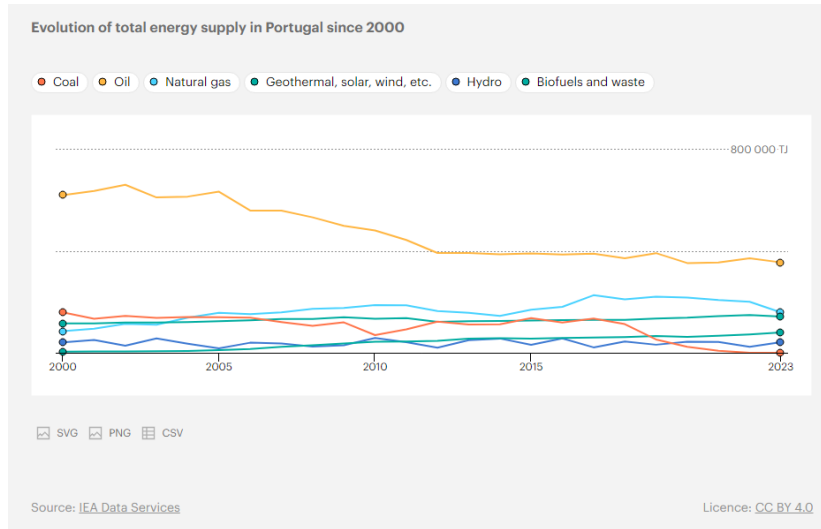
Şekil 18. Yunanistan'da Enerji Kaynaklarının Toplam Tüketimi⁴²

4.5.3 Portekiz'de yenilenemeyen enerji kullanımı

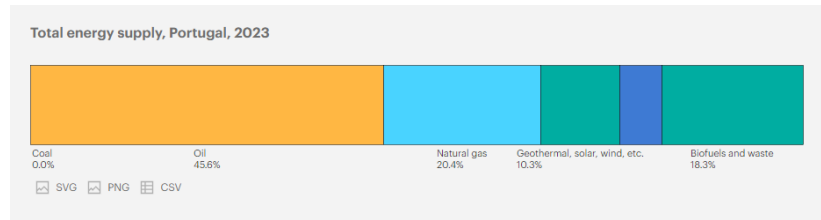
2000 yılında Portekiz'de tüketilen enerjinin yaklaşık %78'i kömür ve petrol kaynaklıyken, 2023 yılında yenilenemeyen kaynaklar ülkedeki küresel enerji tüketiminin yalnızca %64'ünü temsil ediyordu⁴⁸. 2023'te Portekiz, tüketimi 2000'e kıyasla %87 artan %20 gaz ve %44 petrol kullanıyordu, aynı dönemde %43 azaldı. Kömür yasaklandı ve son kömür santrali 2023'te kapandı.

2000 yılından bu yana Portekiz, yenilenebilir enerji kaynaklarına güçlü bir vurgu yaparak, rüzgar, hidro ve güneş enerjisine yapılan önemli yatırımlarla desteklenen enerji karışımını çeşitlendirmede önemli adımlar attı ve fosil yakıtlara olan bağımlılığın kademeli ancak güçlü bir şekilde azalmasına yol açtı.

Ülke, son birkaç yıldır daha temiz ve daha sürdürülebilir enerji üretim yöntemlerine doğru önemli bir kayma gördü⁴⁸. Portekiz, 2022 yılında Avrupa Birliği'nde yenilenebilir enerji kaynaklarından gelen elektriğin %61'lik payıyla 4. sırada yer aldı⁴⁹.



Şekil 19: 2000 yılından bu yana Portekiz'deki toplam enerji arzının evrimi⁴².

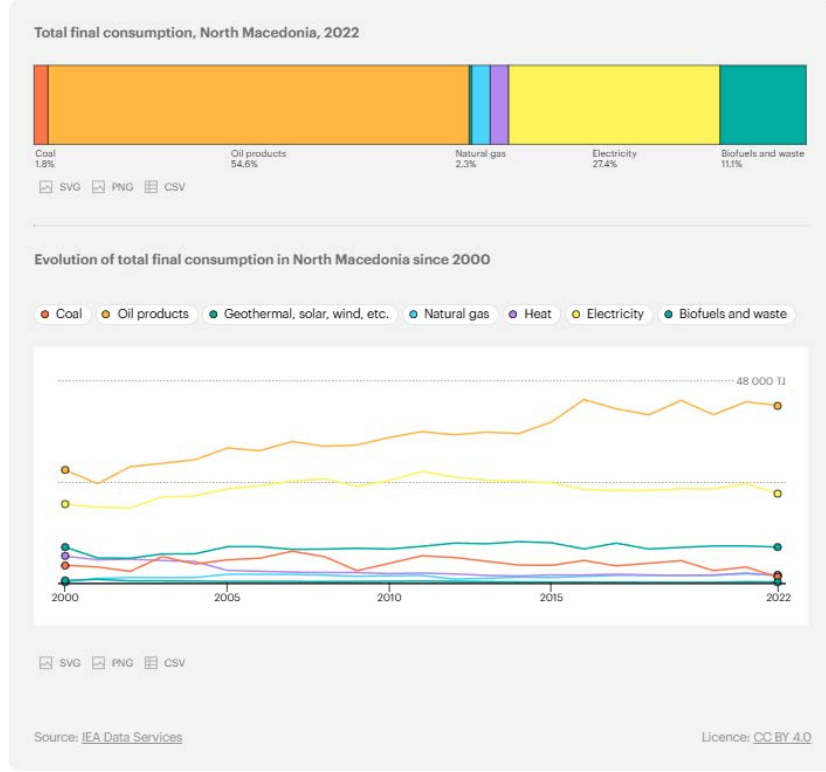


Şekil 20: Toplam enerji arzı, Portekiz 2023⁴².

4.5.4 Kuzey Makedonya'da yenilenemeyen enerji kullanımı

Kuzey Makedonya'nın enerji tüketimi öncelikle fosil yakıtlardan, kömür ve petrolün önemli katkılarından kaynaklanmaktadır. 2022'de kömür toplam enerji arzının %32,2'sini oluştururken, petrol %44,6'sına katkıda bulunmuştur. Ülke, 2022'de toplam elektrik üretiminin %47'sini kömürden elde ederek elektrik üretimi için hala büyük ölçüde kömürle çalışan elektrik santrallerine bağımlıdır. Ancak Kuzey Makedonya, yenilenebilir enerji kaynakları ve hidroelektrik enerjinin enerji karışımının yaklaşık %9,4'ünü oluşturmasıyla daha temiz enerji kaynaklarına doğru bir geçiş sürecinden geçmektedir. Enerji karışımını çeşitlendirmek ve karbon emisyonlarını azaltmak için güneş ve rüzgar enerjisine giderek daha fazla odaklanılarak 2030'a kadar kömürü aşamalı olarak kullanımdan kaldırma çabaları devam etmektedir.

Bu genel bakış, Kuzey Makedonya'nın kömür ve petrole olan yoğun bağımlılığının getirdiği ekonomik ve altyapı zorluklarını dengeleyerek fosil yakıtlara olan bağımlılığını azaltma ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş konusundaki devam eden çabalarını vurgulamaktadır⁵⁰.



Şekil 21: Kuzey Makedonya'da Enerji Kaynaklarının Nihai Tüketimi⁴²

5. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

Sürdürülebilir bir gelecek için yenilenebilir enerji hayati önem taşıyor⁵¹. Güneş, rüzgar, hidroelektrik, biyokütle ve jeotermal gibi bu enerji kaynakları doğada sürekli olarak yenilenir ve sınırlı kaynaklara bir alternatif sunar. Her tür, karbon emisyonlarını ve çevresel zararı en aza indirirken güç üretmek için güneş ışığı, rüzgar veya Dünya'nın ısısı gibi doğal süreçleri kullanır. Yenilenebilir enerji kaynak tükenmesini azaltsa ve enerji bağımsızlığını desteklese de, yüksek başlangıç maliyetleri, konuma ve iklime bağımlılık ve depolama zorlukları gibi zorluklarla karşı karşıyadır. Bu bölüm, yenilenebilir enerji teknolojilerini, üretimlerini, sürdürülebilirlik etkilerini ve gerçek dünya başarı hikayelerini ele almaktadır⁵¹.

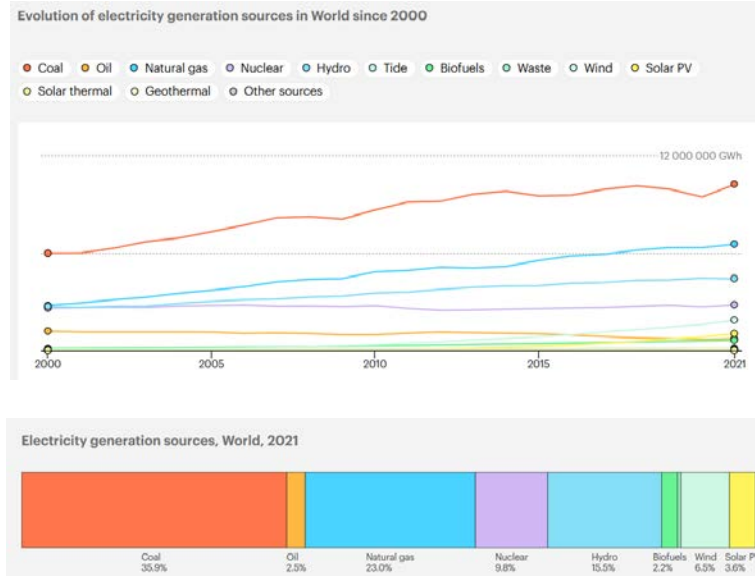
5.1. Küresel Yenilenebilir Enerji Kullanımı

Kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar, dünyadaki en büyük enerji kaynağı olmaya devam ediyor ve kullandığımız tüm enerjinin yaklaşık %80'ini sağlıyor⁵². Güneş, rüzgar, hidroelektrik ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları son yıllarda hızla büyüdü ve artık küresel enerji tüketiminin yaklaşık %20'sine katkıda bulunuyor. Nükleer enerji daha küçük bir rol oynuyor ve dünyanın enerji ihtiyacının yaklaşık %2,6'sını karşılıyor⁵³.

Elektrik üretimine gelince, yenilenebilir enerji önemli ilerleme kaydetti. 2023'te yenilenebilir kaynaklar, dünyanın elektriğinin %30'undan fazlasını üretti ve bu da daha temiz enerjiye doğru istikrarlı bir geçişi işaret ediyor⁵⁴. En yaygın kullanılan yenilenebilir elektrik kaynağı olarak hidroelektrik başı çekerken, onu rüzgar ve güneş enerjisi takip ediyor ve ikisi de teknolojideki gelişmeler sayesinde hızla büyüdü. Örneğin, güneş enerjisi üretimi sadece bir yılda neredeyse %25 arttı⁵⁵.

Bu kazanımlara rağmen, fosil yakıtlar hala dünyanın elektriğinin çoğunluğunu üretiyor; 2023'te yaklaşık %60⁵⁶. Yenilenebilir enerjiye geçiş, sürdürülebilir bir gelecek için kritik öneme sahiptir. Daha temiz enerji kaynakları kirliliği azaltır, iklim değişikliğiyle mücadele eder ve gelecek nesiller için güvenilir enerjiye sahip olmamızı sağlar. Ancak bu geçiş önemli yatırım ve küresel iş birliği gerektirir. Daha iyi enerji depolama ve daha verimli teknolojiye ihtiyaç gibi zorluklar devam ederken, bugüne kadar kaydedilen ilerleme, yenilenebilir enerjinin daha sağlıklı bir gezegeni şekillendirmede önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir.

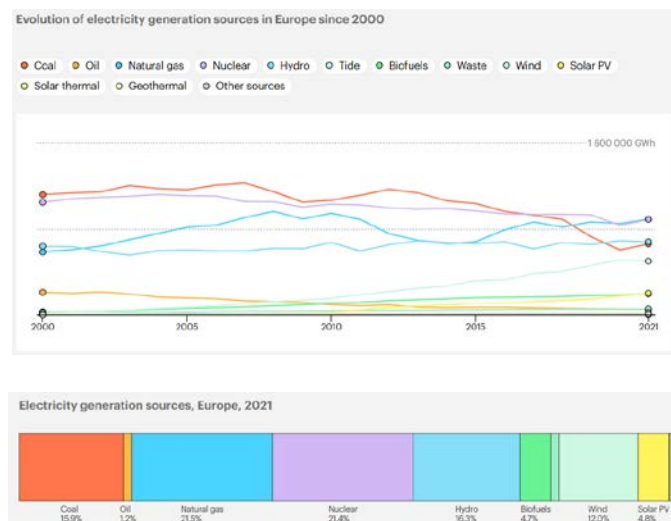
Yenilenebilir enerji kaynakları son yıllarda dünya çapında hızlı bir büyüme yaşadı. Küresel enerji tüketiminde yenilenebilir enerjinin payı artıyor ve bu kaynaklara yapılan yatırımlar hızla büyüyor. Toplam yenilenebilir elektrik üretimi 2022'de 8.500 TWh'yi aşarak tüm zamanların en yüksek seviyesine ulaştı ve bu, 2021'e göre 600 TWh'den (yaklaşık %8) fazla. Bu artış, öncelikle her ikisi de yaklaşık 270 TWh artan rüzgar ve güneş fotovoltaik (PV) üretimindeki büyümeden kaynaklandı. Dünyanın en büyük yenilenebilir elektrik kaynağı olan hidroelektrik enerjisi, Çin, Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri de dahil olmak üzere birçok bölgede hidroelektrik üretimini etkileyen kuraklık koşullarına rağmen hala 70 TWh artış görmüş olsa da, yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki küresel payı, 2021'e göre 1,5 yüzde puanı artarak yaklaşık %30'a yükseldi. 2022 itibarıyla yenilenebilir enerji kaynakları küresel enerji üretiminin yaklaşık %30'unu oluşturmaktadır⁵⁴. Bu büyümede özellikle güneş ve rüzgar enerjisine yapılan yatırımların ön planda olduğu dikkat çekiyor.



Şekil 22: Dünya çapında Elektrik Üretim Kaynakları⁴⁰

5.2. Avrupa'da Yenilenebilir Enerji Kullanımı

Avrupa, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında önde gelen bölgelerden biridir. Avrupa Birliği, 2030 yılına kadar enerji tüketiminin %32'sini yenilenebilir kaynaklardan sağlamayı hedeflemektedir⁵⁷. Almanya, Danimarka ve İspanya gibi ülkeler rüzgar ve güneş enerjisine yapılan yatırımlarda dünya lideri konumundadır⁵⁷. Yenilenebilir enerjinin çevre, iklim, ekonomi ve sürdürülebilirlik üzerindeki olumlu etkileri, bu enerji kaynaklarının daha fazla benimsenmesini sağlıyor. 2022'de yenilenebilir enerji kaynakları, AB'deki brüt elektrik tüketiminin %41,2'sini oluşturdu, bu 2021'e göre 3,4 puanlık bir artış ve nükleer (%22'den az), gaz (%20'den az) veya kömür (%17'den az) gibi diğer elektrik üretim kaynaklarının önemli ölçüde önünde yer aldı. Genel olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının payı 2021'den 2022'ye %5,7 arttı. Rüzgar ve hidroelektrik enerjisi birlikte yenilenebilir kaynaklardan üretilen toplam elektriğin üçte ikisinden fazlasını oluşturdu (%37,5 ve %29,9). Kalan üçte biri güneş enerjisinden (%18,2), katı biyoyakıtlardan (%6,9) ve diğer yenilenebilir kaynaklardan (%7,5) geldi.



Şekil 23: Avrupa'da Elektrik Üretim Kaynakları⁴²

6. YENİLENEBİLİR ENERJİ TÜRLERİ

6.1. Güneş Enerjisi

Güneş, Dünya'daki yaşamın birincil kaynağı ve en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir⁴⁸. Aslında, fosil yakıtlar da dahil olmak üzere birçok enerji kaynağı, enerjisini doğrudan veya dolaylı olarak Güneş'ten alır. Yaklaşık 150 milyon kilometre uzakta bulunan Güneş, hidrojen ve helyumdan oluşan devasa bir küredir. Çekirdeğinde meydana gelen nükleer füzyon reaksiyonları yoluyla muazzam miktarda enerji üretir. Bu süreçte, hidrojen atomları birleşerek helyum oluşturur ve muazzam miktarda enerji açığa çıkarır. Güneş tarafından yayılan enerjinin yalnızca küçük bir kısmı Dünya'ya ulaşsa da, bu miktar gezegenin enerji taleplerini karşılamak için fazlasıyla yeterlidir.

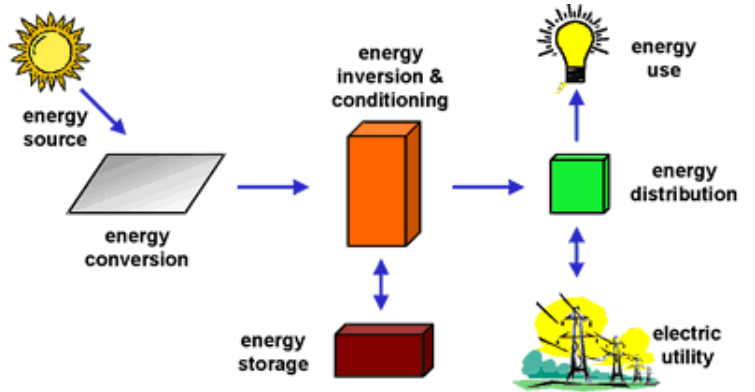


Dünya'ya ulaşan güneş enerjisi miktarı gün boyunca ve yıl boyunca değişiklik gösterir⁵⁸. Bu değişim, öncelikle Dünya'nın kendi eksenini etrafında dönmesi ve Güneş etrafındaki yörüngesinden kaynaklanır. Ayrıca, hava koşulları, atmosfer bileşimi ve enlem gibi faktörler yüzeye ulaşan güneş enerjisi miktarını etkiler.

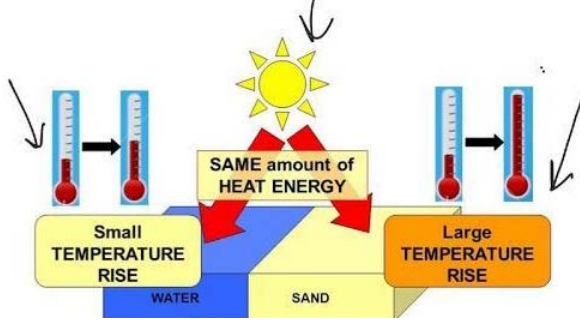
Şekil 24: Güneş panelleri, temiz ve yenilenebilir enerji üretmek için Güneş'in enerjisinden yararlanır

6.1.1. Güneş Enerjisi Dönüşümleri

Güneş'in yaydığı enerjinin bir kısmı Dünya atmosferi tarafından emilir, bir kısmı ise uzaya geri yansıtılır⁵⁹. Bu enerjinin yaklaşık %71'i Dünya yüzeyi tarafından emilir ve çeşitli süreçlerde kullanılır⁶⁰. Güneş enerjisi, doğal yollarla veya insan eliyle geliştirilen yöntemlerle farklı enerji türlerine dönüştürülebilir.



Şekil 25: Güneş enerjisi, son kullanıcıya elektrik olarak ulaşmadan önce dönüşüm, depolama ve dağıtım süreçlerinden geçer⁵⁹.



Şekil 26: Farklı malzemeler güneş ısısını farklı şekilde emer ve bu da doğadaki sıcaklık değişimlerini etkiler.

a. Doğal Dönüşümler

Güneş enerjisi, doğrudan veya dolaylı olarak çok sayıda doğal sürecin gerçekleşmesini sağlar⁵⁸:

- **Toprak ve Suyun Isınması:** Güneş radyasyonu toprağı ve suyu ısıtarak hava sıcaklığını ve iklim koşullarını etkiler.
- **Fotosentez Süreci:** Bitkiler yiyecek üretmek ve oksijen salmak için güneş ışığını kullanır.
- **Su Döngüsü:** Güneş ısısı suyun buharlaşmasını sağlar, bulut oluşumuna ve yağışa yol açar ve su döngüsünü sürdürür.
- **Rüzgar ve Dalga Oluşumu:** Atmosferdeki sıcaklık farkları rüzgarları oluşturur ve rüzgarlar da dalga hareketlerine katkıda bulunur.
- **Doğal Yangınlar:** Kurak dönemlerde yoğun güneş ışığı orman yangınlarına sebep olabiliyor.

b. Yapay Dönüşümler

İnsanlar çeşitli teknolojiler aracılığıyla güneş enerjisinden doğrudan veya dolaylı olarak yararlanabilirler⁶¹:

- **Güneş Kollektörleri:** Bu cihazlar güneş ışınlarını yakalayıp su veya diğer ısıtma sistemlerini ısıtmak için kullanılırlar.
- **PV Panelleri:** Bu paneller güneş enerjisini doğrudan elektriğe dönüştürüyor.
- **Hidroelektrik Enerjisi:** Güneş enerjisi su döngüsünü çalıştırarak barajlardan elektrik üretimine katkı sağlıyor.
- **Rüzgar Türbinleri:** Güneş'in yarattığı sıcaklık farklarından oluşan rüzgar enerjisinden yararlanılarak elektrik üretiliyor.

- **Biyokütle Enerjisi:** Bitkiler güneş enerjisini depolar ve biyoyakıt üretiminde kullanılır.
- **Güneş Mimarisi:** Bu, binaların güneş enerjisinin en verimli şekilde kullanılmasını sağlayacak şekilde tasarlanmasını gerektirir.

Güneş enerjisinin bu çeşitli dönüşüm süreçleri, doğadaki ekosistem dengesinin korunmasına yardımcı olduğu gibi, insan kullanımı için de sürdürülebilir enerji kaynakları sağlamaktadır.



Şekil 27 : İleri teknolojiler, hem sürdürülebilirliği hem de inovasyonu desteklemek için güneş ve rüzgar enerjisinden yararlanıyor.

6.1.2. Dünya çapında Güneş Enerjisi

Güneş enerjisinden en verimli şekilde yararlanılabilecek bölgeler, Dünya'nın "Güneş Kuşağı" olarak bilinen 35° Kuzey ve 35° Güney enlemleri arasında yer almaktadır⁶². Bu bölge yüksek yıllık güneşlenme süresine sahiptir ve güneş enerjisi potansiyeli 3,5 ila 7 kWh/m² arasında değişmektedir⁶³. Güneş enerjisinden en fazla yararlanabilen ülkeler arasında İspanya, İtalya, Yunanistan, Türkiye, Mısır, İran, Çin, Japonya, ABD ve Avustralya yer alıyor.



Şekil 28: 35°K ile 35°G arasındaki Güneş Kuşağı, küresel güneş enerjisi potansiyelinin en yüksek olduğu bölgedir.

İnsanlık tarihi boyunca güneş enerjisi çeşitli şekillerde kullanılmıştır:

- MÖ 4. yüzyılda, ünlü filozof Sokrates, Güneş'ten daha iyi yararlanmak için evlerin güney cephelerine daha fazla pencere eklenmesi gerektiğini önermiştir.
- 17. yüzyılda, Galileo, mercekleri keşfederek güneş enerjisini odaklama çabalarına öncülük etmiştir.
- 1860 yılında, parabolik aynalar kullanılarak güneş ışınlarının toplanması ve buhar makinelerinde kullanılması üzerine araştırmalar yapılmıştır.
- 1950'lerde, güneş enerjisi sistemleri Amerika Birleşik Devletleri ve Japonya'da yayılmaya başlamış ve ilk fotovoltaiik (güneş pili) paneller Bell Telephone Laboratories tarafından üretilmiştir.
- 1984 yılında, ABD'nin Los Angeles kentinde ilk büyük ölçekli güneş enerjisi santrali kurulmuş ve kapasitesi 354 MW'a ulaşmıştır.
- 1990'larda Kaliforniya'da 10 MW ve Ürdün'de 30 MW kapasiteli güneş kuleleri devreye alındı.
- 2000'lerde güneş hücresi teknolojisinde önemli ilerlemeler kaydedildi ve küresel güneş enerjisi üretimi hızla arttı.

Günümüzde güneş enerjisi küresel enerji dönüşümünde önemli bir rol oynamaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte güneş panellerinin verimliliği artmış ve kurulum maliyetleri düşmüştür. Sonuç olarak birçok ülke güneş enerjisini yoğun bir şekilde kullanmaya başlamıştır⁵⁸.

6.1.3. Ortak Ülkelerde Güneş Enerjisi

6.1.3.1. Türkiye'de Güneş Enerjisi

Türkiye, Güneş Kuşağı içerisinde yer alır ve yılda ortalama 2.640 saat güneş ışığı alır⁶⁴. Yıllık güneş ışınlamı farklı bölgelerde 2,9 ila 4,0 kWh/m² arasında değişmektedir. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası'na (GEPA) göre en yüksek güneş potansiyeline sahip bölgeler Akdeniz Bölgesi ve Van Gölü çevresi iken, en düşük potansiyele sahip bölgeler Karadeniz ve Marmara bölgeleridir. Şubat 2016 itibarıyla Türkiye'de toplam kurulu gücü 313 MW olan 313 güneş enerjisi santrali bulunmaktadır. Bu santrallerin en büyüğü 18 MW kapasiteli Konya Karatay Kızören Güneş Enerjisi Santrali'dir. O dönemde Türkiye'de güneş enerjisinin

kullanımını artırmak için çeşitli teşvik ve destek mekanizmaları mevcuttu. Bakanlık, 2035 yılına kadar yenilenebilir enerji kapasitesinde yıllık 5.000 MW'lık bir artış hedefliyor. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli ve mevcut kurulu gücü, enerji bağımsızlığı ve sürdürülebilirlik hedeflerine önemli katkı sağlamaktadır.

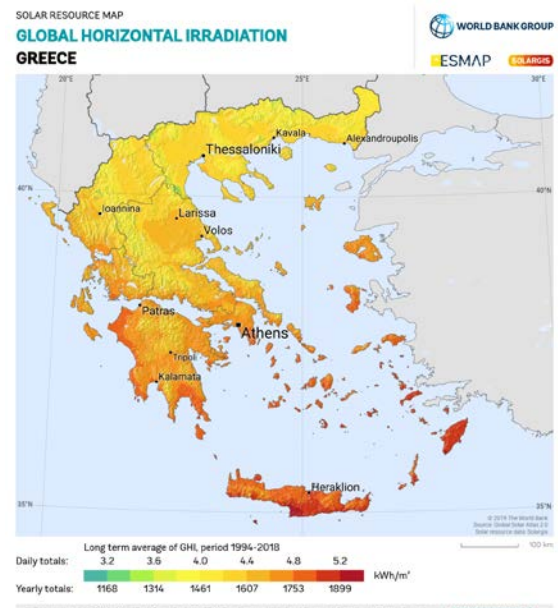


Şekil 29: Türkiye'nin güney ve doğu bölgeleri en yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir.

6.1.3.2. Yunanistan'da Güneş Enerjisi

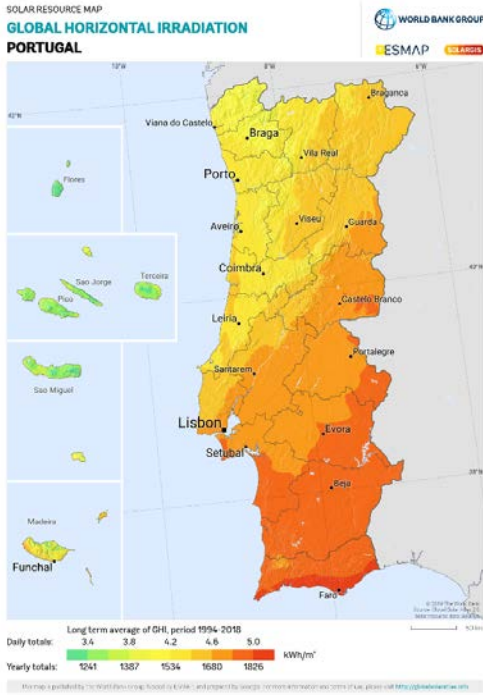
Güneş Kuşağı'ndaki konumundan faydalanan Yunanistan, yıllık ortalama küresel yatay ışınlam seviyeleri 1.500 kWh/m²'yi aşarak yüksek güneş ışınlamı yaşamaktadır. Bu elverişli iklim, ülkenin güneş enerjisi sektöründe önemli bir büyümeye yol açmıştır. 2023 yılında, fotovoltaikler Yunanistan'ın elektriğinin %19'unu üreterek ülkeyi güneş enerjisinden elektrik üretiminde küresel olarak ikinci sıraya yerleştirmiştir⁶⁵. 2024 yılı sonunda, Yunanistan'ın kümülatif kurulu fotovoltaik kapasitesi 2022'deki 5,3 GW'dan önemli bir artışla 9,6 GW'a ulaşmıştır⁶⁶. Bu hızlı genişleme, destekleyici politikalara, elverişli iklim koşullarına ve yenilenebilir enerjiye olan güçlü bağlılığa atfedilmektedir. İleriye bakıldığında, Yunanistan 2030 yılına kadar elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların %82'lik bir paya ulaşmayı hedeflemektedir ve güneş enerjisi bu geçişte önemli bir rol oynamaktadır.

Yunanistan'ın yenilenebilir enerjiye olan bağlılığının dikkate değer bir örneği, Ege Denizi'ndeki küçük bir ada olan Chalki'nin dönüşümüdür. "GR-eco Adaları" ulusal girişiminin bir parçası olarak, Chalki Kasım 2021'de yaklaşık 300 daimi sakinine temiz enerji sağlayan 1 MW'lık bir güneş parkı açtı. Proje, bir güneş parkının inşasını ve belediyenin %50 hisseye sahip olduğu bir enerji topluluğunun kurulmasını içeriyordu. Bu girişim yalnızca enerji özerkliği sağlamakla kalmıyor, aynı zamanda diğer Yunan adalarında sürdürülebilir kalkınma için bir model görevi görüyor. "GR-eco Adaları" girişimi, Yunan hükümetinin yeşil ve dijital dönüşümü teşvik etme konusundaki özverisini yansıtıyor, adaları karbondan arındırmayı ve yenilenebilir enerji ve teknolojik yenilikler yoluyla enerji öz yeterliliğini artırmayı amaçlıyor.



Şekil 30: Yunanistan'ın güçlü güneş ışınlamı, güneş enerjisi üretimindeki liderliğini destekliyor

6.1.3.3. Portekiz'de Güneş Enerjisi



Şekil 31: Güney Portekiz en yüksek güneş ışımasını alır ve bu da onu büyük ölçekli güneş enerjisi projeleri için ideal hale getirir

Bunların 2030 yılı sonuna kadar yürürlüğe girmesi ve kurulu kapasitenin yaklaşık 9 GW'a çıkması bekleniyor. Bu, o zamana kadar fotovoltaik enerjinin ülkede kullanılan ana elektrik üretim teknolojisi haline geleceği anlamına geliyor.

6.1.3.4. Kuzey Makedonya'da Güneş Enerjisi

Balkan Yarımadası'nda bulunan Kuzey Makedonya, önemli güneş enerjisi potansiyeli sağlayan elverişli bir iklime sahiptir. Ülke, yılda 1.500 ila 1.700 kWh/m² arasında güneş radyasyonu alır ve bu da onu güneş enerjisi geliştirme için ideal bir yer haline getirir⁶⁷. Güneş enerjisi potansiyelinin en yüksek olduğu bölgeler, yıl boyunca bol güneş ışığı alan güney ve doğu bölgeleridir.

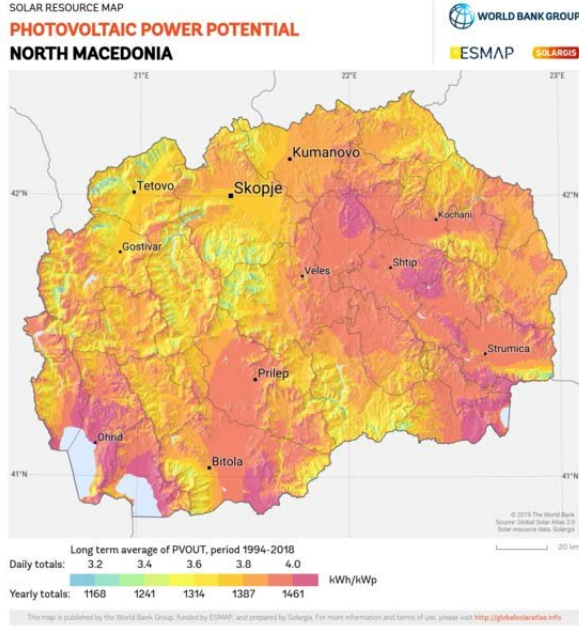
2023 itibarıyla Kuzey Makedonya'nın güneş enerjisi sektörü etkileyici ilerlemeler kaydetti. Ülkenin kurulu güneş enerjisi kapasitesi yaklaşık 200 MW'a ulaştı ve eski bir kömür madeninin bulunduğu yere inşa edilen Oslomej Güneş Parkı gibi önemli projeler, ülkenin yenilenebilir enerji geçişini ilerletmede kritik bir rol oynadı⁷⁰. Bu proje, diğerleriyle birlikte, ülkenin fosil yakıtlara, özellikle kömüre olan bağımlılığını azaltmaya ve enerji karışımındaki yenilenebilir enerji payını artırmaya yardımcı oluyor.

Portekiz'deki toplam yıllık ortalama güneş saati sayısı Kuzey'de minimum 2200'den Güney'de 3000 saatin üzerine kadar değişmekte olup, ülkeyi güneş enerjisinin yaygın bir şekilde kullanılması için uygun hale getirmektedir⁶⁷. Ülkenin güney kısmı, Kuzey'in aksine çoğunlukla düzdür; bu da en büyük fotovoltaik santrallerin çoğunun Ribatejo, Alentejo ve Algarve'de bulunmasını açıklamaktadır⁶⁸. 2023'te açılan en büyük tesislerden biri olan ve Lizbon'un yaklaşık 50 km kuzeyinde bulunan "Central da Cerca", 310 bin çift taraflı panele sahip olup yılda yaklaşık 330 GWh üretecektir. Bu enerji, 100 bin aileye yetecek ve her yıl en az 170 bin ton CO2 emisyonunun önlenmesine yetecektir.

Portekiz resmi Enerji Ajansı'na (DGEG) göre, ülkede kullanılan 20,8 GW yenilenebilir enerjinin 5,9 GW'ı güneş fotovoltaiklerinden geliyor⁶⁹. Bu değer, 2022 sonuna kadar kurulan kapasitenin iki katından fazla. 2023'te şebekeye 1,1 GW yeni güneş enerjisi eklendi. 2026 yılına kadar güneş enerjisi, kurulu kapasite açısından ikinci en önemli kaynak haline gelerek rüzgar enerjisi geçecek.

Portekiz'de birkaç yeni fotovoltaik proje geliştiriliyor.

Kuzey Makedonya hükümeti, 2030'a kadar enerji karışımında yenilenebilir enerjinin %38'lik bir payını hedefleyerek iddialı yenilenebilir enerji hedefleri belirledi ve güneş enerjisi bu geçişte merkezi bir rol oynuyor⁷¹. Hükümet bunu desteklemek için teşvikler sağlıyor ve hem büyük ölçekli yatırımları çekmek hem de konut güneş enerjisi kurulumlarını teşvik etmek için uygun politika çerçeveleri oluşturuyor.



Şekil 32: Güney ve doğu Kuzey Makedonya, güneş enerjisi üretimi için en yüksek potansiyeli sunmaktadır.

Kuzey Makedonya'da güneş enerjisi gelişiminin önemli örnekleri arasında ülkenin önemli güneş enerjisi projelerinden biri olan Üsküp Güneş Parkı ve kırsal alanlardaki daha küçük ölçekli güneş enerjisi kurulumları yer alıyor⁷². Bu girişimler yalnızca enerji öz yeterliliğinin artmasına katkıda bulunmakla kalmıyor, aynı zamanda Kuzey Makedonya'nın daha geniş kapsamlı çevre ve iklim hedefleriyle uyumlu olarak CO₂ emisyonlarının azaltılmasına da yardımcı oluyor.

Kuzey Makedonya, güneş enerjisine yaptığı yatırımlarla Balkanlar'da yenilenebilir enerji sektöründe lider olma yolunda hızla ilerliyor, enerji kaynaklarını daha da çeşitlendiriyor ve sürdürülebilirliği teşvik ediyor.

6.1.4. Güneş Enerjisinin Olumlu ve Olumsuz Etkileri



Avantajları

- Güneş enerjisi yenilenebilir bir kaynaktır, yani doğal rezervleri tüketmeden kullanılabilir. Uzun vadeli enerji ihtiyaçlarını karşılamak için sürdürülebilir bir seçenektir.
- Güneş enerjisi üretimi çok az sera gazı emisyonu üretiyor veya hiç üretmiyor, bu da hava kirliliğini azaltıyor ve iklim değişikliğini hafifletiyor.
- Güneş panelleri kurulduktan sonra bakım ve işletme maliyetleri diğer enerji kaynaklarına göre oldukça düşüktür.
- Güneş enerjisi ithal fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak enerji güvenliğine ve bağımsızlığa katkıda bulunuyor.
- Büyüyen güneş enerjisi endüstrisi, ekonomiye fayda sağlayan üretim, kurulum ve bakım alanlarında iş fırsatları sağlıyor.
- Güneş enerjisi sistemleri, konut çatılarından büyük ölçekli güneş çiftliklerine kadar çeşitli ortamlarda konuşlandırılabilir ve bu da üretimde esneklik sağlar.



Dezavantajları

- Güneş enerjisi üretimi güneş ışığına bağlıdır, yani bulutlu günlerde veya geceleri aralıklı ve güvenilir olamaz, depolama çözümleri veya yedekleme sistemleri gerektirir.
- Uzun vadeli tasarruflara rağmen güneş panelleri satın alma ve kurmanın ön maliyeti yüksek olabilir.
- Büyük ölçekli güneş çiftlikleri, ekosistemleri etkileyebilecek veya tarım arazileriyle rekabet edebilecek önemli arazi alanları gerektirir.
- Güneş enerjisinin güneşli olmayan dönemlerde kullanılmak üzere depolanması, pahalı olabilen ve hala gelişmekte olan gelişmiş pil teknolojisi gerektirir.
- Güneş panellerinin üretimi ve bertarafı, uygun şekilde yönetilmezse nadir toprak elementleri ve geri dönüşüm sorunları gibi çevresel zorluklara yol açabilecek malzemeleri içerir.

Güneş enerjisi sürdürülebilir bir gelecek için büyük bir potansiyele sahip olmakla birlikte, teknolojik gelişmeler ve maliyet düşüşleriyle birlikte daha da yaygınlaşması bekleniyor.

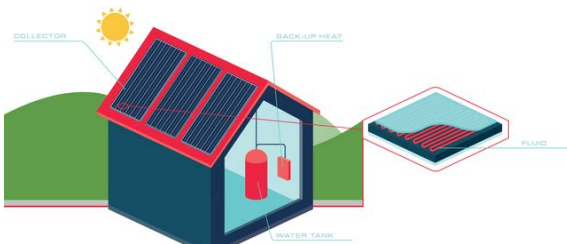
6.1.5. Güneş Enerjisinden Yararlanma Teknolojileri

Güneş enerjisi kullanım teknolojileri iki ana kategoriye ayrılabilir⁵⁸:

- Bu, güneş ışığını yakalayıp onu termal enerjiye dönüştüren teknolojileri içerir, genellikle ısıtma amaçlıdır.
- Bu, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik sistemleri içerir.

Ayrıca son yıllarda, hem ısı hem de elektrik üretimi unsurlarını bir araya getirerek daha verimli enerji üretimi sağlayan Yoğunlaştırılmış Fotovoltaik (CPV) sistemler gibi hibrit uygulamalar geliştirilmektedir.

6.1.5.1. Güneşten Gelen Isı Enerjisi



Şekil 33: Güneş kolektörleri, güneş ışığını konutlarda su ısıtması için ısıya dönüştürür.

Bu yöntem güneş ışığını yakalar ve onu ısı enerjisine dönüştürür. Uygulama alanları şunlardır⁷³:

- **Güneş Kolektörleri:** Evlerde ve sanayide su ısıtmada kullanılır.



Şekil 34: Güneş enerjisi santralleri büyük ölçekte elektrik üretmek için aynalar kullanır.



Şekil 35: Güneş fırınları, özellikle uzak bölgelerde yemek pişirmek için Güneş'in ısısından yararlanır.

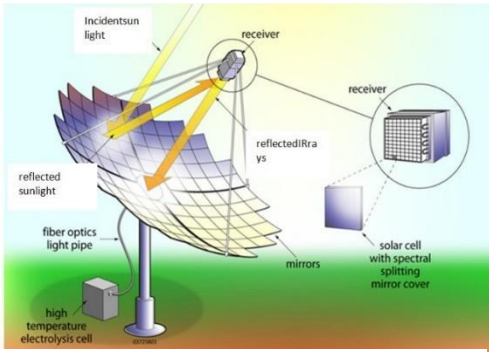
- **Güneş Termik Santralleri:** Aynalar kullanılarak güneş ışığının yoğunlaştırılması ve buhar türbinlerinin çalıştırılmasıyla büyük ölçekli enerji üretimi.

- **Güneş Enerjili Fırın ve Ocaklar:** Kamp ve kırsal alanlarda yemek pişirmede kullanılır.

6.1.5.2. Güneşten Doğrudan Elektrik Üretimi

Bu yöntem güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştürür. En yaygın kullanılan teknolojiler şunlardır:

- **PV Panelleri:** Güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştüren panellerdir. Çatı sistemlerinde, tarım alanlarında ve endüstride kullanılırlar.



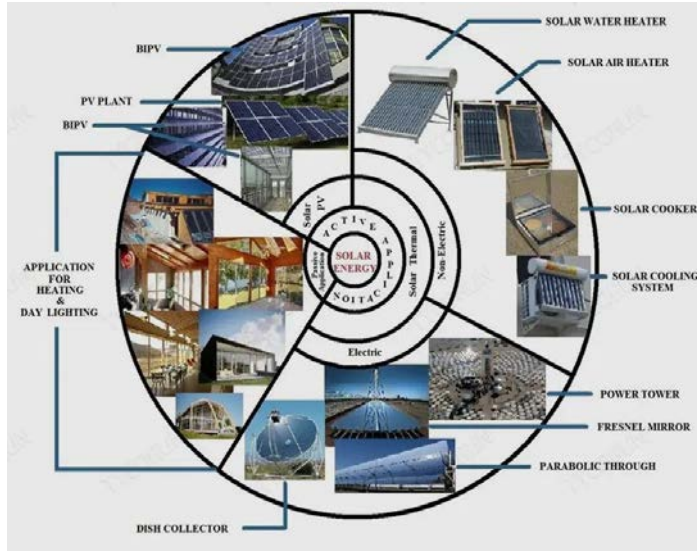
Şekil 37: Yoğunlaştırılmış fotovoltaiik sistemler güneş enerjisi verimliliğini artırmak için aynalar veya mercekler kullanır⁷⁴.



Şekil 36: PV paneller, çatılarda ve açık alanlarda güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştürüyor.

- **Yoğunlaştırılmış Fotovoltaiik (CPV) Sistemleri:** Bu sistemler, mercekler veya aynalar kullanarak güneş ışığını küçük alanlara yoğunlaştırarak daha yüksek verimlilik sağlar⁷⁴.

Malzeme bilimi ve üretim tekniklerindeki gelişmeler sayesinde güneş enerjisi teknolojileri giderek daha verimli ve uygun maliyetli hale geliyor.



6.1.5.3. Güneş ısı enerjisi teknolojileri ve uygulamaları

Güneş enerjisi teknolojileri, sıcak su üretmek, ısıtma sağlamak ve hatta elektrik üretmek için güneş ışığını toplar⁷⁵. En yaygın uygulama, evlerde, endüstride ve tarımda yaygın olarak kullanılan güneş kollektörleri kullanılarak sıcak su üretimidir. Termal dönüşüm sistemleri, kullanılan sıcaklığa göre üç ana gruba ayrılır⁷⁶:

Şekil 38: Güneş enerjisi teknolojileri, su ısıtmadan elektrik üretimine kadar çeşitli uygulamalara hizmet eder⁷⁵.

a. Düşük Sıcaklıklı Termal Uygulamalar ($\leq 100^{\circ}\text{C}$)

Bu uygulamalar düşük sıcaklıklar gerektiren prosesler için kullanılır:

- Düz plakalı güneş kollektörleri kullanılarak sıcak su üretimi (evler, oteller, spor tesisleri)
- Güneş havuzlarıyla ısı üretimi ve depolanması
- Su arıtma ve tuzdan arındırma sistemleri
- Binaların ısıtılması ve soğutulması
- Tarımsal ürünlerin kurutulması (meyve, sebze, tahıl kurutma)
- Sera ısıtma sistemleri
- Güneş fırınlarıyla yemek pişirme

b. Orta Sıcaklıklı Termal Uygulamalar ($100-350^{\circ}\text{C}$)

Bu uygulamalar daha yüksek sıcaklıklar gerektiren prosesler için kullanılır:

- Vakum tüplü güneş kollektörleri kullanılarak sıcak su ve ısı üretimi
- Endüstriyel proses ısıtma sistemleri
- Güneş enerjili soğutma sistemleri (soğutma makineleri, klimalar)

c. Yüksek Sıcaklık Termal Uygulamaları ($\geq 350^{\circ}\text{C}$)

Bu uygulamalar elektrik üretimi ve ağır endüstriyel proseslerde kullanılır:

- **Güneş kuleleri:** Büyük aynalar kullanarak güneş ışığını tek bir noktaya yoğunlaştırıp buhar türbinleri aracılığıyla elektrik üretin.
- **Güneş fırınları:** Metal ve seramik gibi malzemelerin yüksek sıcaklıklarda işlenmesine olanak sağlar.
- **Cevher eritme işlemleri:** Metal üretiminde kullanılır.

Bu teknolojiler sayesinde güneş enerjisinden hem günlük yaşamda hem de sanayide etkin bir şekilde yararlanılabiliyor.

6.1.5.4. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Yöntemleri

Güneş enerjisinden elektrik üretmek için yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi (CSP) sistemleridir. Bu sistemler parabolik, kule ve çanak sistemlerini içerir. Güneş kollektörlerinin kullanımı özellikle ekvatora yakın ülkelerde yaygındır. Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, Fransa, İtalya, Yunanistan ve İsrail gibi ülkeler bu sistemleri aktif olarak kullanmaktadır. Güneşli günlerin sınırlı olduğu İsveç gibi ülkelerde bile sıcak su üretmek için güneş kollektörleri kullanılmaktadır⁵⁸.



Şekil 39: “Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi (CSP) sistemleri, güneş ışığını odaklamak ve elektriği verimli bir şekilde üretmek için aynalar kullanır.



Şekil 40: Güneş fırınları, pişirme ve ısıtma için güneş ışığını odaklamak amacıyla parabolik reflektörler kullanır.

a. Güneş Fırınları

Güneş fırınları, parabolik şekilli yapılar kullanarak güneş ışığını toplayan ve onu ısıya dönüştüren cihazlardır. Bu sistemler genellikle yemek pişirme ve su ısıtma amaçları için kullanılır. Güneş fırınları özellikle Pakistan, Hindistan, Çin ve Kenya gibi ülkelerde popülerdir.

b. Güneş kolektörleri

Güneş kolektörleri, "kollektör" olarak da bilinirler ve yapısal özelliklerine göre üç gruba ayrılan sistemlerdir:

1. **Düz plakalı güneş kollektörleri:** Bunlar, güneş ışığını emen ve ısıya dönüştüren düz bir emici plakadan oluşan en yaygın güneş kollektörü türüdür.
2. **Vakum tüplü (borulu) güneş kollektörleri:** Bu kollektörler, özellikle daha soğuk iklimlerde verimliliği artırarak ısı kaybını en aza indirmek için vakum tüpleri kullanır.
3. **Cam olmayan güneş kollektörleri:** Bu sistemler, kaplama malzemesi olarak cam kullanmaz, bunun yerine güneş enerjisini yakalamak için başka malzemeler kullanır.

Bu kollektörler suyun dolaşımı esas alınarak tasarlanmakta olup, doğal veya pompa destekli dolaşımli olarak üretilebilmekte, açık veya kapalı devre sistemlere sahip olabilmektedir.

1. Düz Toplayıcılar

Düz kollektörler güneş enerjisini toplar ve bunu ısı olarak bir sıvıya aktarır. Sıvı su, hava veya farklı bir sıvı olabilir. Hava kollektörleri sıvı kollektörlerden daha fazla ısı kaybeder. Bu nedenle konut ve ticari binaların ısıtılmasında ve kurutma işlemlerinde kullanılırlar. Sıvı kollektörler büyük binaların ısıtılmasında, endüstriyel ısıtma işlemlerinde ve binaların soğutulmasında tercih edilir.

Düz yüzeyli bir kollektörün yapısı üç bölümden oluşur:

1. Yüksek emme kapasitesine sahip bir emici plakaü
2. Emici plakanın önüne yerleştirilen cam veya plastik kapak
3. Metal, emdirilmiş ahşap veya plastikten yapılmış toplayıcı kasa



Şekil 41: Düz levhalı kollektörler güneş enerjisini emer ve ısıtma için bir sıvıya aktarır.



Şekil 42: Vakum tüplü kollektörler ısı kaybını azaltarak soğuk iklimlerde verimliliği artırır.

2. Vakum Tüplü Kollektörler

Vakum tüplü kollektörler, vakumlu cam tüpler kullanılarak tasarlanmış sistemlerdir. İç içe geçmiş iki tüp yapısına sahiptirler ve tüpler arasındaki hava vakum ortamı yaratmak için çıkarılır. Bu şekilde ısı kayıpları en aza indirilir ve enerji verimliliği artırılır. Tüpler, güneş ışınlarını daha iyi emmek ve ısıya dönüştürmek için özel bir yüzeye kaplanmıştır. Yuvarlak yapıları sayesinde güneş ışınları her zaman yüzeye dik açıyla gelir ve bu da düz kollektörlere kıyasla daha fazla enerji üretimi sağlar.

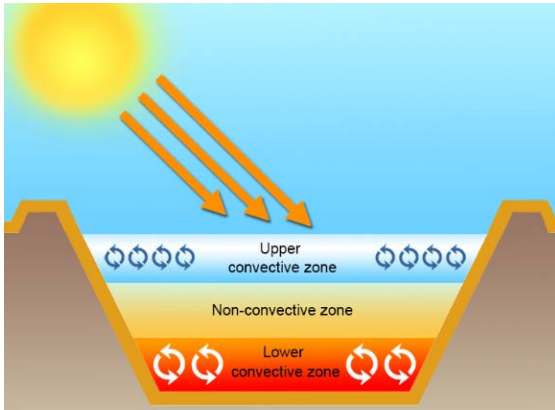
3. Camsız Güneş Kollektörleri

Camsız güneş hava toplayıcıları, üzerinde cam veya benzeri bir örtü bulunmayan metal bir emici yüzeye sahip güneş hava ısıtma sistemleridir. SolarWall olarak da bilinen bu sistemlerin en yaygın kullanılan türü "Hava Sızdıran Güneş Toplayıcısı" uygulamasıdır. Bu toplayıcılar ticari binalarda, endüstride, tarım ve hayvancılık sektörlerinde ve ayrıca dış havayı ısıtmak için endüstriyel proseslerde kullanılır.



Şekil 43: SolarWall gibi camsız kollektörler havayı doğrudan ısıtır ve endüstriyel uygulamalarda kullanılır.

Kış aylarında düşük açılı güneş ışınlarını daha iyi yakalamak ve kar yüzeyinden yansıyan güneş ışınlarından faydalanmak amacıyla genellikle binaların dış duvarlarına monte edilirler.



Şekil 44: Güneş havuzları, güneş ısını tuz tabakalı suda depolar ve sıcaklıkları 90°C'ye kadar ulaşır⁷⁷.

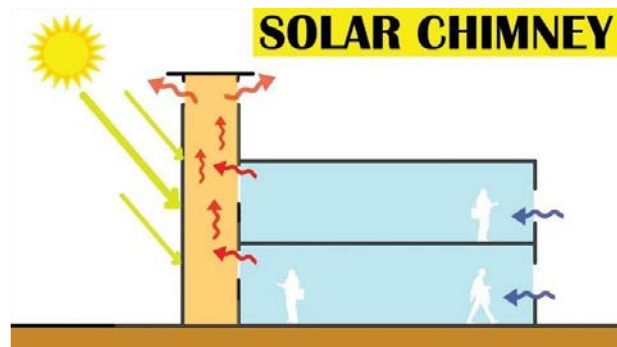
c. Güneş Havuzları

Güneş havuzları, güneş enerjisini ısı olarak toplayan ve depolayan sistemlerdir⁷⁷. Genellikle 5-6 metre derinliğinde olan bu havuzların tabanı güneş ışınlarını daha iyi emebilmesi için siyah renkte yapılır. Güneş havuzlarındaki su sıcaklığı 90°C'ye kadar ulaşabilir. Havuzda farklı tuz oranlarına sahip katmanlar bulunur. Tuz oranının düşük olması nedeniyle üst kısımlarda su daha soğukken, tuz oranının yüksek olması nedeniyle alt kısımlarda su daha sıcak kalır. Alt kısımdaki sıcak su doğrudan ısıtma amaçlı kullanılabileceği gibi elektrik üretimi için de kullanılabilir. Güneş havuzlarının verimi yaklaşık %20'dir. Bu sistemler özellikle İsrail, ABD ve Avustralya gibi

ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin İsrail'de 150 kW ve 5 MW, ABD'de 400 kW ve Avustralya'da 15 kW kapasiteli güneş havuzları bulunmaktadır.

d. Güneş bacası

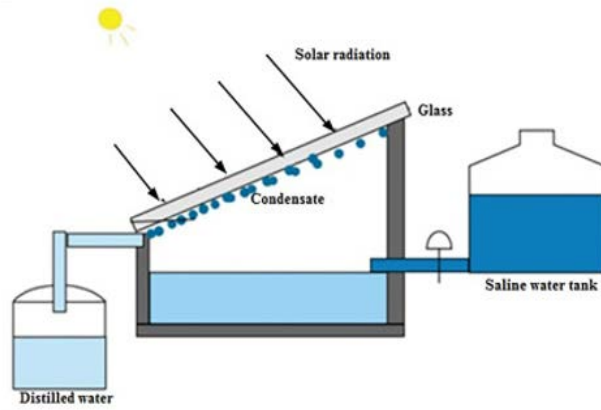
Güneş bacası sistemleri güneş enerjisini kullanarak hava akımları yaratır ve bu hareketi elektrik enerjisine dönüştürür. Şeffaf yüzeylerle kaplı büyük bir yapı güneş ışınlarını emer ve içerideki havayı dışarıdaki sıcaklıktan daha fazla ısıtır. Isınan hava eğimli bir çatıdan yükselir ve bacaya yönlendirilir. Bacaya ulaşan sıcak hava yaklaşık 15 m/s hızla hareket eder ve oraya yerleştirilen rüzgar türbinini döndürerek elektrik üretir.



Şekil 45: Güneş bacaları, türbinleri çalıştırmak ve elektrik üretmek için ısıtılmış havayı kullanır.

e. Güneş Enerjili Su Damıtma Sistemleri

Güneş enerjisinden yararlanarak içme suyu elde etmek çevre dostu ve ekonomik bir yöntemdir. Özellikle güneş ışığının yoğun olduğu kıyı kesimlerinde deniz suyu arıtımı kolay ve verimli bir şekilde yapılabilir. Deniz suyunu içme suyuna dönüştürmek için iki temel yöntem kullanılır. Birinci yöntemde tuz ayırma için buharlaştırma, dondurma, kristallendirme ve filtrasyon uygulanır. İkinci yöntemde elektrodializ, ekstraksiyon, iyon değişimi ve difüzyon teknikleri kullanılır.

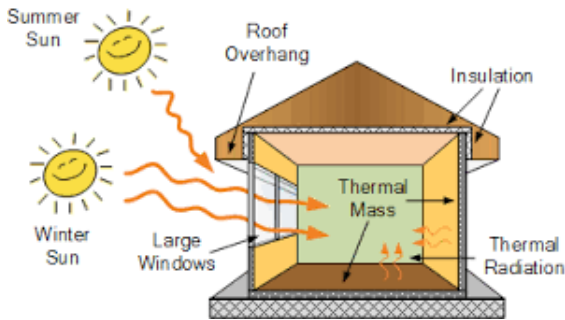


Şekil 46: Güneş damıtma sistemleri, Güneş'in ısısını kullanarak tuzlu suyu arıtır⁷⁸.

En basit su damıtma sistemi sera tipi damıtma sistemidir. Bu sistemde damıtıcının tabanı güneş ışığını daha iyi emecek şekilde siyah renkte tasarlanmıştır. Üst kısmı hava almayacak şekilde düzenlenmiş ve tatlı suyun toplanacağı kanala eğimlidir. Cam yüzeyden geçen güneş ışığı damıtıcıdaki suyu ısıtır ve buharlaşmasına neden olur. Yükselen su buharı cam yüzeyde yoğunlaşarak su damlacıklarına dönüşür ve eğimli yüzeyden aşağı kayarak toplama kabında birikir. Su ne kadar sıcaksa damıtma verimi o kadar yüksek olur. Dış sıcaklık düştüğünde, yoğunlaşma süreci hızlanır ve daha fazla tatlı su üretilir⁷⁸.

6.1.5.5. Konutların Güneşle Pasif Isınması ve Soğutulması

Güneş ışınlarının yıl boyunca açisal değişimi, bina tasarımlarında önemli bir faktördür⁷⁹. Güneş ışınları yazın daha dikey, kışın ise daha yatay olduğundan, bu duruma uygun mimari çözümler geliştirilmiştir. Yazın güneş ışınlarının iç mekana girmesini engelleyen ve kışın maksimum seviyede iç mekana girmesine izin veren yapılar enerji verimliliğini artırır⁸⁰.



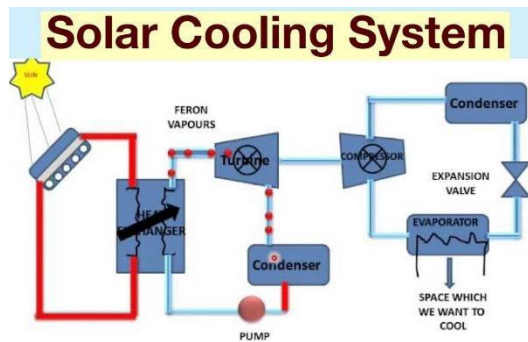
Şekil 47: Pasif güneş tasarımı, kışın güneş ışığını en üst düzeye çıkarır ve yazın gölge sağlayarak enerji verimliliğini artırır⁷⁹.

Kuzey yarımkürede bulunuyorsanız, kış aylarında binaların güney cepheleri güneş ışığından daha fazla yararlanır. Bu nedenle, pencerelerin konumlandırılması ve gölgelendirme sistemlerinin tasarımı büyük önem taşır. Ayrıca, "yalıtım" adı verilen yalıtım yöntemi, kışın ısı kaybını azaltarak evleri sıcak tutar ve yazın serin tutarak soğutma ihtiyacını azaltır. Bu tür pasif tasarım yöntemleri, enerji tüketimini azaltarak hem çevreye hem de bütçeye katkıda bulunur.

a. Güneş Enerjili Sera Isıtması

Seracılıkta sıcaklık kontrolü, sağlıklı bitki gelişimi ve yüksek verim için büyük önem taşır. Fosil yakıtlarla ısıtmanın yüksek maliyeti, alternatif enerji kaynaklarına yönelimi artırmıştır. Son yıllarda sera ısıtmasında güneş enerjisinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Seraların plastik veya cam kaplamaları, maksimum miktarda güneş ışığı alacak şekilde tasarlanmıştır. Gelen güneş ışığı toprak tarafından emilir, ısıya dönüştürülür ve içeride tutulur. Bu şekilde seradaki sıcaklık

Güneş enerjisi çeşitli malzemeleri kurutmak için doğal ve ekonomik bir yöntem olarak kullanılır. Kurutma işlemi, doğrudan güneş ışığı altında tutularak (açık havada kurutma) veya güneş tarafından ısıtılan havanın ürün üzerinden geçirilmesiyle gerçekleştirilir. Kurutma işleminin güneş enerjisiyle ısıtılan havayı hareket ettirerek gerçekleştirildiği sistemlere güneş kurutucuları denir. Bu sistemler gıda ürünlerinden tarımsal malzemelere kadar birçok farklı alanda kullanılabilir. Güneş kurutma yöntemleri, düşük maliyetli olmaları ve ürün kalitesini korurken kurutma sağlamaları nedeniyle tercih edilir.



Güneş enerjisi soğutma sistemleri gıda muhafazası, buz üretimi, binaların soğutulması ve iç mekan iklimlendirmesi gibi alanlarda kullanılır. Soğuk hava depoları, turistik tesisler ve yazlık evler bu sistemlerin yaygın kullanım alanları arasındadır. Güneş enerjisi soğutması farklı yöntemlerle yapılabilir. Bu yöntemler arasında en yaygın kullanılanı absorpsiyonlu soğutma sistemidir. Yüksek verimliliği ve çalışma prensibinin basitliği nedeniyle tercih edilir. Bu sistemde, güneş enerjisiyle ısıtılan çözelti belirli aşamalardan geçirilerek soğutma sağlanır. Güneş enerjisiyle çalışan ısı azaltarak çevre dostu bir alternatif sunar.

Konsantratör sistemleri sayesinde güneş enerjisinden termal yöntemlerle elektrik üretmek mümkündür. Bu sistemler güneş ışınlarını belirli bir nokta veya çizgide yoğunlaştırarak yüksek sıcaklıklara ulaşmayı sağlar. Konsantratör termal sistemler doğrusal veya nokta tipi olabilir ve Rankine çevrimi ile buhar türbinleri ve Stirling veya Brayton çevrimi ile gaz türbinleri kullanılarak elektrik üretilir. Güneşten elde edilen ısı, doğrudan buhar üretimi yoluyla veya sıcak yağ ve erimiş tuz gibi maddeler aracılığıyla güç üretim sistemine aktarılır. Bu sistemlerle 200°C ile 1500°C arasında sıcaklıklara ulaşılabilirdiğinden termodinamik güç çevrimleri kullanılarak elektrik üretmek mümkündür. Günümüzde nükleer ve termik santraller de benzer prensiplere dayandığından CSP sistemlerinin uygulanmasında geniş bir deneyim bulunmaktadır. Ayrıca CSP sistemleri güneş ışığının yetersiz olduğu durumlarda doğal gaz veya katı yakıtlar gibi fosil yakıtlarla da desteklenebilir. CSP sistemlerinin önemli bir avantajı

da güneş enerjisini ısı şeklinde depolayabilmeleridir. Bu özellik, PV (fotovoltaik) sistemlerinden farklı olarak, enerji tedarikini kesintisiz hale getirme olanağı sunar. Bu nedenle CSP sistemlerine "Güneş Termal Santralleri" de denir.

Elektrik üretimi açısından yoğunlaştırıcı sistemler için aşağıdaki sınıflandırma yapılabilir:

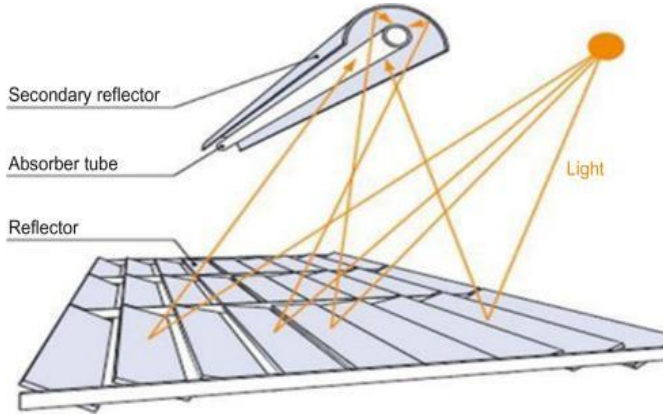
1. Doğrusal Konsantratörler

a. Parabolik Oluk Kollektörleri

Parabolik oluk kollektörleri, güneş ışınlarını bir hat boyunca yoğunlaştırarak yüksek sıcaklıklara ulaşan sistemlerdir. Kollektörlerin iç yüzeyi yansıtıcı bir malzeme ile kaplıdır ve ışınları odak noktasında bulunan bir boruya yönlendirir. Boruda genellikle ısı transfer sıvısı olarak yağ kullanılır. Bu sıvı 350-400°C'ye kadar ısınır ve elektrik santrallerinde elektrik üretimi için kullanılır. Güneş ışınlarını takip eden mobil sistemler sayesinde verimlilik artar.



Şekil 50: Parabolik oluk kollektörleri, elektrik üretimi için yüksek sıcaklıkta ısı üretmek üzere güneş ışığını merkezi bir tüpe odaklar.



Şekil 51: Fresnel aynalı yoğunlaştırıcılar, termal güç üretimi için güneş ışığını bir emici tüpe yönlendirmek amacıyla düz, ayarlanabilir aynalar kullanır⁸¹.

b. Fresnel Ayna Kondansatörleri

Fresnel aynalı yoğunlaştırıcılar, yüksek sıcaklıklara ulaşmak için doğrusal güneş radyasyonunu yoğunlaştıran bir sistemdir⁸¹. Parabolik oluk kollektörlerine benzer şekilde çalışırlar, ancak daha düz bir yüzeye sahip birçok küçük, hareketli ayna kullanırlar. Bu aynalar güneşi tek bir eksenle takip eder ve ışınları tepedeki kollektöre yönlendirir. Düşük üretim maliyetleri nedeniyle ekonomik bir alternatif olarak görülürler. Nevada Solar One, California SEGS Tesisi ve İspanya'daki çeşitli tesislerde kullanılırlar.

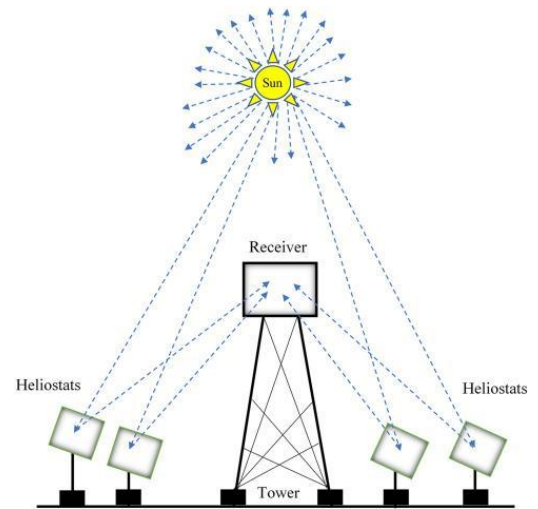
2. Nokta Konsantratörler



Şekil 52: Fresnel aynalı yoğunlaştırıcılar, termal güç üretimi için güneş ışığını bir emici tüpe yönlendirmek amacıyla düz, ayarlanabilir aynalar kullanır.

b. Merkezi Alıcı Sistemleri

Merkezi alıcı sistemleri kule tipi bir yapıya sahiptir. Sistem kuleye yönlendirilmiş büyük aynalara (heliostatlar) dayanmaktadır⁸². Bu bilgisayar kontrollü aynalar, güneş ışınlarını kulenin tepesindeki alıcıya sürekli olarak yansıtır. Alıcıdaki erimiş tuz gibi ısı transfer sıvıları 350-600°C'lik sıcaklıklara ulaşır. Bu ısı enerjisi, buhar türbinlerinin yardımıyla elektrik üretmek için kullanılır.

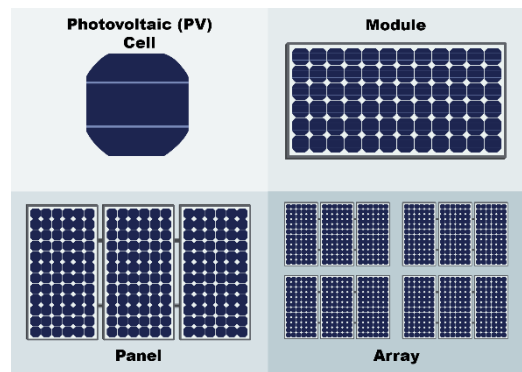


Şekil 53: Parabolik çanak sistemleri güneşi takip eder ve ışınlarını odaklayarak güç üretimi için yüksek sıcaklıkta ısı üretir⁸².

6.1.5.7. Güneş ışınlarından doğrudan elektrik üreten sistemler ve uygulamalar

a. PV hücreleri ve panelleri

Doğrudan güneş enerjisinden elektrik üreten sistemlere **PV sistemleri** denir⁸³. Bu sistemlerin temel yapı taşları PV hücreleridir. Güneş ışığı PV hücrelerinin yüzeyine çarptığında elektrik akımı üretilir. Ancak tek bir hücre çok düşük miktarda doğru akım (DC) üretebilir. Daha yüksek elektrik üretimi için bu hücreler PV panelleri oluşturmak üzere seri veya paralel bağlanır⁸⁴.



Şekil 54: PV sistemleri, elektrik üretmek üzere modüller, paneller ve diziler halinde birleştirilen PV hücrelerinden oluşur⁸³.

Fotovoltaik sistemlerin en önemli avantajları şunlardır:

- Dayanıklılırlar ve mekanik hareketli parçaları olmadığından az bakım gerektirirler.
- Sessiz çalışırlar ve çevreye zararlı gazlar yaymazlar.
- Uzun bir hizmet ömrüne sahiptirler.
- Küçük mikrowatt seviyelerinden megawatt seviyelerine kadar farklı güçlerde tasarlanabilir.

Ancak yüksek verimli bir sistem kurmak için geniş bir alana ihtiyaç vardır. Uluslararası Enerji Ajansı Fotovoltaik Güç Sistemleri Programı (IEA-PVPS), fotovoltaik sistemleri dört ana gruba ayırmıştır:



b. Eysel PV Sistemleri

Eysel PV sistemleri, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürerek evlerin enerji ihtiyacını karşılayan sistemlerdir. Güneş panelleri tarafından üretilen fazla elektrik şehir şebekesine aktarılabilir ve ihtiyaç duyulduğunda şebekeden enerji alınabilir⁸⁵.



Şekil 55: Eysel PV sistemleri güneş ışığını elektrığe dönüştürerek evlere güç sağlar ve fazla enerjiyi şebekeye aktarır.

Özellikler:

- Enerji depolamaya gerek yoktur, çünkü fazla enerji doğrudan şebekeye gönderilir.
- Panellerin ürettiği DC elektrik, invertörler tarafından AC'ye dönüştürülür ve evde kullanılabilir hale gelir.
- Güç kapasitesi 1 kW ile 50 kW arasında değişebilir.
- Çift sayaç kullanılır: Biri şebekeden çekilen elektriği, diğeri şebekeye verilen elektriği ölçer.
- Elektronik kontrol cihazları olası bir arıza durumunda sistemi kapatarak güvenlik sağlar.

Evsel PV sistemlerinin bileşenleri:

- **Güneş panelleri:** İhtiyaca göre enerji üretimini sağlar.
- **İnverter:** DC elektriğini evde kullanılan AC elektriğe dönüştürür.
- **Elektronik kontrol cihazları:** Sistem güvenliğini sağlar ve arıza durumunda sistemi durdurur.
- **Sayaçlar:** Enerji üretimini ve tüketimini izler.

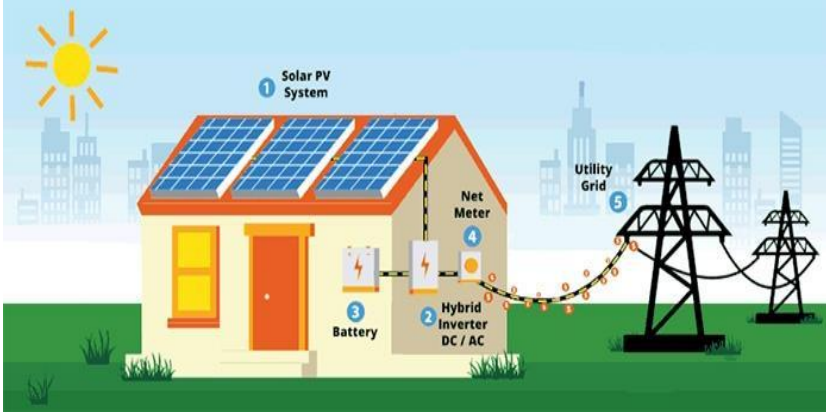
Evsel PV sistemleri **çevre dostu** ve ekonomik bir enerji kaynağı sunarak fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltıyor ve sürdürülebilir enerji kullanımını teşvik ediyor.

c. Şebekeden Bağımsız PV Sistemleri

Şebeke dışı PV sistemleri, elektrik şebekesine erişimin zor veya imkansız olduğu bölgelerde enerji ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılır. Bu sistemler güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür ve depolama çözümleriyle günün her saatinde enerji sağlamayı mümkün kılar. Üretilen elektrik, güneş ışığı yetersiz olduğunda kullanılmak üzere pillerde depolanır⁸⁶.

Bağımsız PV sistemlerinin kullanım alanları oldukça geniştir:

- İç ve dış aydınlatma
- Kırsal radyo, telefon ve telsiz sistemleri
- İletişim istasyonları
- Petrol boru hatlarının korunması
- Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde telemetrik ölçümler
- Meteoroloji gözlem istasyonları
- Tarımsal sulama sistemleri
- Orman gözetleme kuleleri
- İlaç ve aşı soğutma sistemleri
- Deprem ve hava durumu gözlem istasyonları
- Fenerler
- Elektrik şebekesinden uzak bölgelerdeki cihazların çalıştırılması
- İlk yardım, alarm ve güvenlik sistemleri
- Trafik uyarı sistemleri
- Askeri sistemler
- Elektrikli araçlar
- Uzay çalışmaları



Şekil 56 :Hibrit PV sistemleri, sürekli ve güvenilir güç kaynağı sağlamak için güneş panellerini pillerle ve şebekeyle birleştirir.

d. Hibrit Bağlantılı Sistemler

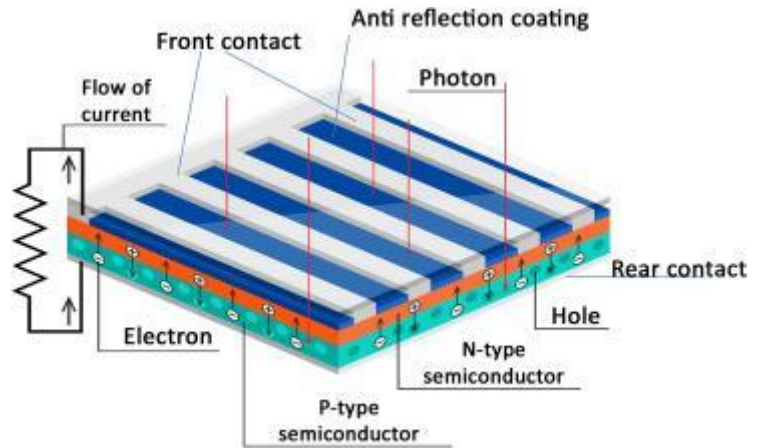
Hibrit PV sistemlerinde, hibrit bağlantılı sistemler olarak da adlandırılan, panellere ek olarak elektrik üreten başka sistemler de vardır. Birincil elektrik üreticisi panellerdir. Ayrıca, sisteme ikincil enerji sağlayan bir rüzgar türbini veya dizel jeneratörü gibi yenilenebilir enerji üreten bir sistem olabilir.

e. Fotovoltaik Hücreler ve Paneller

Fotovoltaik hücreler, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken malzemelerden yapılmış güneş hücreleridir. Kare, dikdörtgen veya dairesel olabilirler. Işık güneş hücrelerine düştüğünde, uçlarında bir elektrik voltajı üretilir. Hücrelerin verimliliği, yapılarına bağlı olarak %5 ile %32 arasında değişebilir. Daha yüksek güç elde etmek için hücreler seri veya paralel bağlanarak güneş panelleri (güneş modülleri) oluştururlar. Bu panellerin ürettiği enerji birkaç watt'tan megawatt'a kadar değişebilir. Güneş hücreleri, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürdükleri ve ek bir elektronik devreye ihtiyaç duymadan çalışabildikleri için uzun ömürlüdürler⁸⁷.

f. PV Hücrelerinde Kullanılan Malzemeler

PV hücreleri elektrik üretmek için özel malzemelerden yapılır. En yaygın kullanılan malzeme kristalin silikondur^{88,89}. Kristal silisyum hücreleri iki gruba ayrılır: tek kristal silisyum ve çok kristal silisyum. Bu malzemeler güneş ışığını elektriğe dönüştürürken %14 ile %19 arasında bir verimlilik sağlar. Ayrıca amorf silisyum (a-Si), kadmiyum tellür (CdTe) ve bakır indiyum selenid (CIS) gibi malzemeler de kullanılır. Amorf silisyum ince film teknolojisinde kullanılır ve verimliliği %4 ile %8 arasındadır. Kadmiyum tellür diğer



Şekil 57: PV hücreleri, fotonların elektron-delik çiftleri oluşturarak akım ürettiği yarı iletken katmanları kullanarak güneş ışığını elektriğe dönüştürür⁸⁹.

ince film hücrelerinden daha ucuz ve daha verimlidir. CIS ince film teknolojileri arasında en yüksek verimliliği sağlar. Yeni nesil PV hücreleri arasında konsantratör PV hücreleri ve organik

PV hücreleri bulunur. Konsantratör PV hücrelerinde güneş ışığı mercekler veya aynalarla toplanarak daha güçlü hale getirilir. Organik PV hücreleri plastik veya polimer gibi esnek malzemelerden üretilir. PV hücreleri çalışmaları için n tipi ve p tipi adı verilen iki farklı katmana sahiptir. Bu katmanlar elektrik yüklerinin hareket etmesini sağlar. Güneş ışığı bu hücrenin üzerine düştüğünde hücrenin içinde bir elektrik akımı oluşur ve böylece enerji üretilir.

6.2. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisi güneşten gelen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Güneş ışınları dünyayı ısıtırken, her bölgeye aynı miktarda ısı sağlayamaz⁹⁰. Hava ısındığında yükselir ve yerini daha soğuk hava alır. Bu hareket atmosferde basınç farkları yaratarak rüzgarı oluşturur. Rüzgar, yüksek basınçlı hava kütlelerinden düşük basınçlı hava kütlelerine doğru hareket eden hava akımıdır. Güneşten dünyaya bir saat içinde çok büyük miktarda enerji ulaşır ve bunun küçük bir kısmı rüzgara dönüşür. Rüzgar enerjisi aslında güneşin kinetik enerjiye dönüşen enerjisidir. Rüzgar enerjisi, doğal olarak oluşan sürekli ve tükenmez bir enerji kaynağıdır. Ayrıca fosil yakıtlar gibi zararlı gazlar yaymaz ve çevre dostudur.



Şekil 58: Rüzgar türbinleri, başlangıçta Güneş'in Dünya'yı ısıtmasıyla oluşan hareket eden havanın kinetik enerjisini temiz ve yenilenebilir elektrığe dönüştürür.

6.2.1. Dünyada Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisini kullanan en eski makine yel değirmenidir. Yaklaşık 3000 yıl önce İskenderiye'de kullanıldığı düşünülmektedir. Türklerin 640 yılında yel değirmenlerini kurduğu ve Haçlı Seferleri ile Avrupa'ya yayıldığı bilinmektedir. Yazılı belgelere göre yel değirmenleri MS 644 yılında Afganistan ve İran arasında kullanılmıştır. Yel değirmenleri Çin'de 750-850 yılları arasında pirinç tarlalarını sulamak için kullanılmıştır. Doğu'da kullanılan yel değirmenleri dikey eksenli iken Batı'da yatay hale getirilerek geliştirilmiştir. İlk yatay eksenli yel değirmeni 1180 yılında Normandiya Krallığı'nda kullanılmıştır⁹¹. Rüzgar enerjisini kullanan makineler 18. yüzyılın başlarında Hollanda'da ve 19. yüzyılın sonlarında Almanya'da geliştirildi. 1850'de çok kanatlı ve rüzgar kılavuzlu Amerikan rüzgar değirmenleri kullanılmaya başlandı. Rüzgar enerjisinin elektrik üretimi açısından kullanımı, 1882'de New York'ta ilk enerji santralinin kurulmasından sonra gelişti.



Şekil 59: Rüzgar enerjisiyle çalışan ilk makineler olan yel değirmenleri, Asya'daki eski dikey eksenli tasarımlardan Avrupa'daki yatay eksenli türbinlere doğru evrimleşmiş ve sonunda dünya çapında elektrik üretimi için kullanılan modern rüzgar enerjisinin ortaya çıkmasına yol açmıştır.

Rüzgar enerjisi ilk olarak 1891 yılında Danimarka'da elektrik üretmek için kullanıldı. 1910'larda elektrik kullanımı büyük şehirlerde yaygınlaştı ancak o dönemde petrol bazlı yakıtların ekonomik olması nedeniyle rüzgar enerjisi arka planda kaldı. Rüzgar enerjisi 1990'larda hızla gelişmeye başladı ve Amerika ve Avrupa'da yaygınlaştı. Uzun yıllar boyunca Almanya dünyanın en büyük kurulu rüzgar enerjisi kapasitesine sahip ülkesiydi ancak 2008'de ABD Almanya'yı geçti. 2010 yılında Çin büyük bir atılım yaparak ilk sıraya yerleşti. Çin'i ABD, Almanya, Hindistan, İspanya, İngiltere, Fransa, Kanada ve Danimarka takip ediyor.

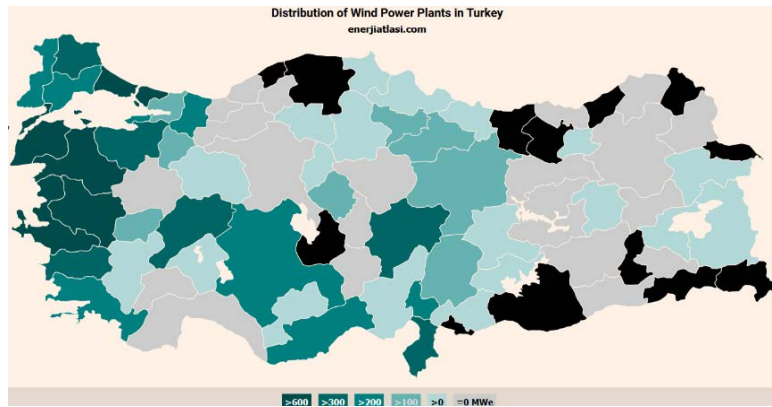
6.2.2. Ortak Ülkelerde Rüzgar Enerjisi

6.2.2.1. Türkiye'de Rüzgar Enerjisi

Türkiye, rüzgar enerjisi kapasitesi bakımından dünyada ilk sıralarda yer almasa da potansiyel bakımından önde gelen ülkelerden biridir. Özellikle Avrupa'da rüzgar enerjisi potansiyeli bakımından ilk sıralarda yer almaktadır. Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyeli, yerden 50 metre yükseklikte rüzgar hızının 7,5 m/s'yi aştığı bölgeler dikkate alınarak 48.000 MW olarak hesaplanmıştır. Türkiye'de rüzgar enerjisi konusundaki ilk çalışmalar akademik araştırmalarla başlamıştır. 1960 yılında Ankara Üniversitesi, 1970 yılında ODTÜ ve Ege Üniversitesi, 1980 yılında ise TÜBİTAK-MAM bu alanda çalışmalar yürütmüştür. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na bağlı Elektrik İşleri Araştırma İdaresi (EİE) rüzgar enerjisi konusundaki çalışmalarına 1981 yılında başlamış ve 1989 yılında bu alanda şube müdürlüğü kurulmuştur. Türkiye Rüzgar Atlası Projesi kapsamında çeşitli bölgelerde gözlem istasyonları kurularak Türkiye'nin rüzgar haritası çıkarılmıştır.

Türkiye'de rüzgar enerjisi potansiyelinin en yüksek olduğu bölgeler şu şekilde:

1. Marmara Bölgesi
2. Ege Bölgesi
3. Batı Karadeniz Bölgesi
4. Orta Anadolu Bölgesi
5. Güneydoğu Anadolu Bölgesi
6. Doğu Anadolu Bölgesi



Şekil 60: Türkiye genelindeki rüzgar santrallerinin kurulu güce (MW) göre dağılımını gösteren harita.

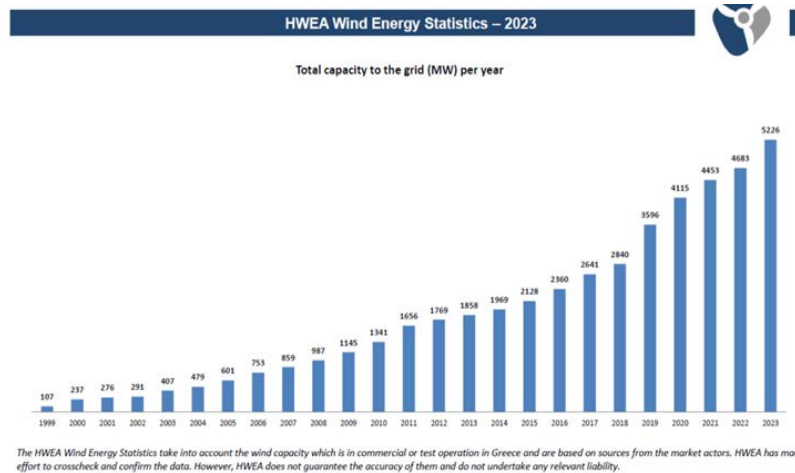
Türkiye'de rüzgar enerjisi alanında önemli bir adım, 1998 yılında İzmir'in Çeşme ilçesine bağlı Germiyan köyünde ilk rüzgar santralini kurulmasıdır. Her biri 500 kW kapasiteli üç türbinden oluşan bu santralin toplam gücü 1,5 MW'tır. 2000'li yıllardan itibaren çok sayıda rüzgar santrali işletmeye alınmıştır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2023 hedefleri doğrultusunda rüzgar enerjisinde kurulu gücün 20.000 MW'a, güneş enerjisinde kurulu gücün 5.000 MW'a, jeotermal enerjide kurulu gücün ise 1.000 MW'a çıkarılması planlanmaktadır. Bu hedefler, rüzgar enerjisinin Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları arasında en gelişmiş alanlardan biri olduğunu göstermektedir. Bu hedeflere ulaşmak için yapılan çalışmalar arasında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile TÜBİTAK Uzay ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün ortaklaşa yürüttüğü Rüzgar Enerjisi İzleme ve Tahmin Merkezi projesi yer almaktadır. Bu proje kapsamında geliştirilen sistemin daha geniş bir alanda uygulanması planlanmaktadır.



Şekil 61: Rüzgar türbinleri kinetik rüzgar enerjisinden elektrik üreterek temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı sunmaktadır.

6.2.2.2. Yunanistan'da Rüzgar Enerjisi

Yunanistan, rüzgar enerjisinden yararlanma konusunda önemli ilerlemeler kaydetti; kurulu rüzgar enerjisi kapasitesi 2010 yılında 1.000 MW iken 2023 yılı sonunda 5.226 MW'a ulaştı. Bu büyüme, ülkenin yenilenebilir enerji kaynaklarını genişletme konusundaki kararlılığını yansıtıyor. En yüksek rüzgar enerjisi potansiyeline sahip bölgeler arasında Orta Yunanistan, özellikle 2012 yılı sonunda 548 MW kurulu kapasiteye sahip olan ve o dönemde ülkenin toplam rüzgar gücünün %31,3'ünü oluşturan Evia prefektörlüğü yer almaktadır. Ek olarak, Ege adaları ve Kuzey Yunanistan'ın bazı bölgeleri önemli rüzgar kaynaklarına sahip alanlar olarak belirlenmiştir⁹².

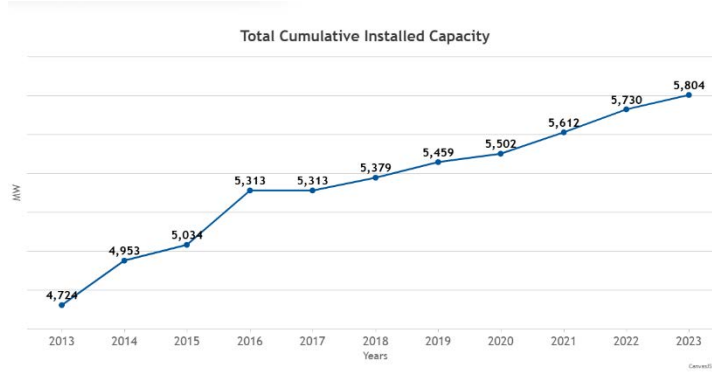


Şekil 62: Grafikte Yunanistan'ın 1999'dan 2023'e kadar olan yıllık rüzgar enerjisi kapasite artışı gösterilmektedir ve toplam 5.226 MW'a ulaşmıştır⁹².

Yunanistan, geleceğe bakıldığında, 2024'ten 2030'a kadar yıllık yaklaşık 400 MW'lık karasal rüzgar kapasitesi eklemelerini gösteren projeksiyonlarla rüzgar enerjisi kapasitesini daha da artırmayı hedefliyor. Bu planlanan genişleme, ülkenin enerji karışımında yenilenebilir enerji payını artırmaya yönelik daha geniş stratejisiyle uyumlu olup enerji güvenliğine ve çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunuyor⁹³.

Ayrıca Yunanistan, yenilenebilir enerjiyi teşvik etmek için bölgesel işbirliklerine aktif olarak katılıyor. 2023'te Yunanistan genelinde toplam 153 rüzgar türbini kuruldu. Bu, bir önceki yıl kurulan sayıdan 85 türbin daha fazlaydı. Eylül 2024'te Yunanistan, diğer sekiz Güney Avrupa Birliği üye ülkesiyle birlikte, açık deniz rüzgarı ve güneş enerjisi projelerine odaklanarak Akdeniz bölgesini yenilenebilir bir enerji merkezine dönüştürme sözü verdi. Bu girişim, Yunanistan'ın coğrafi avantajlarından sürdürülebilir enerji gelişimi için yararlanma konusundaki kararlılığını vurguluyor.

6.2.2.3. Portekiz'de Rüzgar Enerjisi



Şekil 63: Portekiz'in rüzgar enerjisi kapasitesi istikrarlı bir şekilde artarak 2023 yılına kadar 5,8 GW'a ulaştı ve 2030 yılına kadar daha fazla büyüme bekleniyor.

(PNEC) son versiyonuna göre, 2030 yılına kadar karada 4,1 GW'tan fazla kapasite ve açık deniz yapılarında 2 GW'tan fazla kapasite olması gerekiyor. Portekiz Atlantik Kıyısı açık deniz yapıları için büyük bir potansiyele sahip ve orta vadede 10 GW'a kadar kurulum planlarına yol açıyor.

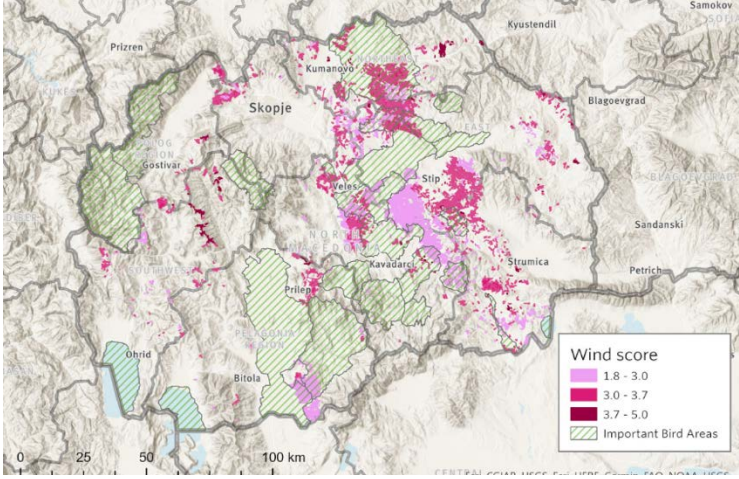
Rüzgar enerjisi, 2000'den 2015'e kadar Portekiz'de istisnai bir büyüme gösterdi ve 5 GW'ın üzerinde kurulu kapasiteye ulaştı. 2015'ten itibaren rüzgar çiftliklerine yapılan yatırım yavaşladı. 2023'ün sonunda, toplam kurulu kapasite 5,9 GW'a ulaştı ve çoğunlukla kara tesislerindeydi. 8,2 GW kurulu kapasiteyle hidroelektrik enerjisinin hemen altında ikinci elektrik üretim kaynağıydı. Nisan 2024'te 267 rüzgar çiftliği ve 2908 rüzgar türbini yürürlükteydi.

Ulusal Enerji ve İklim Programı'nın

Merak konusu olarak, WindFloat Atlantic projesi, faaliyete geçen dünyanın ilk yarı dalgıç yüzer açık deniz rüzgar çiftliğiydi. 2011 ile 2016 yılları arasında Póvoa de Varzim (Portekiz'in kuzeyi) yakınlarında başarıyla işletilen 2 MW WindFloat1 prototipine dayanmaktadır. 2024 yılında, rüzgar enerjisi Portekiz'de üretilen tüm elektriğin yaklaşık %40'ını temsil ediyordu⁹⁴.

6.2.2.4. Kuzey Makedonya'da Rüzgar Enerjisi

Sürdürülebilir bir enerji geçişi için çabalayan bir ülke olan Kuzey Makedonya, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltma konusundaki daha geniş taahhüdünün bir parçası olarak rüzgar enerjisi sektörünü aktif olarak geliştiriyor. Tarihsel olarak kömüre bağımlı olsa da hükümet, yenilenebilir enerji payını 2030 yılına kadar %50'ye çıkarmak ve 2035 yılına kadar kömürü aşamalı olarak ortadan kaldırmak için iddialı hedefler koydu. Bu çabalar arasında rüzgar enerjisi, ülkenin yenilenebilir enerji stratejisinin önemli bir ayağı olarak ortaya çıkıyor⁹⁵.



Şekil 64: Kuzey Makedonya'nın rüzgar skoru haritası, ülkenin temiz enerji geçişini destekleyen güçlü rüzgar enerjisi potansiyeline sahip bölgeleri vurgulamaktadır⁹⁵.

Ülkenin ilk ve en önemli rüzgar enerjisi projesi olan Bogdanci Rüzgar Santrali, büyük ölçekli rüzgar enerjisi kullanımının başlangıcını işaret etti⁹⁶. Kuzey Makedonya'nın güneydoğusunda bulunan Bogdanci, 100 metre yükseklikte saniyede ortalama 7 metrelik tutarlı rüzgar hızları nedeniyle seçildi. Proje, devlete ait enerji şirketi Elektrani na Severna Makedonija (ESM) tarafından başlatıldı ve Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası'ndan (EBRD) sağlanan finansmanla desteklendi.

Bogdanci Rüzgar Çiftliği – Önemli Bir Proje

Bogdanci Rüzgar Çiftliği'nin ilk aşaması 2014 yılında faaliyete geçti ve toplam kurulu gücü 36,8 MW olan 16 türbinden oluşuyor. Çiftlik yılda yaklaşık 100 GWh elektrik üretiyor ve 16.000'den fazla haneye elektrik sağlıyor. Projenin başarısını takdir ederek, ek 14 MW ekleyerek toplam kapasiteyi 50 MW'a çıkarmayı amaçlayan ikinci bir aşama planlandı.,

Bogdanci'nin başarısı, ülkemizde rüzgar enerjisinin uygulanabilirliğini ortaya koydu ve daha fazla yatırım ve yeni projelerin önünü açtı.

Bu ivmeyi temel alarak Kuzey Makedonya, önümüzdeki yıllarda kapasiteyi önemli ölçüde artıracak birkaç yeni rüzgar enerjisi projesi başlattı. Vurgulanmaya değer en önemli proje, Alcazar Energy'nin 400 MW Rüzgar Çiftliği - Balkanlar'ın En Büyüğü (Planlanmış, Ulusal Düzey)

Kapasite: 400 MW

Yatırım: 500 milyon doların üzerinde

Geliştirici: Büyük bir yenilenebilir enerji şirketi olan Alcazar Energy

Beklenen Başlangıç: 2025

Etki: Ülkenin rüzgar enerjisi kapasitesini iki katından fazla artırarak Kuzey Makedonya'yı rüzgar enerjisinde bölgesel bir lidere dönüştürüyor

Bu devasa 400 MW rüzgar projesi, Kuzey Makedonya'nın enerji bağımsızlığı ve karbon nötrlüğü konusundaki uzun vadeli hedefiyle uyumlu olarak Batı Balkanlar'daki en büyük rüzgar enerjisi gelişimi olacak.

Kuzey Makedonya'nın çeşitli topografyası ve coğrafi konumu, birkaç önemli bölgede rüzgar enerjisi için ideal koşullar yaratıyor:

- Güneydoğu Bölgesi – Bogdanci, Gevgelija, Valandovo'da güçlü rüzgar akımları
- Kuzeydoğu Bölgesi – Kriva Palanka ve Kumanovo'da umut vadeden rüzgar hızları
- Pelagonia Bölgesi – Bitola ve Prilep yakınlarında yüksek rüzgar enerjisi potansiyeli

Bu bölgelerdeki rüzgar hızları 5,5 ile 8,5 m/s arasında değişmekte olup, sürekli enerji üretimi için optimum koşullar sağlamaktadır.

6.2.3. Rüzgar Enerjisinin Olumlu ve Olumsuz Etkileri

Rüzgar enerjisi kullanımının hem olumlu hem de olumsuz etkileri tartışılmaktadır. Rüzgar türbinleri bazı çevresel hasarlara sahip olsa da, genel olarak çevre için yararlı ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir⁹⁷.

Avantajları



- Yenilenebilir ve temizdir. Rüzgar doğal ve sürekli oluşan bir enerji kaynağıdır. Türbinler çalışırken herhangi bir gaz yaymaz, çevreyi kirletmez ve küresel ısınmayı artıran sera gazlarının yayılmasını önler.
- Hammadde gerektirmez. Rüzgar atmosferde serbestçe bulunur ve dışa bağımlılık yaratmaz.
- Maliyet avantajı sağlar. Kurulum maliyeti yüksek olsa da işletme ve bakım maliyetleri düşük olduğu için uzun vadede ekonomik bir çözümdür. Günümüzde diğer enerji kaynaklarıyla rekabet edebilir hale gelmiştir.
- Az yer kaplar. Rüzgar türbinleri geniş alanlara ihtiyaç duymaz. Ayrıca türbinlerin kurulduğu araziler tarım ve hayvancılık faaliyetleri için kullanılabilir.
- Kurulum süresi kısadır. Rüzgar santralleri geleneksel santrallere göre daha kısa sürede devreye alınabilir.
- Farklı ölçeklerde uygulanabilir. Küçük, bağımsız türbinlerden büyük rüzgar çiftliklerine kadar farklı boyutlarda sistemler kurulabilir.

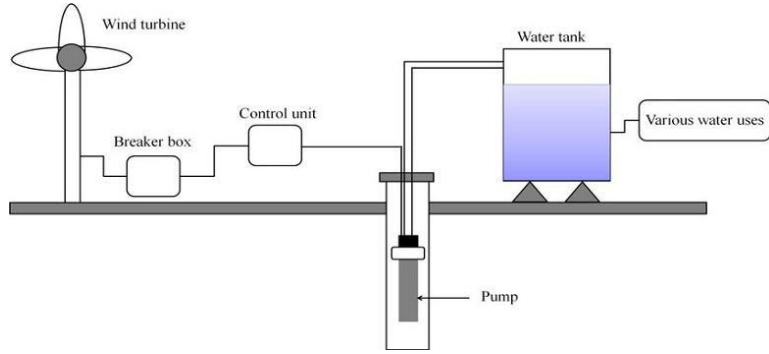
Dezavantajları



- İlk yatırım maliyeti yüksektir. Türbinlerin üretimi, taşınması ve kurulumu için yüksek maliyetler gerektirir.
- Enerji üretimi düzensizdir. Rüzgar hızı sabit olmadığından üretilen enerji miktarı değişir. Yüksek talep zamanlarında yetersiz rüzgar veya tam tersine aşırı enerji üretimi sorunlara yol açabilir.
- Gürültü kirliliğine neden olabilir. Türbinlerin çalışırken çıkardıkları sesler, özellikle yerleşim alanlarına yakın bölgelerde rahatsız edici olabilir.
- Kuşlar ve diğer canlılar için tehlikeli olabilir. Türbin kanatları göçmen kuşlar ve bazı vahşi hayvanlar için risk oluşturabilir.
- Elektromanyetik girişim yaratabilir. Türbinler bazı radar sistemlerini etkileyebilir ve radyo ve televizyon sinyallerini etkileyebilir.
- Elektrik iletim hatlarında sorunlar meydana gelebilir. Rüzgar santralleri genellikle rüzgarın güçlü ancak elektrik iletim hatlarının zayıf olduğu bölgelere kurulur. Bu, üretilen enerjinin taşınmasını zorlaştırabilir.

6.2.4. Rüzgar Enerjisinin Kullanım Alanları

Rüzgar enerjisi, tarih boyunca tarımsal faaliyetlerden elektrik üretimine kadar pek çok alanda kullanılmıştır^{52,98}. Genellikle üç ana kullanım alanı vardır. Mekanik uygulamalarda, rüzgar enerjisi su pompalama (özellikle tarımsal sulama), tahıl öğütme ve tarımsal ürünlerin işlenmesi (kesme, biçme, yağ çıkarma gibi) gibi işlemlerde kullanılmıştır. Elektrik üretiminde, şebekeye



Şekil 65: Bu diyagram, rüzgar enerjisinin su pompalamada kullanımını göstermekte olup, tarımsal sulama ve kırsal su teminindeki uygulamalarını örneklemektedir⁹⁸.

bağlı ve şebekeden bağımsız sistemler olmak üzere iki farklı şekilde değerlendirilir. Büyük ölçekli rüzgar santralleri tarafından üretilen elektrik ulusal şebekeye aktarılabilirken, elektrik şebekesi olmayan kırsal alanlarda küçük ölçekli rüzgar türbinleri tarafından elektrik sağlanabilir. Isı enerjisi üretiminde, rüzgar türbinleri tarafından üretilen elektrik ısıtma sistemlerinde veya havalandırma sistemlerinde kullanılabilir. Ayrıca, rüzgar enerjisi hem binaların içinde hem de dışında farklı alanlarda kullanılır. Tarımsal sulama sistemlerinde, deniz fenerlerinde, havaalanı pist ışıklarında ve binaların dışındaki diğer sinyal sistemlerinde kullanılırken, binaların içindeki havalandırma ve soğutma sistemleri ve çatı rüzgar türbinleri tarafından bireysel elektrik üretimi sağlanabilir.

6.2.5. Rüzgar Türbinleri

Rüzgar türbinleri, rüzgarın kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir. Bu dönüşüm süreci, rüzgarın türbin kanatlarını döndürmesiyle başlar ve mekanik enerji üretir. Kanatlar, mekanik enerjiyi jeneratör tarafından elektrik enerjisine dönüştürülen dönme hareketine dönüştürür⁹⁹.

Rüzgar türbinleri, dönme eksenlerinin yere göre konumuna göre üç gruba ayrılır. Yatay eksenli rüzgar türbinleri en yaygın kullanılan türbinlerdir ve ana şaftları yere paraleldir. Genellikle büyük ölçekli rüzgar çiftliklerinde tercih edilirler.

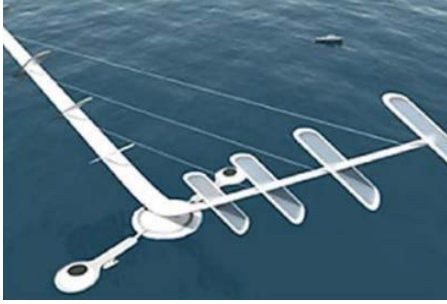


Şekil 66: Yatay eksenli rüzgar türbinleri, büyük ölçekli rüzgar çiftlikleri ve yüksek enerji üretimi için ideal olan en yaygın kullanılan tiptir.

Dikey eksenli rüzgar türbinlerinin ana şaftları yere diktir ve her yönden gelen rüzgarı kullanabilirler. Küçük ölçekli uygulamalarda ve kentsel alanlarda daha yaygındırlar.



Şekil 67: Dikey eksenli rüzgar türbinleri, her yönden rüzgarı yakalayabilir ve kentsel veya küçük ölçekli uygulamalar için



Şekil 68: Eğik eksenli rüzgar türbinleri, genellikle deneysel açık deniz kurulumlarında kullanılan, yatay ve dikey sistemlerin avantajlarını birleştiren bir hibrit tasarımıdır.

Eğik eksenli rüzgar türbinleri yatay ve dikey eksenli türbinlerin özelliklerini bir araya getirir, ancak nadir bir tasarım türüdür. Ayrıca rüzgar türbinleri hızlarına, güç kapasitelerine, kanat sayılarına, rüzgar etkisine, dişli mekanizmalarına ve kurulum yerlerine göre sınıflandırılır. Hangi türbinin kullanılacağı bölgenin rüzgar özelliklerine ve kullanım amacına göre belirlenir.

6.2.5.1. Açık Deniz Rüzgar Türbinleri

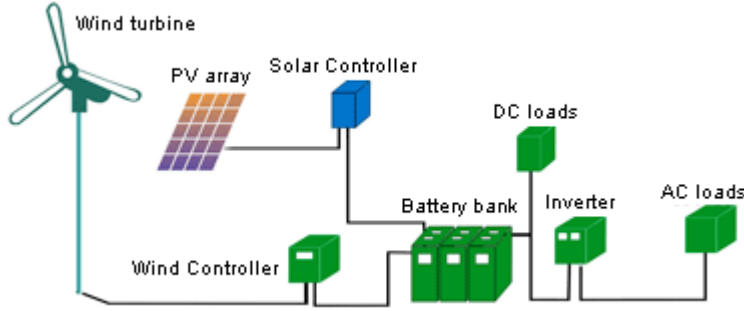
Açık deniz rüzgar enerjisinin verimli kullanımı rüzgar enerjisi pazarı için büyük önem taşımaktadır. Deniz tabanına monte edilen rüzgar türbinleri genellikle kıyıya yakın alanlarda tercih edilse de, bu sistemler gürültü, görüntü kirliliği ve gemi trafiğini etkileme gibi sorunlara yol açabilir. Bu nedenle, yüzen platform rüzgar türbinleri üzerine yapılan çalışmalar artmaktadır¹⁰⁰.



Şekil 69: Daha güçlü ve daha istikrarlı rüzgarlardan yararlanmak için deniz ortamlarına açık deniz rüzgar türbinleri kurulur ve bu da elektrik üretim kapasitesini önemli ölçüde artırır.

Açık deniz rüzgarları, kara rüzgarlarına göre daha az türbülansa sahiptir. Bu, daha yüksek rüzgar hızlarına izin vererek daha fazla elektrik üretilmesini sağlar. Üretilen gücün rüzgar hızının küpüyle arttığı göz önüne alındığında, üretim kapasitesi karadan sadece birkaç kilometre uzakta olsa bile önemli ölçüde artar. Örneğin, ortalama rüzgar hızının 28 km/s olduğu bir alanda, hızın 22 km/s olduğu bir alana göre %60 daha fazla elektrik üretmek mümkündür. Bu, rüzgar gücünden elektrik üretmede hız faktörünün kritik önemini göstermektedir.

Günümüzde açık deniz rüzgar türbinleri kara türbinlerinden uyarlanarak deniz koşullarına dayanıklı hale getirilmektedir. Bu süreçte dalga yüklerine dayanıklı kule yapıları tasarlanarak türbinlerin sağlamlığı artırılmaktadır. Ayrıca dişli sistemi ve elektrik aksamaları deniz suyunun aşındırıcı etkilerine karşı özel koruma yöntemleri ile güçlendirilmektedir. Bakım personelinin platforma kolay erişimini sağlamak için özel erişim sistemleri eklenmekte, acil durum anahtarları ile güvenlik önlemleri artırılmaktadır. Türbinlerin dış yüzeyleri uzun ömürlü olmaları için deniz suyuna dayanıklı özel boyalarla kaplanmakta, uçaklar için uyarı ışıkları ve dikkat çekici renkler kullanılmaktadır. Ayrıca deniz araçlarının sisli havalarda türbinleri fark edebilmelerini sağlamak için ek güvenlik önlemleri alınmaktadır.



Şekil 70: Hibrit sistemler, özellikle değişken hava koşullarına sahip şebeke dışı bölgelerde daha istikrarlı ve sürekli güç sağlamak için güneş ve rüzgar enerjisini birleştirir.

aylık ve yıllık olarak değişen enerji kaynaklarıdır. Düşük enerji yoğunlukları nedeniyle sürekli ve kesintisiz güç sağlamak için yetersiz kalabilirler. Örneğin, güneş enerjisi sistemleri bulutlu günlerde yeterli elektrik üretemeyebilirken, rüzgar enerjisi sistemleri yıl boyunca değişen rüzgar hızları nedeniyle sürekli güç sağlayamaz. Bu durum enerji üretiminin sürekliliğini sağlamak için enerji depolama sistemlerini gerekli kılar. Rüzgar enerjisi kış aylarında daha yüksek verimle çalışırken, güneş enerjisi yaz aylarında daha yüksek verimle çalışır. Sadece rüzgar enerjisi kullanıldığında yaz aylarında, sadece güneş enerjisi kullanıldığında ise kış aylarında elektriksiz kalma riski artar. Bu nedenle güneş ve rüzgar enerjisinin birlikte kullanıldığı hibrit sistemler tek başlarına kullanıldıkları duruma göre daha istikrarlı enerji üretimi sağlar. Ayrıca bu iki enerji kaynağının birbirini tamamlayıcı şekilde çalışması enerji depolama ihtiyacını azaltır ve sistemin daha verimli hale gelmesine yardımcı olur.

6.3. Hidroelektrik Enerjisi

Hidroelektrik enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en eski ve en yaygın kullanılan enerji türlerinden biridir⁶². Güneşten gelen bir enerji kaynağı olan hidroelektrik enerjisi, doğal su döngüsünün bir sonucu olarak oluşur. Nehirler, göller ve denizlerdeki su, güneşin ısıyla buharlaşır, rüzgarın etkisiyle hareket eder ve atmosferde yoğunlaşır ve yağmur veya kar olarak toprağa



Şekil 71: Hidroelektrik enerji, akan suyun gücünü türbinler ve jeneratörler aracılığıyla elektrığe dönüştürerek hem enerji üretimine hem de su yönetimine katkıda bulunur.

6.2.5.2. Güneş ve Rüzgar Hibrit Sistemleri

Günümüzde şebekeden bağımsız çalışan fotovoltaiik güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi sistemleri giderek daha büyük ölçekte kullanılmaktadır. Özellikle şebekeye erişimin zor veya ekonomik olmadığı bölgelerde, bağımsız güneş ve rüzgar enerjisi sistemleri önemli bir çözüm sunmaktadır¹⁰¹. Ancak rüzgar ve güneş enerjisi günlük,

geri döner. Bu yağışlar akarsulara besin sağlar ve hareket eden suyun sürekli bir enerji kaynağı olmasını sağlar. Hidroelektrik enerjisi, belirli bir yükseklikten akan suyun kinetik ve potansiyel enerjisinin türbinler vasıtasıyla mekanik enerjiye ve ardından jeneratörler vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle elde edilir²⁸. Hidroelektrik santralleri sadece elektrik üretmekle kalmıyor, aynı zamanda içme suyu temini, tarımsal sulama, sel riskinin azaltılması ve su ürünleri yetiştiriciliği gibi birçok alanda da önemli rol oynuyor.

6.3.1. Hidroelektrik Santrallerinin Sınıflandırılması

Hidroelektrik santraller, kurulu güç potansiyeline, düşü yüksekliğine, enerji üretim özelliklerine, yapım yöntemlerine ve kuruldukları su kaynağının özelliklerine göre sınıflandırılırlar¹⁰². Ülkeden ülkeye değişen, özellikle mini ve mikro hidroelektrik santralleri için sınıflandırmalar vardır. Genel olarak, 10 MW'a kadar güç üreten santraller küçük ölçekli hidroelektrik santralleri olarak kabul edilir.

Tablo 1: Kurulu güce göre santral tipleri

Santral Tipi Kurulu Güç (kW)	Santral Tipi Kurulu Güç (kW)
Mikro 0,1 – 100	Mikro 0,1 – 100
Mini 101 – 1000	Mini 101 – 1000
Küçük 1001 – 10000	Küçük 1001 – 10000
Büyük 10000 kW'dan büyük	Büyük 10000 kW'dan büyük

Büyük hidroelektrik santralleri klasik yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alırken, küçük hidroelektrik santralleri yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları grubunda değerlendirilir. Küçük hidroelektrik santrallerinin boyut sınırı ülkeden ülkeye değişiklik gösterebilir. Örneğin, Kanada ve ABD'de küçük hidroelektrik santrallerinin üst sınırı 50 MW iken Avrupa'da 10 MW olarak belirlenmiştir.

Hidroelektrik Santrallerinin Diğer Sınıflandırmaları:

1. Baş Yüksekliğine Göre Hidroelektrik Santralleri

- Alçak başlı santraller: Baş yüksekliği 15 metreden az olan santrallerdir. Genellikle düz veya düşük eğimli arazilere, yüksek debili nehirlerle kurulurlar. Kaplan türbinleri kullanılır.
- Orta başlı santraller: Baş yüksekliği 15-50 metre arasında değişir. Kaplan veya Francis türbinleri kullanılır.
- Yüksek başlı santraller: Baş yüksekliği 50 metreden fazla olan santrallerdir. Çoğunlukla dağlık ve engebeli arazilerde bulunurlar. Francis veya Pelton türbinleri kullanılır.

2. Ürettikleri Enerjiye Göre Hidroelektrik Santraller

- Sürekli enerji üreten santraller (Baz santraller): Kesintisiz enerji üretirler.
- Enerjiye en çok ihtiyaç duyulan zamanlarda çalışan santraller (Pik santraller): Talep yüksek olduğunda devreye girerler.

3. Yapım Yöntemlerine Göre Hidroelektrik Santralleri

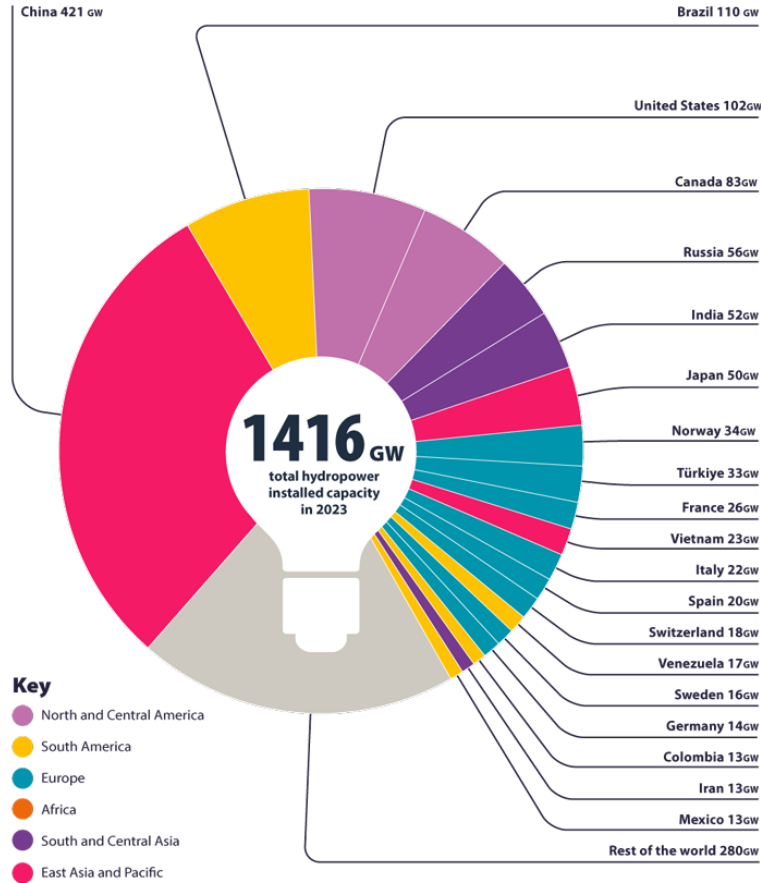
- Yeraltı santralleri
- Yarı gömülü santraller
- Yer üstü santralleri

4. Kuruldukları Su Kaynağına Göre Hidroelektrik Santralleri

- Nehir santralleri
- Kanal santralleri
- Baraj santralleri
- Pompalı rezervuar santralleri

6.3.2. Dünyada Hidroelektrik Enerjisi

Hidroelektrik enerjisi dünya çapında en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilir¹⁰³. Yıllık yağış miktarı yaklaşık 119 bin km³'tür, bunun %60'ı buharlaşır ve %40'ı akarsular aracılığıyla göllere ve denizlere ulaşır. Toplamda 47 bin km³ suyun yaklaşık %19'u (9 bin km³) ekonomik ve teknik olarak kullanılabilir.



Şekil 72: Toplam kurulu hidroelektrik kapasitesi 2023 yılında 1416 GW'a ulaşmış olup, bu rakama Çin (421 GW), Brezilya (110 GW) ve ABD (102 GW) öncülük etmiştir. Bu durum, küresel ölçekte sürdürülebilir enerjiye doğru bir geçişin olduğunu göstermektedir¹⁰³.

Ancak dünya çapında hidroelektrik enerjinin yalnızca küçük bir kısmı etkin bir şekilde kullanılıyor. Kullanılmayan potansiyelin çoğu Latin Amerika, Asya ve Afrika'da bulunuyor. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde yeni hidroelektrik santralleri kurularak bu potansiyelin daha verimli bir şekilde değerlendirilmesi hedefleniyor.

6.3.3. Ortak Ülkelerde Hidroelektrik Enerjisi

6.3.3.1. Türkiye’de Hidroelektrik Enerjisi

Türkiye’de küçük hidroelektrik santrallerinde üretilen enerji yağış desenine bağlı olarak değişmektedir. Ülkemizdeki yağış miktarı bölgelere ve mevsimlere göre değişmektedir. Türkiye hidroelektrik potansiyeli açısından zengin olmasa da su kaynaklarını etkin bir şekilde kullanarak kendi kendine yetebilen ülkeler arasındadır. Türkiye’de baraj yapımı tarih öncesi çağlara kadar uzanmaktadır. İlk barajlar MÖ 1300’de Hititler tarafından, MÖ 1000’de ise Urartular tarafından yapılmıştır. Cumhuriyet döneminde ise ilk baraj Ankara’nın içme suyu ihtiyacını karşılamak amacıyla 1930 yılında inşa edilen Çubuk Barajı’dır¹⁰⁴. Elektrik Enerjisi Kaynakları Araştırma İdaresi, elektrik üretimi için uygun enerji kaynaklarını belirlemek ve araştırmak amacıyla 1932 yılında kurulmuştur. 1950 yılında Türkiye’nin kurulu elektrik gücü 408 MW iken, hidroelektrik kapasitesi sadece 18 MW’tır. Ancak 1970’li yıllara kadar hidroelektrik santrallerinin sayısında önemli bir artış sağlanmıştır. Türkiye’de hidroelektrik enerjisinin gelişimi, 1970 yılında Türkiye Elektrik Kurumu’nun kurulmasıyla ivme kazanmıştır. TEK ile resmi kuruluşlar ve belediyeler tarafından santral yapımı durdurulmuş ve ülke genelinde enterkonnekte sisteme geçiş sağlanmıştır. Aynı dönemde hidroelektrik santrallerinin yapımında özel sektör de yer almıştır. 1984 yılında çıkarılan yasa ile Yap-İşlet-Devret modeliyle özel sektörün elektrik üretimine katılımı teşvik edilmiştir.



Şekil 73: Türkiye’de Hidroelektrik Enerjisi (2024).

Hidroelektrik enerji piyasasını düzenlemek amacıyla 2001 yılında Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu kurulmuş ve elektrik üretim, iletim ve dağıtım yetkileri bu kuruma devredilmiştir. 2003 yılından sonra özel sektör yatırımlarını teşvik etmek amacıyla "Su Kullanım Yönetmeliği"

yayınlanmış ve 2005 yılında Yenilenebilir Enerji Kanunu çıkarılmıştır. 2011 yılında yapılan düzenlemelerle küçük ölçekli mikro ve mini hidroelektrik santrallerinin kurulumu kolaylaştırılmıştır. Türkiye teknoloji açısından her türlü hidroelektrik santrali inşa edebilecek kapasitededir. Bunun en güzel örneklerinden biri de büyük ölçüde yerli şirketler tarafından inşa edilen Atatürk Barajı ve HES'tir. Ülkemiz küçük ve orta ölçekli hidroelektrik santrallerinin kurulumu için gerekli teknoloji ve yatırımcı potansiyeline sahiptir. Özellikle büyük ölçekli hidroelektrik santrallerine kıyasla daha hızlı inşa edilebilen ve daha az yasal/mali yükümlülükleri olan küçük hidroelektrik santrali projeleri özel sektör tarafından daha fazla ilgi görmektedir. Bugün, 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu çerçevesinde özel sektör tarafından yürütülen hidroelektrik santrali projesi sayısı yaklaşık 1.595'tir. Ancak özel sektör yatırımlarındaki artış bazı sorunları da beraberinde getirmiştir. Birçok akarsuyun "Su Kullanım Hakları Anlaşmaları" ile özel sektöre kontrolsüz bir şekilde devredilmesi, su kalitesinin bozulmasına ve su fiyatlarının artmasına yol açabilecek riskler yaratmıştır. Bu nedenle, sürdürülebilirlik ve kamu yararı gözetilerek hidroelektrik enerjisinin kullanımında daha dengeli politikalar geliştirilmesi önem taşımaktadır.

2024 yılı sonu itibarıyla Türkiye'nin toplam kurulu gücü 115.975 MW'a ulaşmış olup, bunun 32.203 MW'ı hidroelektrik santrallerinden oluşmaktadır. Bu değer, toplam kurulu gücün yaklaşık %27,8'ine denk gelmektedir. Hidroelektrik santrali sayısı da dikkat çekicidir. 2024 yılı Aralık sonu itibarıyla Türkiye'de toplam 784 adet HES bulunmaktadır; Bunlardan 617 tanesi akarsu tipi, 147 tanesi ise baraj tipidir.

6.3.3.2. Yunanistan'da Hidroelektrik Enerjisi

Yunanistan'ın dağlık arazisi ve sayısız nehri hidroelektrik için ideal koşullar yaratır. Yıllık tahmini potansiyeli 80 TWh olan ülke, uzun süredir su kaynaklarını kullanmaktadır ve modern hidroelektrik gelişimine 20. yüzyılın başlarında başlamıştır. 2023 itibarıyla hidroelektrik, Yunanistan'ın kurulu kapasitesinin %13'ünü ve toplam güç üretiminin %10'unu oluşturarak

Country	Electricity Generation			Main Energy Source
	Hydro [GWh]	Total [GWh]	Hydro/Total %	
European Union (28)	38,018	3,253,125	12%	Nuclear, Coal, Gas
Albania	7782	7782	100%	Hydro
Norway	144,005	149,333	96%	Hydro
Iceland	13,471	1855	73%	Hydro
Austria	42,919	68,336	63%	Hydro
Switzerland	36,689	63,172	58%	Hydro, Nuclear
Sweden	62,137	156,01	40%	Nuclear, Hydro
North Macedonia	1897	5629	34%	Coal, Hydro
Bosnia and Herzegovina	5641	17,767	32%	Coal, Hydro
Serbia	11,521	39,342	29%	Coal, Hydro
Portugal	16,909	60,28	28%	Hydro, Coal, Gas, Wind
Romania	18,536	65,103	28%	Hydro, Coal, Nuclear, Gas
Turkey	67,231	273,695	25%	Coal, Gas, Hydro
Slovak Republic	4606	26,934	17%	Nuclear, Hydro, Coal
Russia	18,664	1,090,973	17%	Gas, Nuclear, Coal, Hydro
Spain	39,865	274,671	15%	Nuclear, Gas, Wind
Italy	44,257	289,032	15%	Gas, Hydro, Coal
France	64,889	555,621	12%	Nuclear
Greece	5565	54,438	10%	Coal, Gas
Bulgaria	4568	45,243	10%	Coal, Nuclear
Ukraine	9304	164,494	6%	Nuclear, Coal
Germany	26,135	647,231	4%	Coal, Gas, Nuclear, Wind
United Kingdom	8354	339,399	2%	Gas, Nuclear
Poland	2322	166,568	2%	Coal
Hungary	259	37,781	1%	Nuclear

3.427 MW'a ulaşmıştır. Potansiyeline rağmen, kuraklık ve düzensiz yağış gibi mevsimsel ve iklimsel dalgalanmalar nedeniyle çıktı değişmektedir. Yunanistan, yıllar içinde hidroelektrik gelişiminde büyük adımlar atmıştır. 1950'lerde Kamu Elektrik Şirketi'nin (PPC) kurulması, ülkenin enerji sektörünün genişlemesinde önemli bir rol oynamış ve hidroelektrik bu büyümenin merkezinde yer almıştır.

Şekil 74: Yunanistan'da Hidroelektrik Enerjisi¹⁰⁵.

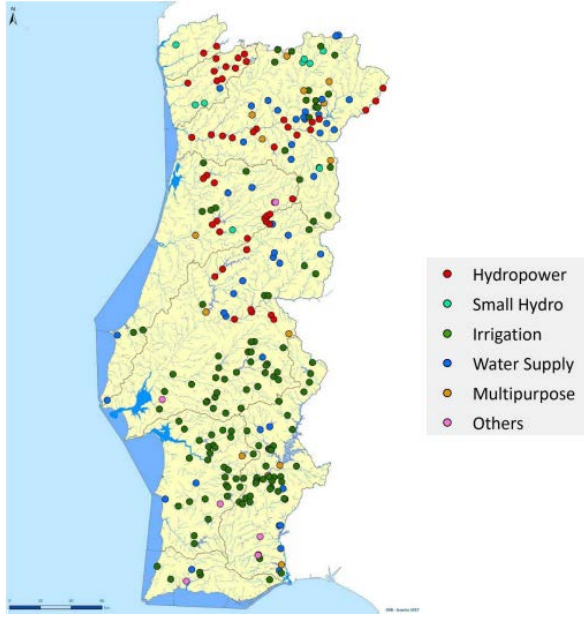
Sonraki on yıllarda Yunanistan, hidroelektrik enerji karışımına önemli bir katkıda bulunarak yenilenebilir enerjiye yatırım yapmaya devam etmiştir¹⁰⁵. Ancak enerji talebi arttıkça ülke çeşitlendi, doğal gazla olan bağımlılığı arttı ve rüzgar ve güneş enerjisine doğru genişledi.

Son yıllarda Yunanistan, enerji güvenliğini artırmak için küçük ve orta ölçekli hidroelektrik enerjisini destekledi. Piyasa serbestleştirme ve düzenleyici destek, özellikle uzak dağlık bölgelerde özel yatırımı artırdı. Ancak, nehir ekosistemleri, biyolojik çeşitlilik ve yerel topluluklar üzerindeki çevresel etki konusunda endişeler devam ediyor. 2024 itibarıyla Yunanistan'ın kurulu kapasitesi yaklaşık 18.000 MW'tır ve hidroelektrik enerji yaklaşık 250 santralden 3.427 MW katkıda bulunmaktadır. Hidroelektrik enerjisi önemini korurken, hükümet enerji büyümesini çevresel sürdürülebilirlikle dengelemeyi, su sistemlerini korurken gelecekteki talepleri karşılamak için kaynakları yönetmeyi amaçlamaktadır.

6.3.3.3. Portekiz'de Hidroelektrik Enerjisi

Portekiz'de, çoğu ülkede olduğu gibi, su hareketini veya potansiyel enerjiyi faydalı enerjiye dönüştürmek için küçük hidroelektrik yapılar binlerce yıldır kullanılmaktadır.

Su akışlarını kontrol etmek ve/veya hidroelektrik elektrik üretimi için büyük barajların inşası 19. yüzyılın sonlarında başladı ancak 20. yüzyılın ortalarında önemli hale geldi. 2007'de Portekiz, ülkenin kurulu kapasitesinde önemli bir artışa yol açan Yüksek Hidroelektrik Potansiyeli Olan Barajlar Ulusal Programı'nı (PNBEPH) başlattı.



Şekil 75: Portekiz'de Hidroelektrik Enerjisi (2024).

Ülkede 260 büyük baraj (15 m'den yüksek veya 10-15 m yüksekliğinde ve 1 hm3 kapasiteli) olsa bile, bunların çoğu tarım, su düzenleme ve diğer faaliyetlere ayrılmıştır. Aslında, Portekiz'in 42 hidroelektrik santrali (> 10 MW) ve yaklaşık 8,2 GW toplam kurulu gücü vardır ve bunların yaklaşık üçte biri pompalama sistemlerinden kaynaklanmaktadır. Portekiz'in Kuzeyi ve Güneyi arasındaki orografi ve yağış desenlerindeki güçlü asimetriler nedeniyle, hidroelektrik amaçlı barajlar çoğunlukla ülkenin kuzeyinde yer almaktadır. Son yirmi yılda diğer yenilenebilir enerji biçimlerinin patlayıcı büyümesiyle, hidroelektrik santralleri, özellikle Portekiz'deki tüm kömür bazlı santrallerin kapatılmasından sonra, elektrik şebekesinin istikrarına katkıda bulunabildikleri anda daha da önemli hale geldi.

Ülkenin elektrik arzına hidroelektrik enerjisinin toplam katkısı her yıl meteorolojik koşullara bağlı olmakla birlikte, Portekiz'de tüketilen tüm elektriğin yaklaşık %30'unu oluşturmaktadır.

Portekiz'deki en büyük barajlardan biri, Guadiana Nehri üzerine inşa edilen ve 2004 yılında açılışı yapılan Alqueva barajıdır. Avrupa'nın en büyük yapay gölünü oluşturmuştur ve Portekiz'in güneyindeki muazzam tarım alanlarının sulanmasına olanak tanır. 240 MW kurulu hidroelektrik gücüne sahiptir. Portekiz'deki en büyük hidroelektrik santrali, Douro Nehri havzasında Torno Nehri üzerinde bulunan ve 880 MW kurulu güce sahip Gouvães barajıdır.



Şekil 76: Alqueva Barajı, Portekiz – Avrupa'nın en büyük barajlarından biri olup hidroelektrik enerji üretiliyor ve sulamaya destek sağlıyor.

6.3.3.4. Kuzey Makedonya'da Hidroelektrik Enerjisi

Kuzey Makedonya'nın dağlık arazisi ve nehirleri, yıllık tahmini 8.863 TWh teorik kaynakla hidroelektrik enerjisi için güçlü bir potansiyel sunmaktadır. Ancak, mevcut üretim yaklaşık 1,2 TWh'dir ve önemli miktarda kullanılmayan kapasiteyi vurgulamaktadır. Kuzey Makedonya'da hidroelektrik enerjisinin gelişimi, ülkenin en büyüklerinden biri olan Mavrovo Hidroelektrik Sistemi'ni içerir. Toplam kapasitesi 200 MW ve yıllık üretimi yaklaşık 445 GWh olan Vrutok, Vrben ve Raven olmak üzere üç santralden oluşur. Bir diğer önemli tesis ise Crna Nehri üzerindeki Tikveš Hidroelektrik Santrali'dir. 1968'den beri faaliyet gösteren santralin kapasitesi 113 MW'tır ve ülkenin hidroelektrik üretiminde önemli bir rol oynar.



Şekil 77: Kuzey Makedonya'daki Önemli Hidroelektrik Santralleri – Tikveš, Vrutok ve Globočica gibi önemli tesisleri gösteren bir harita¹⁰⁶.

Kuzey Makedonya, Şubat 2023'te altı büyük santralin (Vrutok, Vrben, Raven, Tikveš, Globočica ve Špilje) rehabilitasyonu için 36,2 milyon avroluk finansman anlaşmaları imzalayarak hidroelektrik altyapısını modernize ediyor¹⁰⁶. Bu santraller ülkenin hidroelektrik kapasitesinin yaklaşık %85'ini temsil ediyor ve toplam elektrik üretiminin %20'sine katkıda bulunuyor. Hükümet ayrıca Crna Nehri üzerinde 333 MW'lık bir pompalı depolama tesisi olan Čebren Hidroelektrik Santrali için bir imtiyaz verdi. Bu proje yenilenebilir enerji kapasitesini artırmayı ve enerji depolama ve dağıtım esnekliğini geliştirmeyi amaçlıyor. 2010'dan bu yana Kuzey Makedonya'da 100'den fazla küçük hidroelektrik santrali faaliyete geçti ve bu da ülkenin yenilenebilir enerji kaynaklarını çeşitlendirme taahhüdünü vurguluyor.

Hükümet, özellikle yeni hidroelektrik santrallerinin tasarımı, inşası ve işletimi olmak üzere enerji sektöründe yatırımları teşvik ediyor. Bu strateji, Kuzey Makedonya'nın enerji güvenliğini iyileştirme, fosil yakıt bağımlılığını azaltma ve yenilenebilir enerji hedeflerine ulaşma hedeflerini destekliyor. Sonuç olarak, hidroelektrik enerji Kuzey Makedonya'nın enerji stratejisinin temel bir unsurudur. Ülke, mevcut tesisleri modernize ederek ve yeni projeler geliştirerek hidroelektrik potansiyelinden tam olarak yararlanmayı ve sürdürülebilir ve dayanıklı bir enerji geleceği sağlamayı amaçlıyor.

6.3.4. Hidroelektrik Enerji Kullanımının Olumlu ve Olumsuz Etkileri

Hidroelektrik santrallerinin en büyük avantajlarından biri, fosil yakıtlı termik santraller gibi havayı kirleten emisyonlar üretmemeleridir. Hidroelektrik santralleri, çalışırken herhangi bir atık veya zararlı gaz salmadıkları için temiz enerji kaynakları arasındadır¹⁰⁷. Ayrıca hidroelektrik santralleri sayesinde:



Avantajları

- Tarımsal sulama sağlanabilir,
- Sel baskınları önlenir,
- Su kaynakları daha verimli yönetilebilir,
- Bölgedeki su kalitesi artırılabilir,
- Estetik göletler ve su depoları oluşturulabilir.

Ancak hidroelektrik santrallerinin bazı olumsuz çevresel etkileri de vardır. Baraj inşaatı, geniş alanları sular altında bırakarak ekosistem değişikliklerine neden olabilir. Bu, bölgedeki bitki örtüsünü ve hayvan yaşamını etkileyebilir. Ek olarak:

Dezavantajları



- Büyük ölçekli barajlar bölgenin iklimini değiştirebilir ve mikro iklimlere neden olabilir,
- Akarsuların yönünü değiştirmek tarım arazilerinin verimliliğini azaltabilir,
- Kıyı erozyonu ve su kaynaklarının tükenmesi gibi sorunlara neden olabilir.

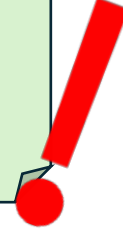
Bu sebeplerden dolayı büyük hidroelektrik santrallere nazaran çevre dostu Küçük Hidroelektrik Santralleri daha çok tercih edilir hale gelmiştir.



Daha düşük yatırım maliyeti vardır,

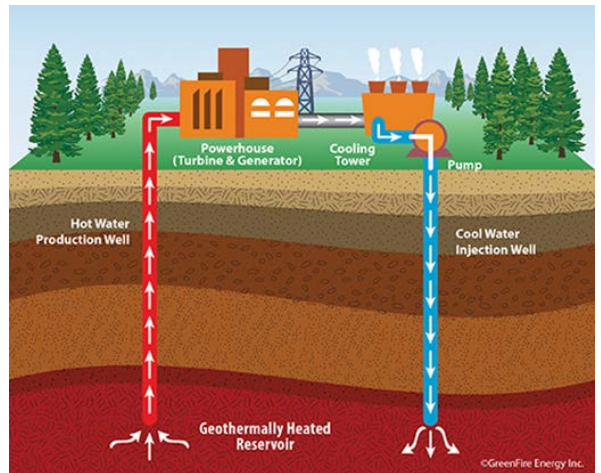
- Kısa sürede inşa edilebilir,
- Bakım ve işletme maliyetleri daha düşüktür,
- Büyük hidroelektrik santrallerine kıyasla çevresel etkisi sınırlıdır,
- Kırsal alanların elektrik ihtiyacını karşılayarak yerel ekonomiye katkı sağlar.

Ancak Hidroelektrik Santralleri ekosistem üzerinde olumsuz etkilere de sahip olabilir. Bu nedenle projelerin doğal dengeyi bozmayacak şekilde tasarlanması ve uygulanması büyük önem taşımaktadır.



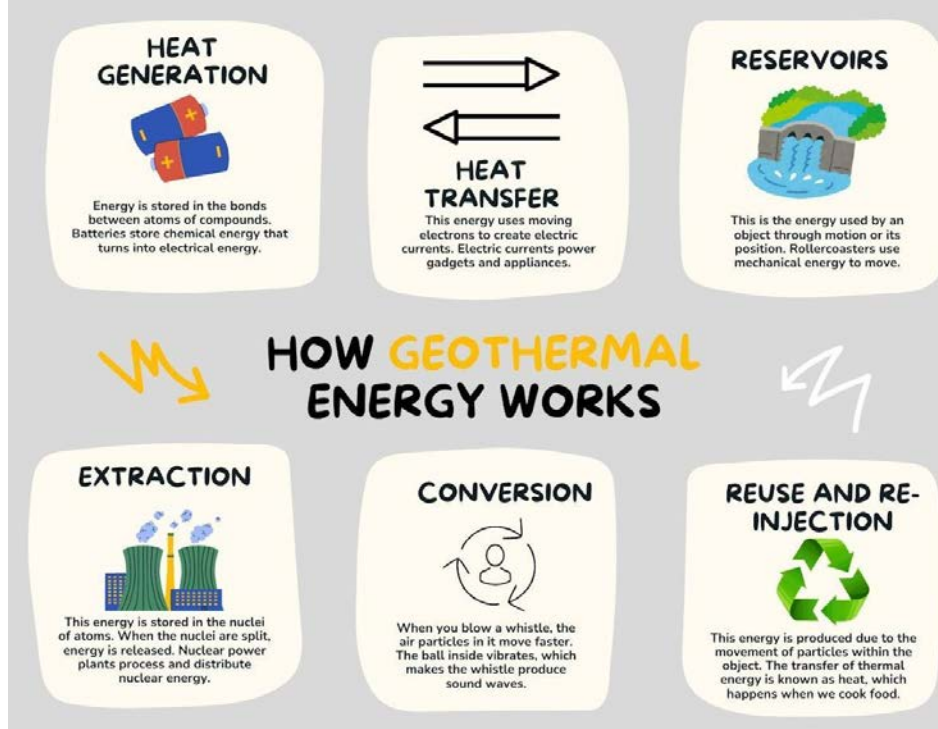
6.4. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, Yunanca geo (yer) ve therme (ısı) kelimelerinden türetilmiştir ve "yer ısısı" anlamına gelir¹⁰⁸. Bu enerji kaynağı, yer kabuğunun farklı derinliklerinde, yerin iç katmanlarında yüksek sıcaklıkların etkisiyle oluşan sıcak su, buhar veya mineral sıvılar şeklinde bulunur⁷³. Dünya'nın iç yapısında, özellikle magma tabakasında çok yüksek sıcaklıklar vardır. Isı iletimi sayesinde, yer kabuğunun alt katmanlarına doğru gidildikçe sıcaklık artar. Bu doğal ısı kaynağı, yeraltındaki suyun ısınmasına ve çeşitli jeotermal alanların oluşmasına neden olur. Jeotermal enerji, sıcak su veya buharın doğrudan veya dolaylı olarak kullanılmasıyla elde edilir. Bazı jeotermal kaynaklar su veya buhar içermez; bunun yerine, sıcak kuru



Şekil 78: Jeotermal enerji santralleri, yer altı rezervuarlarından ısı çekerek, sıcak su veya buhar kullanarak elektrik üretir ve çevrimi sürdürmek için soğutulmuş suyu tekrar enjekte eder¹⁰⁸.

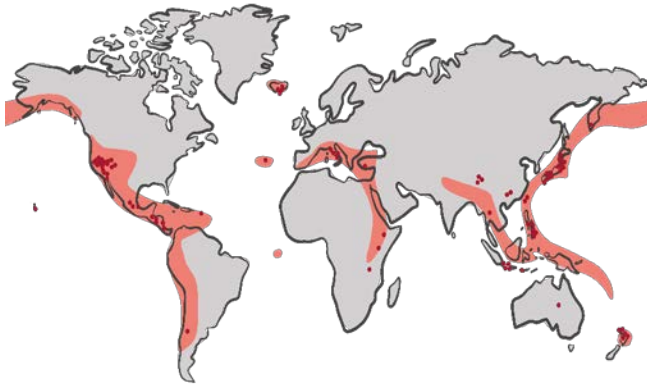
kayalar adı verilen yüksek sıcaklığa sahip kayalar enerji üretimi için değerlendirilir. Jeotermal sistemlerin uzun vadede sürdürülebilirliğini sağlamak için reenjeksiyon adı verilen bir işlem uygulanır. Bu yöntemde, yer altından çıkarılan su veya buhar, yer altına geri pompalanır ve doğal döngü sürdürülür. Jeotermal enerji, doğrudan ısıtma sistemlerinde, endüstriyel proseslerde ve elektrik üretiminde yaygın olarak kullanılır^{24,109}.



Şekil 79: Bu infografik, jeotermal enerjiyi ısı çıkarmadan dönüştürmeye, yeniden kullanmaya ve yeniden enjeksiyona kadar açıklıyor ve sürdürülebilir ve yenilenebilir doğasını vurguluyor¹⁰⁹.

6.4.1. Dünya’da Jeotermal Enerji

Dünya genelinde birçok jeotermal alan bulunmaktadır ve bu alanlara jeotermal bölgeler denir. Jeotermal bölgeler genellikle tektonik hareketlerin yoğun olduğu ve volkanik aktivitenin görüldüğü alanlarda bulunur¹¹⁰. En önemli jeotermal bölgeler şunlardır:



Şekil 80: Jeotermal enerji dünya çapında volkanik ve tektonik bölgelerde üretiliyor; başlıca santraller ABD, Endonezya ve Filipinler’de bulunuyor.

- **And Dağları Volkanik Kuşağı:** Arjantin, Şili, Bolivya, Peru, Ekvador, Kolombiya ve Venezuela
- **Alp-Himalaya Kuşağı:** Tayland, Burma, Çin, Tibet, Hindistan, Pakistan, İran, Türkiye, Yunanistan, Yugoslavya ve İtalya
- **Doğu Afrika Rift Sistemi:** Cibuti, Etiyopya, Kenya, Uganda, Tanzanya, Malavi ve Zambiya
- **Orta Amerika Volkanik Kuşağı:** Panama, Kosta Rika, Nikaragua, El Salvador ve Guatemala

Jeotermal enerji, insanlık tarihinin en eski çağlarından beri kullanılmaktadır. Antik Roma döneminde jeotermal kaynaklar hamamlarda ve ısıtma sistemlerinde kullanılmıştır¹¹⁰. Jeotermal enerjinin elektrik üretiminde ilk kullanımı 1904 yılında İtalya'da gerçekleşmiştir. Dünyanın ilk ticari jeotermal santrali 1911 yılında İtalya'da kurulmuştur. Uzun bir aradan sonra ikinci endüstriyel jeotermal santral 1958 yılında Yeni Zelanda'da devreye alınmıştır.

1950'lerden 2000'lere kadar jeotermal enerjiden elektrik üretimi %17, termal (ısıtma) kullanımı ise %87 arttı. Günümüzde jeotermal enerji kaynaklarının değerlendirilmesi giderek yaygınlaşmakta ve birçok ülke bu temiz ve yenilenebilir enerji kaynağını daha etkin kullanmaya çalışmaktadır.

2024 yılı itibarıyla küresel jeotermal enerji üretim kapasitesi toplam 16.873 MW'a ulaşmıştır. Bu kapasite 35 ülkenin katkısıyla elde edilmiştir. Yıl içerisinde 14 yeni tesisin devreye alınması ve mevcut kapasitelerin genişletilmesiyle toplam 389 MW'lık bir artış sağlanmıştır. Kurulu jeotermal enerji kapasitesi bakımından ilk 10 ülke sırasıyla ABD (3.937 MW), Endonezya (2.653 MW), Filipinler (1.984 MW), Türkiye (1.734 MW), Yeni Zelanda (1.207 MW), Kenya (985 MW), Meksika (976 MW), İtalya (944 MW), İzlanda (755 MW) ve Japonya (740 MW) olarak kaydedildi.

6.4.2. Ortak Ülkelerde Jeotermal Enerji

6.4.2.1. Türkiye'de Jeotermal Enerji

Türkiye, Alp-Himalaya kuşağında yer aldığı için jeotermal kaynaklar açısından zengin bir ülkedir. Ülkemizin toplam jeotermal potansiyelinin yaklaşık 62.000 MW olduğu tahmin edilmektedir. Bu potansiyelin 31.500 MW'ı doğrudan kullanıma, 1.734 MW'ı ise elektrik üretimine uygundur. Türkiye bu kapasiteyle Avrupa'da birinci, dünyada ise dördüncü sırada yer almaktadır.

Türkiye'de jeotermal kaynaklardan ilk ısı enerjisi kullanımı 1964 yılında Balıkesir-Gönen'deki Park Otel'in ısıtılmasıyla başlamıştır¹¹¹. Bugün İzmir'de yaklaşık 15 bin ev jeotermal enerji ile ısıtılıyor. 2000 yılından sonra Türkiye'de jeotermal enerji üzerine çalışmalar hız kazanmış, termal turizm, seracılık, evlerin merkezi olarak ısıtılması gibi doğrudan kullanım alanları yaygınlaşmaya başlamıştır. Ülkemizde 1.000'e yakın jeotermal kaynak bulunmakta olup, elektrik üretimi açısından 11 bölgemiz verimli olarak öne çıkmaktadır:

- **Aydın-Germencik** (232 °C)
- **Manisa-Salihli Göbekli** (182 °C)
- **Çanakkale-Tuzla** (174 °C)
- **Aydın-Salavatlı** (171 °C)
- **Kütahya-Simav** (162 °C)
- **İzmir-Seferihisar** (153 °C)
- **Manisa-Salihli Caferbey** (150 °C)
- **Aydın-Yılmazköy** (142 °C)
- **İzmir-Balçova** (136 °C)
- **İzmir-Dikili** (130 °C)



Şekil 81: Türkiye, jeotermal elektrikte 1.734 MW kapasite ile dünyada 4. sırada yer almakta olup, jeotermal enerjinin büyük kısmı Ege Bölgesi'nde yoğunlaşmaktadır.

Türkiye jeotermal enerjide önemli bir potansiyele sahip olup 2024 yılı itibarıyla 1.734 MW kurulu güçle dünyada 4. sırada yer almaktadır. Ülkede doğal çıkışlı ve farklı sıcaklıklarda yaklaşık 1.000 jeotermal kaynak bulunmakta olup, toplam keşfedilmiş jeotermal potansiyel 62.000 MW olarak hesaplanmıştır. Türkiye, 2053 yılına kadar toplam kurulu elektrik enerjisi kapasitesindeki jeotermal payını %8'e çıkarmayı ve tüm konut ısıtma kullanımını jeotermal enerjiden karşılamayı hedeflemektedir.

6.4.2.2. Yunanistan'da Jeotermal Enerji

Akdeniz-Volkanik Kuşağı'nda bulunan Yunanistan, yaklaşık 5.000 MW'lık tahmini toplam jeotermal potansiyeli ile jeotermal kaynaklar açısından zengindir. Bu kaynaklar, Ege Adaları ve anakaranın bazı kısımları gibi volkanik aktivite ve tektonik hareketin olduğu bölgelerde yoğunlaşmıştır. Bu önemli potansiyele rağmen, Yunanistan benzer jeolojik koşullara sahip diğer ülkelerle karşılaştırıldığında jeotermal kaynaklarını tam olarak kullanmamıştır¹¹². Yunanistan'da jeotermal enerji kullanımı, 1980'lerde Girit'teki Midilli Adası ve Agios Nikolaos gibi bölgelerde bölgesel ısıtma sistemlerinin kurulmasıyla başlamıştır¹¹³. Yıllar içinde jeotermal uygulamalar, konut ısıtması, tarımsal süreçler (seracılık gibi) ve termal turizmi de kapsayacak şekilde genişlemiştir. Şu anda Yunanistan'da yaklaşık 50 bilinen jeotermal saha bulunmaktadır ve Milos, Nisyros ve Santorini gibi adalarda ve anakaranın kuzey ve orta kesimlerinde önemli kaynaklar bulunmaktadır. Özellikle Milos Adası sahası 300 °C'ye kadar sıcaklıklara ulaşabilirken, Nisyros sahası hem doğrudan kullanım uygulamaları hem de potansiyel elektrik üretimi için önemli bir kaynaktır. 2023 itibarıyla Yunanistan'ın kurulu jeotermal kapasitesi yaklaşık 160 MW'tır ve çoğunluğu ısıtma gibi doğrudan uygulamalar için kullanılmaktadır. Yunanistan Avrupa'da jeotermal doğrudan kullanımda lider olsa da, jeotermalden elektrik üretimi sınırlı kalmaktadır. Ancak ülke, özellikle yüksek sıcaklıklı sahalarda jeotermal elektrik üretimi potansiyelini aktif olarak araştırmaktadır. Yunan hükümeti, jeotermal enerjiyi yenilenebilir enerji stratejisinin kritik bir bileşeni olarak belirlemiştir ve ulusal enerji karışımına katkısını önemli ölçüde artırmayı hedeflemektedir. Buna yeni jeotermal santraller ve jeotermal ısıtma altyapısının genişletilmesi planları dahildir.

Yunanistan, 2030 yılına kadar jeotermal enerjinin genel enerji kapasitesindeki payını artırmayı, enerji sektörünün karbonsuzlaştırılmasına katkıda bulunmayı ve enerji güvenliğini güçlendirmeyi amaçlamaktadır. Önemli jeotermal potansiyele rağmen, jeotermal enerjinin elektrik üretimi amacıyla kullanılması konusunda hala önemli bir büyüme alanı bulunmaktadır ve ülke, sürdürülebilir enerji geleceğinin bir parçası olarak bu kaynağı daha iyi kullanmak için çalışmaktadır.



Şekil 82: Yunanistan'ın yaklaşık 5.000 MW jeotermal potansiyeli bulunmaktadır ve bunun 160 MW'ı esas olarak ısıtma amaçlı olup, elektrik üretim projeleri de araştırılmaktadır.

6.4.2.3. Portekiz'de Jeotermal Enerji

Portekiz anakarasında jeotermal enerji yaygın olarak dağıtılmış olup, balneoterapi, mekan ve sera ısıtma, odun, meyve, sebze kurutma ve su ürünleri yetiştiriciliği gibi düşük entalpili uygulamalar ($<150^{\circ}\text{C}$) için kullanılır. Ancak, dokuz volkanik adadan oluşan bir grup olan Azorlar takımadaları, volkanik kökeni ve tektonik bir levha sınırındaki konumu nedeniyle jeotermal enerjinin daha fazla geliştirildiği ana bölgedir ve büyük jeotermal potansiyel sağlar.

São Miguel Adası, jeotermal ısıtmalı deliklerde geleneksel "Cozido das Furnas" yemeğini pişirmek gibi yerel faaliyetlerde jeotermal enerji kullanımıyla özellikle ünlüdür. Jeotermal enerji, boş zaman aktivitelerinin ötesinde ticari amaçlar için de kullanılır. São Miguel ve Terceira adalarındaki jeotermal enerji santralleri, takımadalarda tüketilen elektriğin yaklaşık %25'ini oluşturmaktadır.

İlk deneysel jeotermal enerji santrali 1980 yılında São Miguel Adası'ndaki Pico Vermelho'da inşa edildi. En büyük santraller arasında Pico Vermelho (13 MW), Ribeira Grande (16,6 MW) ve Terceira Adası'ndaki Pico Alto (4,7 MW) yer alıyor. Pico Vermelho'da yeni jeotermal kaynakları keşfederek kapasitesini 24 MW'a çıkarmak için devam eden bir genişleme projesi var.



Şekil 83: Portekiz'de jeotermal enerji çoğunlukla anakarada ısıtma amaçlı kullanılırken, Azor Adaları'nda adaların elektriğinin %25'i jeotermal enerjiden karşılanıyor.

Portekiz hükümeti, 2033 yılına kadar anakaradaki jeotermal sistem sayısını on katına çıkarmayı ve o zamana kadar çıkarılan jeotermal enerji miktarını beş katına çıkarmayı amaçlayan bir "Jeotermal Enerji Stratejik Planı" başlattı.

6.4.2.4. Kuzey Makedonya'da Jeotermal Enerji

Macaristan'dan İtalya'ya ve Yunanistan'a kadar uzanan jeotermal bölge boyunca yer alan Kuzey Makedonya, özellikle düşük sıcaklıklı sistemleriyle önemli bir jeotermal potansiyele sahiptir. Ancak orta ve yüksek sıcaklıklı kaynaklar büyük ölçüde keşfedilmemiştir. Ülke, tarihsel olarak jeotermal enerjiyi bölgesel ısıtma, sera tarımı ve spa turizmi için kullanmıştır. Örneğin, su sıcaklıkları 70-80°C arasında değişen termal kaynaklarıyla bilinen Koçani Vadisi, yerel tarımı ve ısıtmayı desteklemektedir. Ancak, yatırım eksikliği ve jeotermal kaynaklara ilişkin mülkiyet hakları konusundaki anlaşmazlıklar nedeniyle jeotermal enerjinin gelişimi son otuz yıldır durgunlaşmıştır. Kuzey Makedonya'daki jeotermal enerji, ulusal enerji karışımına yaklaşık 10 MW katkıda bulunma potansiyeline sahiptir, ancak bu potansiyel büyük ölçüde kullanılmamıştır ve mevcut kullanımların çoğu elektrik üretimi yerine doğrudan uygulamalara odaklanmıştır^{114,115}.



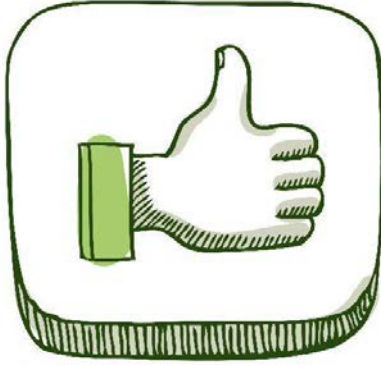
Şekil 84: Kuzey Makedonya, esas olarak ısıtma, tarım ve spa turizmi için kullanılan zengin düşük sıcaklıklı jeotermal kaynaklara sahiptir, ancak elektrik üretimi henüz keşfedilmemiştir¹¹⁵.

Kuzey Makedonya'da jeotermal enerjinin yetersiz kullanımı, ülkenin enerji kaynaklarını çeşitlendirmek ve enerji güvenliğini iyileştirmek için değerli bir fırsat sunuyor. Jeotermal kaynakların keşfi ve geliştirilmesine yapılan yatırımlarla Kuzey Makedonya, fosil yakıtlara olan bağımlılığını azaltabilir ve daha sürdürülebilir enerji uygulamaları benimseyebilir. Ayrıca, yetersiz yatırım nedeniyle düşüş yaşayan spa turizmi sektörünün canlandırılması, ekonomik büyümeyi artırabilir ve uluslararası ziyaretçileri çekebilir.

Sonuç olarak, Kuzey Makedonya'nın önemli bir jeotermal potansiyeli olmasına rağmen, bu kapasitenin kilidini açmak stratejik yatırımlar, politika desteği ve teknolojik ilerlemeler gerektiriyor. Ülke, bu zorlukların üstesinden gelerek, jeotermal enerjiyi ısıtma, tarım ve potansiyel olarak elektrik üretimi için etkili bir şekilde kullanabilir ve daha sürdürülebilir ve çeşitlendirilmiş bir enerji geleceğinin önünü açabilir.

6.4.3. Jeotermal Enerjinin Olumlu ve Olumsuz Etkileri

Jeotermal enerji, reenjeksiyon yöntemi ile sürdürülebilir ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak kabul edilir. Önemli avantajları ve dezavantajları vardır¹¹⁶.

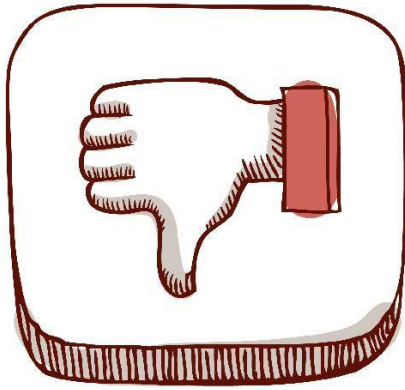


Avantajları

Sektörde termal uygulamalar için uygun koşullar sağlar ve temiz bir enerji kaynağıdır.

- Enerjide dışa bağımlılığı azaltan bir kaynaktır.
- Konvansiyonel enerji kaynaklarına göre daha düşük maliyetlidir ve kullanıma hazırdır.
- Kaynağın bulunduğu bölgede üretim tesisleri kurmak kolaydır ve tesis alanı ihtiyacı düşüktür.
- Hava koşullarından bağımsız olarak sürekli enerji üretimi mümkündür.
- Patlama veya yangın riski yoktur.

- Jeotermal santrallerin sera gazı emisyonları oldukça düşüktür.



Dezavantajları

- Jeotermal sıvıda bulunan mineraller su ve toprak kirliliğine neden olabilir.
- Uygun önlemler alınmazsa sıcaklık değişimleri ve gürültü gibi çevresel sorunlara neden olabilir.
- Jeotermal sıvıda bulunan kimyasal bileşenler düzgün yönetilmezse çevreye zarar verebilir.
- Jeotermal enerjinin uzun mesafelere taşınması zordur ve genellikle en fazla 100 km'ye kadar iletilebilir.

6.4.4. Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları

Jeotermal kaynaklar sıcaklıklarına göre üç gruba ayrılır:

- Düşük sıcaklık alanları (20-70 °C)
- Orta sıcaklık alanları (70-150 °C)
- Yüksek sıcaklık alanları (150 °C ve üzeri)

Düşük ve orta sıcaklıktaki jeotermal kaynaklar genellikle termal uygulamalar için kullanılırken, yüksek sıcaklıktaki kaynaklar elektrik üretimi ve termal uygulamalarda entegre bir şekilde değerlendirilir. Orta sıcaklıktaki akışkandan elektrik üretimi de mümkündür.

6.4.5. Jeotermal Enerjinin Kullanım Türleri

Jeotermal enerji kullanım alanları iki ana grupta incelenmektedir¹¹⁷:



Şekil 85: Jeotermal enerji, kaynak sıcaklığına bağlı olarak doğrudan ısıtma, tarım ve turizm için ve dolaylı olarak elektrik üretimi için kullanılır¹¹⁷.

amaçlı kullanılmaktadır. Termal su kaynakları, spa merkezleri, banyo ve yüzme tesisleri en yaygın uygulamalar arasındadır¹¹⁸. Ayrıca jeotermal enerji, ABD, İsviçre, Japonya, İzlanda ve Arjantin gibi ülkelerde yolları ve havaalanlarını kar ve buzdan temizlemek için kullanılır. Jeotermal kaynaklar ayrıca tarımsal üretimde ve endüstriyel alanlarda da kullanılır.

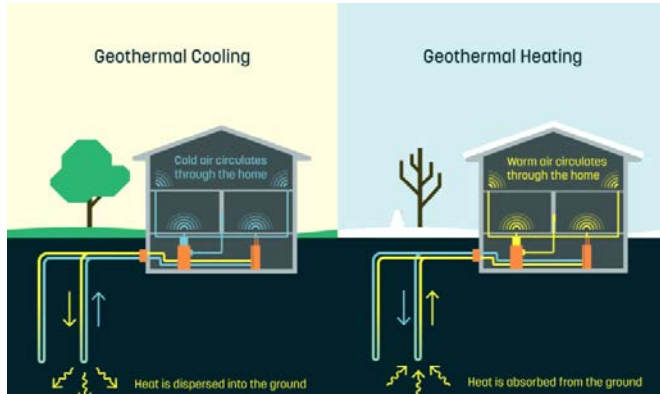
Doğrudan Kullanım

- Merkezi ısıtma sistemleri (şehir ısıtması, sera ısıtması, konut ısıtması)
- Termal turizm (kaplıcalar, spa merkezleri, sağlık kür merkezleri)
- Tarım ürünlerinin kurutulması
- Sıcak su balık yetiştiriciliği
- Kar ve buz eritme (yollarda ve havaalanlarında)
- Mineral ve mineral üretimi

Dolaylı Kullanım

- Elektrik enerjisi üretimi

Jeotermal enerjinin kullanım alanları kaynağın sıcaklığına bağlı olarak değişir. Günümüzde jeotermal kaynaklar dünya çapında termal turizm



Şekil 86: Jeotermal merkezi ısıtma, evleri minimum ısı kaybı ve sürdürülebilir re-enjeksiyon sistemleriyle verimli bir şekilde ısıtmak için yer altı düşüktür (yaklaşık 0,1–0,3 °C/km). Jeotermal akışkanın kullanıldığı merkezi ısıtma sistemlerinde, kuyulardan çekilen sıcak su veya buhar ana hat üzerinden ısıtma merkezine iletilir. Burada, jeotermal akışkanın ısısı, ısı eşanjörleri aracılığıyla binalarda dolaşan sirkülasyon suyuna aktarılır. Isısı alınan jeotermal akışkan, yeraltına geri enjekte edilerek sürdürülebilir kullanım sağlanır.

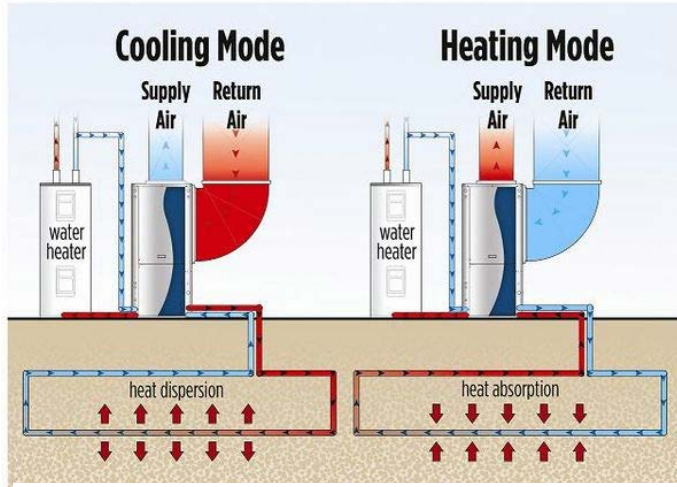
6.4.6. Jeotermal Enerji Uygulamaları

6.4.6.1. Konut Isıtma (Merkezi Isıtma Sistemi)

Jeotermal enerji, evleri ısıtmak için yaygın olarak kullanılan bir enerji kaynağıdır¹¹⁹. Jeotermal akışkan, ekonomik koşullara bağlı olarak merkezi ısıtma sistemleri aracılığıyla binalara taşınır. Özel yalıtımlı borular kullanılarak taşındığında sıcaklık kaybı oldukça

6.4.6.2. Yeraltı ve Su Kaynaklı Isı Pompası

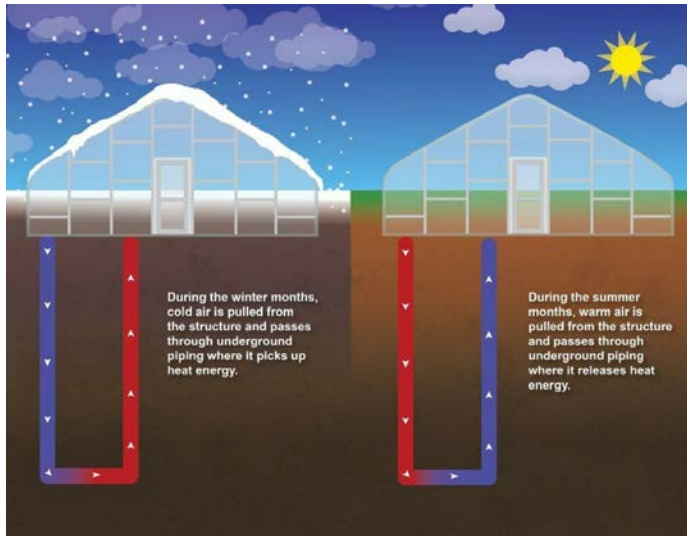
Jeotermal ısı pompaları, yer kabuğunun alt katmanlarındaki sıcaklığın yıl boyunca nispeten



Şekil 87:Yeraltı ve su kaynaklı ısı pompaları, yıl boyunca verimli ısıtma ve soğutma için sabit yeraltı sıcaklıklarını kullanır¹²⁰.

sabit olduğu ilkesine dayanmaktadır¹²⁰. Bu sistemlerde, düşük sıcaklıktaki jeotermal akışkan ısı taşıyıcısı olarak kullanılır veya yeraltı suyunun az olduğu bölgelerde kayaların ısısından yararlanılır¹²¹. Yeraltı ve su kaynaklı ısı pompaları için kuyular genellikle 100-200 metre derinliğe kadar delinir. Bu sistemler sıcak su temini, mekan ısıtma ve soğutma gibi çeşitli amaçlar için kullanılır. Özellikle konutlarda, ticari binalarda ve endüstriyel tesislerde enerji tasarrufu için tercih edilirler.

6.4.6.3. Sera Isıtma

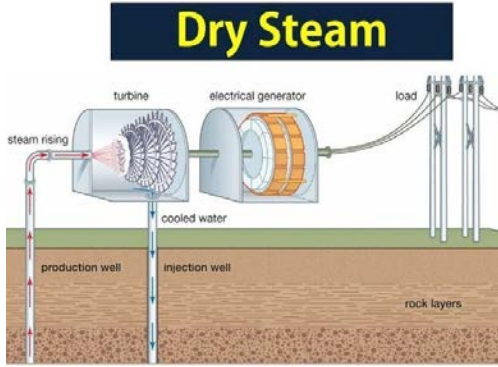


Şekil 88: Jeotermal enerji seralar için verimli ve çevre dostu ısıtma sağlayarak ürün verimini yıl boyunca artırır.

Jeotermal enerji seraları ısıtmak için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Sera ısıtma sistemleri kullanılan ısıtma tekniğine bağlı olarak değişir¹²². Jeotermal enerjiyle sera ısıtma için en uygun kaynaklar, 25-60°C sıcaklığa sahip sığ, yüzeysel jeotermal kaynaklardır. Bu kaynaklar, kazı, işletme, pompalama ve bakım maliyetleri daha düşük olduğundan ekonomik bir seçenek sunar. Jeotermal ısıtma, seralarda sıcaklık kontrolünü iyileştirir, bitki verimliliğini artırır ve fosil yakıt tüketimini azaltarak çevresel faydalar sağlar.

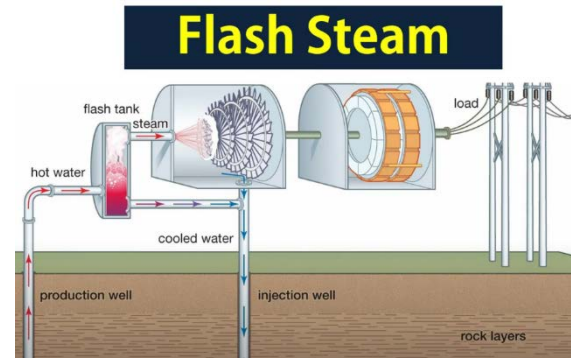
6.4.6.4. Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretimi

Jeotermal enerji santralleri, termik santrallerde olduğu gibi buhar türbinlerini kullanarak elektrik üretir. Jeotermal sıvının sıcaklığına ve bileşimine bağlı olarak elektrik üç farklı sistem aracılığıyla üretilir¹²³:

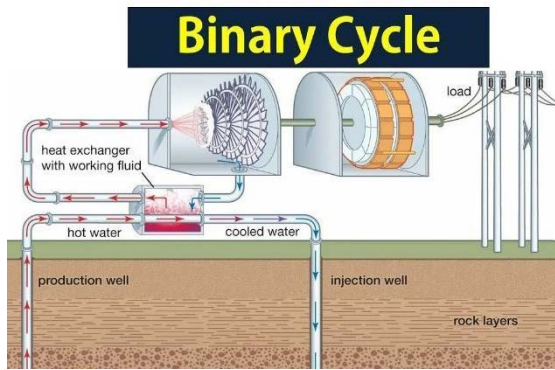


Şekil 89: Kuru buhar santralleri, türbinleri çalıştırmak ve elektrik üretmek için doğrudan yeraltı buharını kullanır.

2. Flaş Buhar Santralleri: Kaynaktan alınan sıcak akışkanın basıncı ayırıcılar tarafından düşürülür ve su ile buhar ayrılır. Elde edilen buhar, elektrik üretmek için türbinlerde kullanılırken, suyun bir kısmı da yer altına geri gönderilir¹²³.



Şekil 90: Flaş buhar sistemlerinde, türbini çalıştıran buharı üretmek için yüksek basınçlı sıcak suyun basıncı düşürülür.



Şekil 91: İkili çevrimli enerji santralleri, jeotermal sıvıdan daha düşük kaynama noktasına sahip ikincil bir sıvıya ısı aktarır, bu sıvı buharlaşır ve bir türbine güç sağlar.

1. İkili Çevrim Santralleri: Düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynaklardan faydalanmak için kullanılan bir yöntemdir. Bu sistemde, sıcak jeotermal akışkan ikinci bir akışkanı ısıtır ve buharlaştırır ve buharlaşan ikinci akışkan türbinlerde kullanılır¹²³.

Kuru buhar santrallerinde, yeraltından çıkarılan akışkan genellikle doymuş buhar ve sıvının bir karışımıdır. Buhar oranı yüksekse, buhar ayrılır ve doğrudan türbinlere yönlendirilir. Buhar oranı düşükse, basınç düşürülür (püskürtme yöntemi ile) ve akışkanın bir kısmı buharlaştırılarak elektrik üretilir.

6.5. Deniz-Okyanus Enerjileri



Şekil 92: Okyanus enerjisi sistemleri, elektrik üretmek için dalgalardan, gelgitlerden ve akıntılardan güç alır ve bunu kıyıya iletmek için su altı kablolarını kullanır¹²⁵.

Denizlerden ve okyanuslardan enerji elde etmenin çeşitli yöntemleri vardır^{124,125}. Bu yöntemler şunlardır:

- Yüzey Buharlaşma Enerjisi
- Akım Enerjisi
- Tuzluluk Gradyan Enerjisi
- Sıcaklık Gradyan Enerjisi
- Gelgit Enerjisi
- Dalga Enerjisi

Ancak günümüz teknolojisi ve ekonomik koşulları göz önüne alındığında dalga ve gelgit enerjisi dışındaki deniz enerjilerinden verimli bir şekilde enerji üretmek mümkün değildir¹²⁶. Bu nedenle deniz-okyanus enerjileri arasında en yaygın kullanılan kaynaklar dalga ve gelgit enerjisidir.



Şekil 93: Fransa'daki 240 MW kapasiteli Rance Gelgit Enerji Santrali, 750 metrelik barajıyla faaliyet gösteren dünyanın ilk ve en büyük gelgit enerjisi projelerinden biridir.

6.5.1. Dünyadaki Deniz-Okyanus Enerjileri

Deniz ve okyanus enerjilerinin kullanımı antik çağlara dayanır. Bilinen ilk gelgit değirmeni MS 537'de Romalılar tarafından işletilmiştir. Günümüzün gelgit santralleri, Newton'un 17. yüzyılda açıkladığı gibi, yerçekimi yasasının prensiplerine dayanmaktadır.

Gelgit hareketinden elektrik üretmek için, gelgit genliğinin yüksek olduğu bölgelerde baraj yapıları inşa edilir. Bu sistemin en önemli örneklerinden biri Fransa'daki Rance Gelgit Enerji Santrali'dir. Bu santralin gücü 240 MW'tır ve 750 metre uzunluğunda bir barajı vardır.

Bir diğer büyük ölçekli enerji santrali ise 2011 yılında tamamlanan Güney Kore'deki 254 MW'lık Sihwa Gölü Enerji Santrali'dir¹²⁷. Dalga enerjisini elektrik üretmek için kullanma fikri 1700'lerden beri tartışılıyor. Ancak 20. yüzyılda dalga enerjisi ilk olarak ABD'nin San Francisco ve Kaliforniya eyaletlerinde elektrik üretiminde kullanıldı.

Modern dalga enerjisi teknolojileri kullanılarak inşa edilen dünyanın ilk büyük kapasiteli enerji santrali, 500 kW kapasiteyle İskoçya'nın batı kıyısındaki Islay Adası'nda inşa edildi. 2023 itibarıyla küresel okyanus enerjisi projelerinin toplam kurulu kapasitesi 527 MW olarak belirlendi. Bu projelerin yaklaşık %50'si Asya'da ve %45'i Avrupa'da.

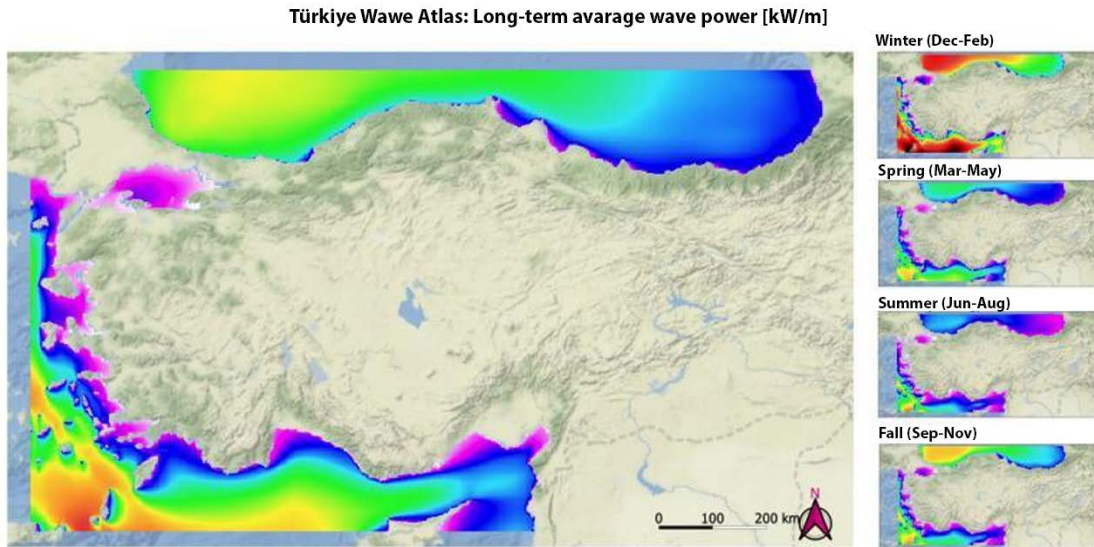


Şekil 94: Güney Kore'de bulunan Sihwa Gölü Gelgit Enerji Santrali, 254 MW kapasitesiyle dünyanın en büyük gelgit enerjisi tesisidir ve 2011 yılında tamamlanmıştır.

6.5.2. Ortak Ülkelerde Deniz-Okyanus Enerjileri

6.5.2.1. Türkiye'de Deniz-Okyanus Enerjileri

Türkiye, deniz ve okyanus enerjisi açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Özellikle dalga enerjisi, ülkemizin enerji çeşitliliğini artırmada önemli bir kaynak olarak öne çıkmaktadır. Türkiye denizlerinde yapılan ölçümlere göre yıllık yaklaşık 50 TWh teknik dalga enerjisi potansiyeli bulunmaktadır. Potansiyelin en yüksek olduğu bölgeler özellikle İzmir-Antalya arasındaki kıyı şeridinde yoğunlaşmaktadır. Bu nedenle dalga enerjisinden elektrik üretimi için en uygun yerler olarak Antalya-İzmir (Finike-Dalaman) arasındaki bölgeler kabul edilmektedir. Türkiye'de açık deniz rüzgar enerjisi projeleri için de çalışmalar hız kazanmıştır.



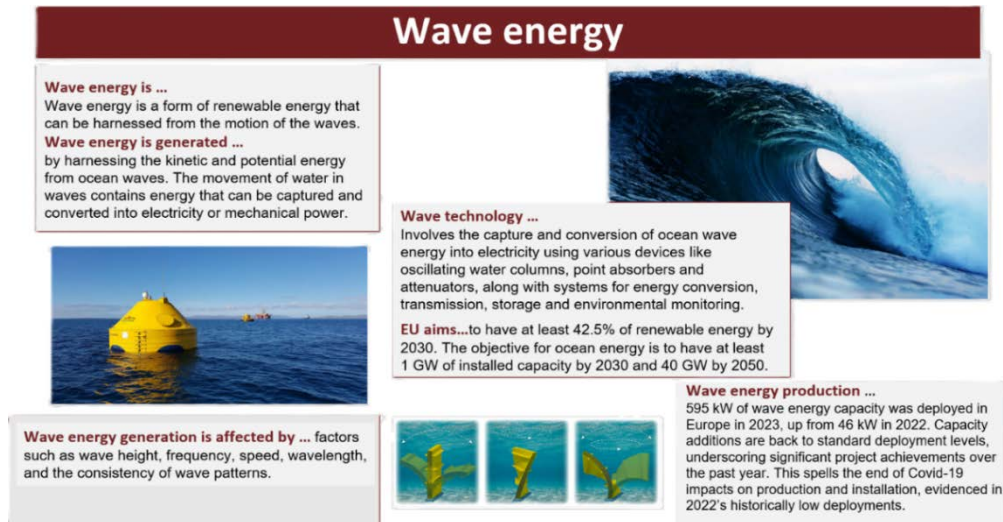
Şekil 95: Dalga enerjisi potansiyelinin en yüksek olduğu bölge İzmir-Antalya'dır.

Dünya Bankası tarafından hazırlanan "Türkiye Offshore Rüzgar Enerjisi Yol Haritası" raporuna göre, Türkiye'nin karasularında toplam teknik offshore rüzgar enerjisi potansiyeli 75 GW'tır.

Raporda, 2040 yılına kadar 7 GW offshore rüzgar enerjisi kapasitesine ulaşılabileceği öngörülmektedir¹²⁸. Türkiye'de deniz enerjisi ile ilgili ticari projeler hala sınırlı olmakla birlikte akademik düzeyde çeşitli araştırma ve deneysel projeler yürütülmektedir. Özellikle 2007 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın dalga enerjisi konusunda yürüttüğü projede, dalgaların düşey hareketinin jeneratörler tarafından elektrik enerjisine dönüştürüldüğü mavnalar kullanılmış ve bu sistemle 5 kWh elektrik üretilerek iki evin enerji ihtiyacı karşılanmıştır. Bunun sonucunda Türkiye'nin deniz ve okyanus enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesi için hem kamu kurumları hem de özel sektör tarafından çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Özellikle 2024 yılında açık deniz rüzgar enerjisi projelerine ilişkin teknik çalışmaların başlaması, ülkemizin yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve enerji arz güvenliğinin artırılması açısından önemli bir adım olacaktır.

6.5.2.2. Yunanistan'da Deniz-Okyanus Enerjileri

Yunanistan, özellikle dalga enerjisi ve açık deniz rüzgarı olmak üzere deniz ve okyanus enerjisi geliştirme konusunda önemli bir potansiyele sahiptir. Ülkenin uzun kıyı şeridi ve elverişli coğrafi koşulları, onu deniz yenilenebilir enerji projeleri için ideal bir yer haline getirir. Yunanistan'ın dalga enerjisi potansiyeli özellikle dikkat çekicidir ve çalışmalar yıllık yaklaşık 35 TWh teknik potansiyel tahmin etmektedir. Ege Denizi, özellikle Kiklad Adaları ve güney Mora çevresi, en yüksek dalga enerjisi potansiyelini sunarak bu alanları elektrik üretimini ve Yunanistan'ın yenilenebilir enerji hedeflerini desteklemek için dalga enerjisi geliştirme açısından ideal hale getirir. Açık deniz rüzgar enerjisi de ilgi görüyor ve Yunanistan'ın Ege ve İyonya Denizlerindeki Münhasır Ekonomik Bölgesi (MEB) rüzgar çiftlikleri için mükemmel koşullar sağlıyor. Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı, ülkenin açık deniz rüzgar potansiyelini 22 GW'a kadar tahmin ediyor. Son yıllarda, hükümetin Ege Denizi'nde geliştirmeleri için alanlar tahsis ettiği çeşitli açık deniz rüzgar projeleri önerildi. Bu projeler, Yunanistan'ın yenilenebilir enerji hedeflerine ulaşması ve enerji güvenliğini iyileştirmesi için olmazsa olmazdır. Hükümet ayrıca, deniz enerjisine yönelik izin verme sürecini kolaylaştırmak ve özel yatırım çekmek için düzenleyici reformlar başlattı.



Şekil 96: Yunanistan, özellikle Ege Denizi'nde yüksek dalga enerjisi potansiyeline sahip olup, dalga ve açık deniz rüzgar enerjisi gibi deniz yenilenebilir enerji kaynaklarını genişletmeyi hedeflemektedir.

Yunanistan ticari deniz ve okyanus enerjisi projeleri geliştirmenin henüz erken aşamalarında olmasına rağmen, çeşitli araştırma ve pilot girişimler devam etmektedir. Ülkenin uluslararası işbirliklerine ve AB tarafından finanse edilen projelere katılımı, deniz enerjisinin teknolojik ve ekonomik uygulanabilirliğini ilerletmektedir. Çevre ve Enerji Bakanlığı, verimli dalga ve açık deniz rüzgar enerjisi kullanımı için gerekli çevresel etkiler ve teknolojik yenilikler üzerine çalışmalarını desteklemektedir¹²⁹. Yunanistan, önümüzdeki yirmi yıl içinde deniz enerjisi kapasitesini önemli ölçüde genişletmeyi ve ülkenin daha sürdürülebilir bir enerji sistemine geçişinin önemli bir parçası haline getirmeyi planlamaktadır.

Sonuç olarak, Yunanistan deniz ve okyanus enerjisi potansiyelini, özellikle dalga ve açık deniz rüzgar enerjisi yoluyla değerlendirmek için iyi bir konumdadır. Devam eden araştırmalar, düzenleyici destek ve teknolojiye yapılan yatırımlarla Yunanistan'ın Akdeniz'de deniz yenilenebilir enerjisini ilerletmede önemli bir oyuncu olması ve hem ulusal hem de bölgesel enerji sürdürülebilirliğine katkıda bulunması bekleniyor.

6.5.2.3. Portekiz'de Deniz-Okyanus Enerjileri

Portekiz, 50 yıldan uzun süredir dalga enerjisini araştırıyor ve öncü akademik çalışmalar 1970'lerde başladı. şu anda, bu alandaki enerji projeleri, açık deniz rüzgar çiftlikleri hariç, elektrik üretimi için dalga enerjisiyle sınırlıdır. Ülke, dalga enerjisinden yararlanmak için elverişli koşullar sunan 800 km'lik geniş batı kıyı şeridinden faydalanmaktadır. Azorlar, Pico Adası, Porto Cachorro'daki "Central do Pico" projesi, elektrik şebekesine bağlı dünyadaki ilk araştırma ve gösteri dalga enerjisi santraliydi. Çalışmalarına 1986'da başladı ve 1999'da Portekiz'de geliştirilen salınlı su sütunu teknolojisi ve bir türbin kullanarak faaliyete geçti. Santral 2018'de kapandı ve o zamandan beri yeniden faaliyete geçirme girişimleri oldu.

Portekiz ayrıca kuzey (Aguçadoura) ve orta (Peniche) bölgelerinde dalga enerjisi projeleri uyguladı. Dalga enerjisinin muazzam potansiyeline rağmen, dalga enerjisinin geliştirilmesi teknolojik ve bakım zorluklarıyla karşı karşıya kaldı ve bu da sınırlı kurulu güç kapasitesiyle sonuçlandı. 2017 ile 2019 yılları arasında, bir haliçteki nehir akıntılarında enerji kullanan deneysel bir gelgit akıntısı sistemi güney kıyısına kuruldu, ancak bu kaynağın potansiyeli düşük olarak kabul ediliyor. Portekiz'deki dalga enerjisinin geliştirilmesi, Ulusal Enerji ve İklim Planı (PNEC 2030) da dahil olmak üzere çeşitli ulusal planların bir parçasıdır ve önümüzdeki yıllarda önemli bir büyüme beklenmektedir¹³⁰.



Şekil 97: Portekiz, Aguçadoura, Peniche ve Azorlar da dahil olmak üzere kıyı şeridi boyunca çeşitli dalga enerjisi projeleri geliştirerek deniz yenilenebilir enerjisindeki inovasyona katkıda bulunmuştur.

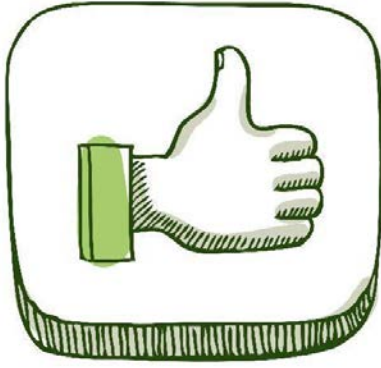
6.5.2.4. Kuzey Makedonya'da Deniz-Okyanus Enerjileri

Kuzey Makedonya karayla çevrili bir ülke olduğundan dalga, gelgit veya açık deniz rüzgar enerjisi gibi deniz veya okyanus enerjisi kaynaklarına doğrudan erişimi yoktur¹³¹. Sonuç olarak, ülke içinde şu anda deniz ve okyanus enerjisiyle ilgili deniz enerjisi projeleri, araştırma girişimleri veya altyapı geliştirmeleri bulunmamaktadır. Ülkenin yenilenebilir enerji çabaları bunun yerine hidroelektrik, güneş, rüzgar ve jeotermal kaynaklara odaklanmıştır.

Kuzey Makedonya deniz tabanlı enerji kaynaklarını kullanmak için coğrafi özelliklere sahip olmasa da, rüzgar ve güneş enerjisine yapılan önemli yatırımlar aracılığıyla yenilenebilir enerji sektörünü aktif olarak geliştirmektedir. Bu çabalar, ülkenin enerji karışımını çeşitlendirmeyi, enerji güvenliğini artırmayı ve çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

6.5.3. Deniz-Okyanus Enerjisinin Olumlu ve Olumsuz Etkileri

Deniz ve okyanus enerjisi sürdürülebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağı olarak öne çıkıyor¹³². Bu tür enerjiler, rüzgar estiği sürece dalgaların ve Dünya ile Ay arasındaki çekim kuvveti var olduğu sürece gelgit hareketlerinin devam etmesi nedeniyle tükenmez kaynaklar olarak kabul edilir. Ancak bu sistemlerin bazı avantajlarının yanı sıra çeşitli zorlukları ve dezavantajları da vardır.



Avantajları

- Dalga ve gelgit enerjisi doğanın sağladığı sınırsız bir enerji kaynağıdır.
- Fosil yakıt tüketimi olmadığından sera gazı emisyonları sıfıra yakındır.
- Deniz enerjisi santralleri karbon emisyonlarını azaltarak küresel ısınmaya olumlu katkıda bulunur.
- Deniz enerjisi sistemleri genellikle dayanıklı yapılardır ve uzun yıllar enerji üretmeye devam edebilirler.
- Gelgit barajları bulundukları bölgelerde dalgakıran

görevi görerek taşkınları önleyebilirler.

- Denizde inşa edildikleri için kara ekosistemine doğrudan bir etkileri yoktur ve tarım alanlarını korurlar.
- Deniz enerjisi dışa bağımlılığı azaltarak enerji arz güvenliğini artırabilir.
- Deniz üzerindeki santrallerin etrafına turistik tesisler inşa edilebilir.
- Lagün görevi görerek belirli türlerin üremesi için uygun bir ortam yaratabilir.
- Kış aylarındaki yoğun dalgalar nedeniyle enerji talebinin arttığı dönemlerde daha fazla üretim yapılabilir.



Dezavantajları

- Dalga ve gelgit hareketleri sabit olmadığından enerji üretimi düzensiz olabilir.
- Deniz enerjisi santrallerinin kurulum maliyetleri diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha yüksektir.
- Türbinler deniz canlılarının göç yollarını değiştirebilir ve kıyı ekosistemlerini olumsuz etkileyebilir.
- Kıyıya yakın inşa edilen tesisler estetik kaygılar ve

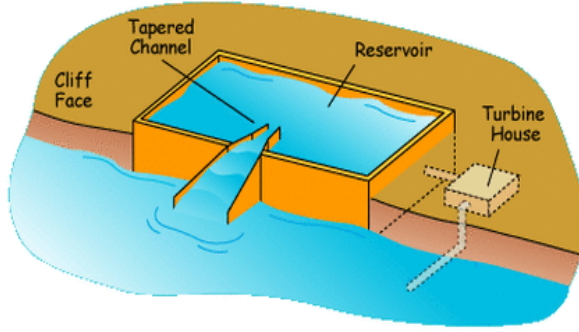
gürültü kirliliği yaratabilir.

- Kıyıdan uzakta inşa edilen enerji santralleri gemi trafiğini ve balıkçılığı olumsuz etkileyebilir.
- Akarsuların denize akışını engelleyebilir ve su birikmesine neden olabilir.
- Suda dönen türbinler deniz canlıları için fiziksel risk oluşturabilir..

6.5.4. Dalga Enerjisi

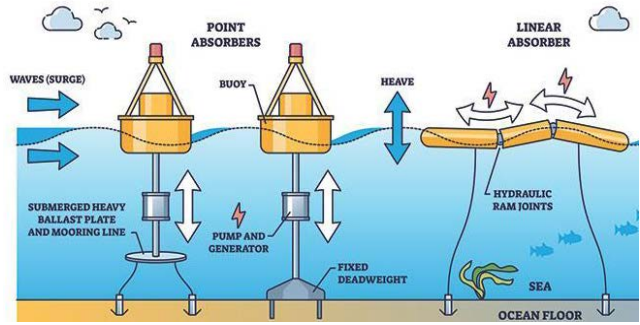
Dalga enerjisi, deniz ve okyanus yüzeyindeki rüzgarın hareketi sonucu oluşan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Dalga enerjisi santralleri, deniz yüzeyine veya deniz tabanına yerleştirilen sistemlerle çalışır. Dalgaların hareketiyle dönen türbinler, bir jeneratör aracılığıyla elektrik üretir. Elektrik üretiminin yanı sıra dalga enerjisi, hidrojen üretimi gibi farklı alanlarda da kullanılabilir¹³³. Dalga enerjisinin kullanımı dünya çapında sınırlı olsa da, öncelikli olarak ABD, Portekiz ve bazı Avrupa ülkeleri tarafından değerlendirilmektedir.

Dalga hareketi, rüzgarın deniz yüzeyiyle sürtünmesi sonucu oluşur. Bu hareketten enerji elde etmek için farklı sistemler geliştirilmiştir:

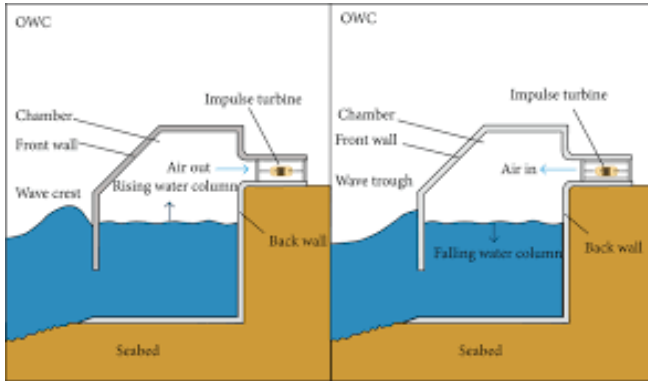


Şekil 98: Kanal sistemi¹³⁴.

- **Hidrolik pompa sistemleri:** Dalga hareketiyle çalışan yüzer sistemlerdir.



Şekil 99: Hidrolik pompa sistemi.



Şekil 100: Salınlı su kolonu (OWC) sistemleri¹³⁵.

- **Salınlı su sütunu (OWC) sistemleri:** Bunlar havayı sıkıştırarak elektrik üreten mekanizmalardır¹³⁵.

Bu sistemler dalga enerjisini mekanik enerjiye ve ardından kullanım için elektrik enerjisine dönüştürür. Dalga enerjisi dönüşüm sistemleri iki ana gruba ayrılır:

1. **Aktif sistemler:** Dalga hareketinden doğrudan mekanik enerji üretir. Örnekler: Duck ve The Raft sistemleri.
2. **Pasif sistemler:** Dalga enerjisini hidrolik kaldırma kuvvetine ve ardından potansiyel enerjiye dönüştürerek elektrik üretir. Örnekler: Salınlı Su Kolonu (OWC) ve TAPCHAN (büzülen kanal sistemi).

Dalga enerjisi sistemleri, kurulum alanlarındaki dalga kuvveti ve deniz koşulları dikkate alınarak tasarlanmalıdır. İdeal bir sistem, dalga yönündeki değişikliklere dayanıklı olmalı, kısa süreli enerji depolama kapasitesine sahip olmalı ve enerji üretimindeki değişiklikleri dengeleyebilmelidir.

6.5.4.1. Dalga Enerjisi Dönüşüm Sistemleri

Dalga enerjisi dönüşüm sistemleri kurulum alanlarına göre üç gruba ayrılır¹³⁶:

1. Kıyı Şeridine Kurulan Sistemler:

Sabit veya kıyıya gömülü olarak inşa edilirler.

Dalga gücü kıyıda daha düşük olduğundan enerji verimliliği düşüktür.

2. Kıyıya Yakın Tip Uygulamalar:

15-25 metre derinliklere yerleştirilirler.

Salınlı Su Kolonu (OWC) sistemleri yaygın olarak kullanılır.

3. Açık Deniz Tip Uygulamalar:

40 metre ve üzeri derinliklere yerleştirilirler.

Yüksek dalga rejimleri için uygundur.

Enerjiyi kıyıya aktarmak için uzun elektrik kablolarına ihtiyaç duyarlar.

Pelamis Sistemi: Hidrolik silindirlereki hidrolik yağın hareketiyle jeneratörü çalıştıran ve elektrik üreten bir sistemdir.

6.5.5. Gelgit Enerjisi

Güneş ve Ay'ın çekim kuvveti nedeniyle deniz ve okyanus yüzeyindeki suyun düzenli olarak yükselip alçalmasına gelgit denir. Bu periyodik hareket elektrik üretmek için kullanıldığında gelgit enerjisi elde edilir¹³⁷.



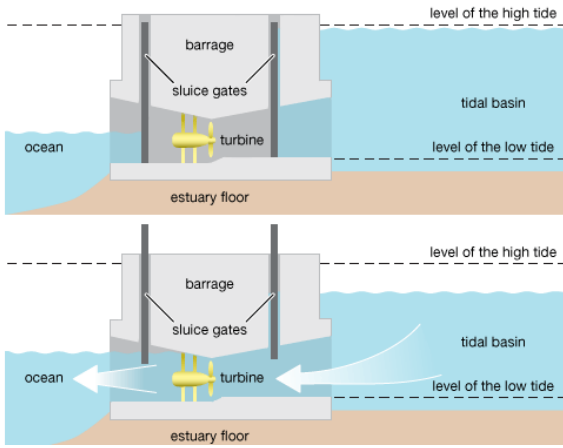
Şekil 101: “Gelgit hareketleri türbinler kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülerek yenilenebilir bir güç kaynağı sağlanmaktadır.

Gelgit enerjisinden elektrik üretimi iki temel yolla yapılabilir:



1. Gelgit Akıntısı Değirmenleri: Kuzey Amerika ve Avrupa'da yüzyıllardır mekanik enerji üretmek için kullanılmaktadır. Bunlar, doğrudan akım hareketinden enerji elde eden sistemlerdir¹³⁷.

Şekil 102: Gelgit akıntısı değirmenleri, gelgit akımlarının kinetik enerjisini, tarihsel olarak tahıl öğütmek için kullanılan mekanik güce dönüştürür.

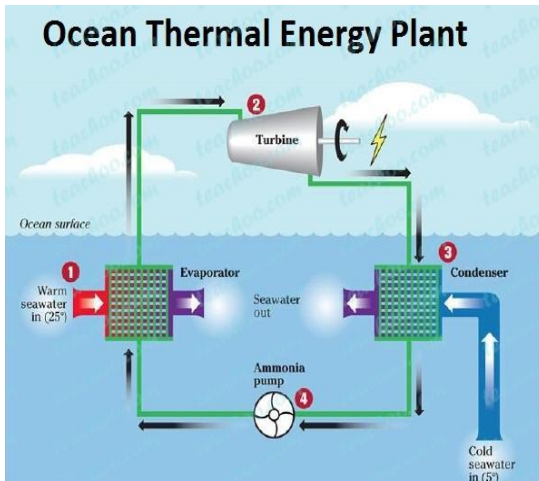


Şekil 103: Bir gelgit barajı, yüksek ve alçak gelgitler sırasında deniz seviyelerindeki farktan elektrik üretmek için su yolu kapakları ve türbinler kullanır¹³⁸.

Gelişen teknolojiyle birlikte gelgit türbinleri de kullanılmaya başlandı. Bu türbinler, gelgit akıntılarının güçlü olduğu bölgelerde kara ile bir ada veya iki ada arasına yerleştirilir ve suyun hareketiyle enerji üretir. Deniz altına yerleştirilen bu türbinler, rüzgar türbinlerine benzer şekilde çalışır ve suyun kinetik enerjisini mekanik enerjiye ve ardından elektrik enerjisine dönüştürür¹³⁷.



Şekil 104: Modern gelgit türbinleri, su altı rüzgar türbinleri gibi çalışarak gelgit akımlarını elektrik enerjisine dönüştürür¹³⁸.



Şekil 105: OTEC sistemleri, sıcak yüzey suyu ile soğuk derin deniz suyu arasındaki sıcaklık farkını kullanarak elektrik üretir¹³⁹.

Gelgit Barajları: Hidroelektrik santrallerindeki baraj sistemine benzer. Gelgit sırasında deniz seviyesi yükseldiğinde, kapaklar açılır ve baraj suyla dolar¹³⁸. Gelgit çekildiğinde, suyun geri akışı türbinleri döndürür ve elektrik üretir¹³⁷.

6.5.6. Okyanus Termal Enerjisi

Güneşten gelen radyasyonun çoğu denizler ve okyanuslar tarafından emilir ve ısı olarak depolanır¹³⁹. Bu, okyanus yüzeyi ile derin sular arasında bir sıcaklık farkına neden olur. Okyanusun yüzey suları genellikle daha sıcakken, derin sular daha soğuktur. Bu sıcaklık farkı enerji üretmek için kullanılabilir¹⁴⁰.

Okyanus Termal Enerji Dönüşümü (OTEC) sistemi, okyanus yüzeyi ile derinlikleri arasındaki sıcaklık farkından elektrik üretmeyi amaçlayan bir yöntemdir¹⁴⁰. Bu kavram ilk olarak 1881 yılında Fransız biyofizikçi Jacques Arsène d'Arsonval tarafından tanımlanmıştır.

OTEC sistemi nasıl çalışır?

- Okyanus yüzeyinden gelen sıcak su, düşük kaynama noktasına sahip bir sıvıyı (örneğin amonyak) buharlaştırmak için kullanılır.
- Buhar, elektrik üretmek için bir türbini döndürür.
- Bu buhar daha sonra okyanusun soğuk derin suları kullanılarak yoğunlaştırılır ve sistem tekrar açılır.

OTEC sistemleri üç farklı şekilde uygulanabilir:

1. Kapalı Döngü OTEC:

Düşük kaynama noktasına sahip bir sıvı (örneğin, amonyak) kullanılır. Sıcak su bu sıvıyı buharlaştırır, türbinleri döndürür ve enerji üretir. Sıvı daha sonra soğuk derin su ile yeniden yoğunlaştırılır ve sistem devam eder.

2. Açık Döngü OTEC:

Okyanus yüzeyindeki sıcak su doğrudan düşük basınçlı bir alana alınır ve buharlaştırılır. Buhar bir türbini döndürerek elektrik üretir. Daha sonra soğuk su ile yoğunlaştırılır ve sıvı haline geri döndürülür.

3. Hibrit OTEC:

Kapalı ve açık döngü sistemlerinin birleşimidir. Her iki yöntemin avantajları verimliliği artırmak için kullanılır.

OTEC çevre dostu ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır. Ancak sistemin kurulumu pahalıdır ve yalnızca sıcaklık farkının önemli olduğu tropikal okyanus bölgelerinde uygulanabilir¹⁴⁰.

6.6. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle, biyolojik ve fosil olmayan organik maddelerden oluşan bir enerji kaynağıdır. Bitkiler, fotosentez yoluyla güneş enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürür ve bu enerji, bitki ve hayvan atıkları yoluyla biyokütle enerjisine dönüştürülebilir⁴⁸.



Biyokütle kaynakları ikiye ayrılır: Geleneksel ve modern:

- Geleneksel biyokütle, odun, gübre ve tarımsal atık gibi evsel amaçlar için kullanılan biyokütle kaynaklarını içerir.
- Modern biyokütle, özel olarak yetiştirilen enerji tesisleri, kentsel ve endüstriyel atık ve biyogaz üretimi gibi ileri teknolojilere dayanan bir biyokütle türüdür.

Biyokütle enerjisi, gıda endüstrisi artıkları, orman artıkları, su ve kara bitkileri, hayvan atıkları ve şehir atıkları gibi birçok farklı kaynaktan elde edilebilir. Bu malzemeler yenilenebilir ve kısa sürede yeniden üretilebilir⁴⁸.



Avantajları

- Önemli bir enerji kaynağı olma potansiyeline sahiptir.
- Sera gazı emisyonlarını azaltarak çevresel faydalar sağlar.
- Fosil yakıt ithalatını azaltarak enerji güvenliğini artırır.
- Kırsal alanlarda ekonomik kalkınmayı destekler ve istihdam yaratır.
- Atık yönetimi sorunlarını azaltır ve kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlar.



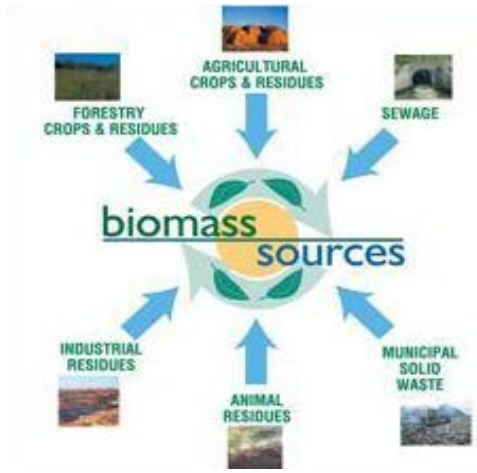
Dezavantajları

- Biyokütle enerjisi, fosil yakıtlardan daha düşük bir enerji yoğunluğuna sahiptir, bu da daha fazla malzemenin kullanılması gerektiği anlamına gelir.
- Yakıt olarak ağaç ve bitki kullanmak, kontrolsüzce yapılırsa ormansızlaşmaya ve ekosistem bozulmasına yol açabilir.
- Biyokütle yakmak, karbondioksit (CO₂), karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x) ve ince parçacıklar gibi kirleticileri serbest bırakabilir.

- Biyokütle üretimi için yetiştirilen bitkiler büyük miktarda su gerektirir. Bu, su kaynakları üzerinde baskı oluşturabilir.
- Enerji üretimi için kullanılan tarım arazileri gıda üretimiyle rekabet edebilir ve gıda fiyatlarının artmasına neden olabilir.
- Biyokütle hammaddelerinin depolanması ve taşınması, fosil yakıtlardan daha zahmetli ve maliyetli olabilir.
- Biyokütlenin enerjiye dönüştürülmesi sırasında kayıplar meydana gelebilir ve bazı teknolojiler hala geliştirilme aşamasındadır.

Biyokütle enerjisi, sürdürülebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağı olarak yenilenebilir enerji sistemleri içerisinde önemli bir yere sahiptir.





Şekil 107: Biyokütle enerjisi tarımsal, ormansal, endüstriyel ve kentsel organik atıklar da dahil olmak üzere çok çeşitli kaynaklardan üretilebilir¹⁴¹.

6.6.1. Biyokütle Kaynakları

Enerji üretiminde kullanılabilen biyokütle kaynakları dört ana gruba ayrılabilir¹⁴¹:

1. Orman Ürünleri:

Hızlı büyüyen ağaç türleri (söğüt, kavak, okaliptüs vb.) Orman artıkları (odun yongaları, talaş, budama artıkları vb.)

2. Tarım Ürünleri:

Enerji için yetiştirilen bitkiler (miscanthus, kamış, sorgum vb.), yağ, nişasta ve şeker içeren bitkiler (mısır, şeker kamışı vb.), hayvan dışkıları ve kesim artıkları

3. Endüstriyel Atık:

Tarımsal-endüstriyel atıklar
Orman ürünleri ve kağıt endüstrisi atıkları

4. Kentsel Atık:

Tarımsal-endüstriyel atıklar
Orman ürünleri ve kağıt endüstrisi atıkları
Organic household waste

6.6.1.1. Enerji Santralleri

Yenilenebilir enerji kaynaklarının öneminin artmasıyla birlikte her türlü toprak koşulunda yetişebilen özel bitkiler enerji üretimi için yetiştirilmeye başlanmıştır. Enerji bitkileri arasında sorgum, mısır, tütün, endüstriyel kenevir, miskantus, süpürge otu, şeker kamışı ve çeşitli yabani otlar yer almaktadır.

Enerji santrallerinin başlıca özellikleri:

- C4 bitkileri olarak bilinirler ve kuraklığa dayanıklıdır.
- Güneş ışığını verimli bir şekilde enerjiye dönüştürme kapasitesine sahiptirler.
- Havadan karbondioksiti (CO₂) emme kapasiteleri yüksektir, bu nedenle küresel ısınmayla mücadelede önemli bir rol oynarlar.
- Çeşitli biyoyakıt ve enerji üretiminde kullanılırlar ve yüksek verimlilik sağlarlar.

6.6.2. Biyokütle Dönüşüm Prosesleri ve Teknolojileri

Biyokütleyi enerjiye dönüştürmek için farklı yöntemler uygulanır. Bu işlemler üç ana gruba ayrılabilir¹⁴¹:

1. Fiziksel İşlemler:

- **Susuzlaştırma ve kurutma:** Biyokütlenin nem içeriği azaltılarak daha verimli bir şekilde yakılması sağlanır.
- **Boyut küçültme:** Öğütme veya parçalama işlemiyle biyokütle küçük parçalara ayrılır.
- **Yoğunluk artışı:** Presleme veya peletleme yoluyla biyokütlenin hacmi azaltılarak taşınması ve depolanması kolaylaştırılır.
- **Ayırma:** Biyokütlede bulunan farklı bileşenlerin ayrılması işlemi gerçekleştirilir.

2. Termokimyasal İşlemler:

- **Doğrudan yanma:** Biyokütle doğrudan yakılarak ısı veya elektrik üretimi sağlanır.
- **Gazlaştırma:** Yüksek sıcaklıktaki biyokütleden hidrojen (H_2), karbon monoksit (CO) ve metan (CH_4) gibi gazlar elde edilir.
- **Piroliz:** Yüksek sıcaklıkta ve oksijensiz bir ortamda biyokütle, biyoyakıt, biyogaz ve biyokömür gibi ürünler elde etmek için parçalanır.
- **Sıvılaştırma:** Biyokütle, özel işlemlerle (biyodizel, biyoetanol, vb.) sıvı yakıtlara dönüştürülür.

3. Biyokimyasal İşlemler:

- **Fermantasyon:** Şeker içeren biyokütle, biyoetanol gibi biyoyakıtlar üretmek için mikroorganizmalar tarafından parçalanır.
- **Anaerobik fermantasyon:** Biyogaz (metan, CO_2), oksijensiz bir ortamda mikroorganizmalar tarafından organik atıkların parçalanmasıyla üretilir.
- **Mekanik ekstraksiyon:** Bitkisel yağlardan biyoyakıt üretmek için fiziksel sıkma veya presleme uygulanır.



Şekil 108: Uygun atık yönetimi, malzemelerin geri kazanılmasını sağlar ve geri dönüşüm ve enerji dönüşümü yoluyla çevresel etkiyi azaltır.

6.6.3. Atık Yönetimi

Atıklar, insan faaliyetleri sonucu oluşan ve doğrudan kullanılamayan maddelerdir. Çevreye zarar verme potansiyeline sahip olan bu maddeler, uygun yöntemlerle yönetilmediğinde ekolojik dengenin bozulmasına ve insan sağlığının tehlikeye girmesine neden olabilir.

Katı atıklar zararlı ve zararsız olmak üzere iki ana gruba ayrılır:

1. Zararlı Atıklar: Bunlar insan sağlığına ve çevreye zarar verebilecek ve özel işlemlerle bertaraf edilmesi gereken atıklardır. Bunlar toksik, yanıcı veya aşındırıcı özelliklere sahip olabilir. Örneğin kimyasal atıklar, piller, tıbbi atıklar bu gruba girer.

2. Zararsız Atıklar: Çevreye ve insan sağlığına doğrudan zarar vermeyen organik ve inorganik maddelerden oluşur. Evsel ve doğal atıklar bu kategoridedir.

Ayrıca katı atıkların kaynaklarına göre farklı türleri bulunmaktadır:

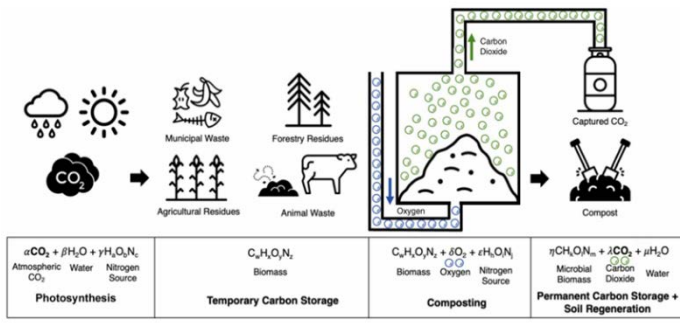
- **Evsel Atık:** Organik ve inorganik çöpler, küller, eski mobilyalar vb.
- **Endüstriyel Atık:** Endüstriyel tesislerden gelen metal, plastik, kimyasal ve üretim artıkları.
- **Ticari ve Kurumsal Atık:** Ofislerden, okullardan, restoranlardan ve mağazalardan gelen atıklar.
- **Belediye Atıkları:** Sokak temizliğinden, parklardan ve bahçelerden toplanan atıklar.
- **Özel Atık:** Tehlikeli bileşenler içeren ve özel bertaraf gerektiren atıklar (örneğin boya, pil, tıbbi atıklar).
- **Tarımsal Atıklar:** Tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan organik atıklar, gübreler ve hayvansal atıklar.

6.6.3.1. Atık Yönetim Sistemleri

Atık yönetimi toplumun yaşam alışkanlıklarına ve bölgenin coğrafi özelliklerine göre farklılık gösterebilir. Ancak asıl amaç atıkları çevreye zarar vermeden bertaraf etmek ve mümkün olduğunca tekrar kullanmaktır. Bunun için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır¹⁴²:

- **Atık Azaltma:** Atık oluşumunu en başından itibaren önlemek için önlemler alınarak çevresel etkiler ve maliyetler azaltılır.
- **Geri Dönüşüm:** Plastik, cam, metal, kağıt gibi malzemelerin ayrıştırılıp geri dönüştürülmesi sağlanır.
- **Atık Geri Dönüşümü:** Atıkların biyolojik, kimyasal veya fiziksel yöntemlerle (örneğin biyogaz üretimi) farklı bir enerji kaynağına dönüştürülmesi.
- **Geri Dönüşüm:** Atıkların bazı işlemlerden geçirilerek yeniden kullanılabilir hale getirilmesi.
- **Çöp Sahası:** Geri dönüştürülemeyen atıkların özel alanlarda kontrollü bir şekilde gömülmesi.

6.6.3.2. Kompostlama



Şekil 109: Kompostlama, organik atıkları besin açısından zengin humusa dönüştürerek karbon döngüsüne ve toprak zenginleşmesine katkıda bulunur¹⁴³.

Kompostlama, biyolojik atıkları doğal süreçlerle parçalayan ve toprağa faydalı hale getiren çevre dostu bir geri dönüşüm yöntemidir¹⁴³. Bu işlemde organik atıklar, aerobik koşullarda mikroorganizmalar tarafından parçalanarak humus adı verilen, bitki besin maddeleri açısından zengin bir maddeye dönüştürülür.

Atık miktarını azaltır ve çöplüklerin yükünü hafifletir.

Toprak verimliliğini artırır ve doğal gübre ihtiyacını karşılar.

Kimyasal gübre kullanımını azaltarak çevreye zarar vermeyen bir alternatif sunar.

Metan gazı salınımını azaltarak sera gazı etkileşimini düşürmeye katkı sağlar.

Kompostlaştırma işlemi genellikle dört aşamada gerçekleşir:

1. Başlangıç Aşaması (1-3 gün):

Mikroorganizmalar organik atıkları parçalamaya başlar.

Sıcaklık hızla yükselir.

2. Yüksek Ayrışma Evresi (10-100 gün):

Yağlar, selüloz ve lignin gibi kompleks bileşenler parçalanır.

Sıcaklık 40°C'yi aşar ve bu süreçte zararlı mikroorganizmalar yok edilir.

3. Stabilizasyon Evresi (10-100 gün):

Ayrışma yavaşlar, sıcaklık düşmeye başlar.

Organik bileşikler daha basit formlara dönüşür.

4. Olgunlaşma Evresi (1-6 ay):

Kompost tamamen stabil hale gelir ve kullanıma hazır hale gelir.

Tarım ve bahçecilikte besin açısından zengin bir toprak düzenleyici olarak kullanılabilir.

Uygun kompostlama, nem, oksijen ve karbon-azot dengesini koruyarak daha verimli hale gelir. Evsel organik atıklar, park ve bahçe atıkları gibi biyolojik malzemeler kullanılarak doğal gübre üretimi kolayca gerçekleştirilebilir.



6.7. Biyoyakıtlar

Biyoyakıtlar biyolojik kaynaklardan elde edilen yenilenebilir yakıtlardır¹⁴⁴. Petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtların aksine, biyoyakıtlar sürdürülebilir enerji kaynaklarıdır ve karbon döngüsüne daha az zarar verirler¹⁴⁵.

Şekil 110: Biyoyakıtlar, biyolojik malzemelerden üretilen yenilenebilir enerji kaynaklarıdır ve fosil yakıtlara sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır¹⁴⁴.

Biyoyakıtlar fiziksel durumlarına göre katı, gaz ve sıvı olmak üzere üç gruba ayrılırlar:

Katı biyoyakıtlar: Briketler, peletler, biyokömür, kömür.

Gaz biyoyakıtlar: Sentez gazı, biyogaz, biyohidrojen.

Sıvı biyoyakıtlar: Biyodizel, biyoetanol, biyometanol, biyodimetileter, biyoyağ.

Biyoyakıtlar üretim süreçlerine ve hammadde kaynaklarına göre dört nesile ayrılır¹⁴⁶:

1. Birinci Nesil Biyoyakıtlar (2000-2010)

- Gıda kaynaklı tarım ürünlerinden (mısır, şeker kamışı, soya vb.) üretilir.
- Biyodizel ve biyoetanol gibi yakıtları içerir.
- Mevcut motorlarda kullanılabilir, ancak gıda tedarikleri üzerindeki etkisi nedeniyle eleştirilmiştir.

2. İkinci Nesil Biyoyakıtlar (2010-2030)

- Gıda dışı biyokütle kaynaklarından (tarımsal ve ormancılık atıkları, odunsu bitkiler) üretilir.
- Biyodizel ve biyoetanol gibi yakıtlar lignoselülozik biyokütle kullanılarak elde edilir.
- Sürdürülebilirlik açısından daha avantajlıdır ancak üretim maliyetleri yüksektir.

3. Üçüncü Nesil Biyoyakıtlar (2030 ve sonrası)

- Yosunlardan ve genetiği geliştirilmiş bitkilerden üretilir.
- Daha yüksek verim sunar ve gıda üretimine daha az etkisi vardır.
- Üretimi için ileri biyoteknolojik yöntemler gereklidir.

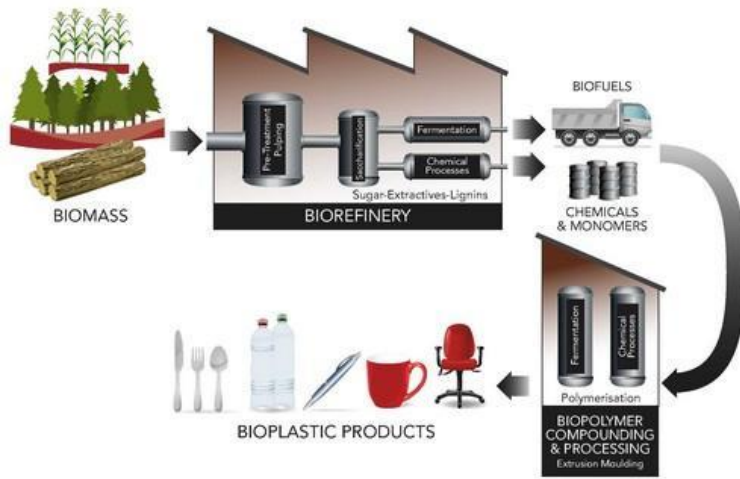
4. Dördüncü Nesil Biyoyakıtlar (2030 ve sonrası)

- Bunlar karbon negatif biyoyakıtlar olarak bilinir.
- Genetiği değiştirilmiş mikroorganizmalar kullanılarak üretilir.
- Karbon yakalama ve depolama (CCS) teknolojileriyle çevresel etkiler en aza indirilir.

Biyoyakıtlar, fosil yakıtlara kıyasla daha düşük karbon emisyonuna sahiptir ve yenilenebilir kaynaklardan üretildikleri için sürdürülebilir bir enerji çözümü sunarlar. Ayrıca, enerji bağımsızlığını artırarak ithal yakıtlara olan bağımlılığı azaltır ve tarıma ve kırsal kalkınmaya olumlu katkıda bulunur. Ancak, biyoyakıtların gıda üretimi üzerindeki etkileri tartışmalıdır ve bu yakıtların yaygın kullanımı sürdürülebilir üretim modellerinin geliştirilmesine bağlıdır. Biyoyakıtların yaygın kullanımının önündeki temel zorluklar, fosil yakıtlara göre daha yüksek

üretim maliyetleri, biyolojik çeşitlilik ve arazi kullanımı gibi çevresel etkilerin dikkate alınması zorunluluğu ve yüksek teknolojik yatırım ve altyapı gereksinimleridir. Bu nedenle, biyoyakıtların uzun vadede etkili bir alternatif enerji kaynağı olabilmesi için enerji politikalarının sürdürülebilirliğe odaklanarak şekillendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

6.7.1. Biyorafineri Teknolojisi



Şekil 111: Biyorafineriler, entegre kimyasal ve biyolojik süreçler yoluyla biyokütleyi biyoyakıtlara, biyoplastiklere ve değerli kimyasallara dönüştürür¹⁴⁸.

Biyorafineri teknolojileri, biyoyakıt üretim sürecinde yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilirliğini ve verimli kullanımını sağlayan yöntemleri içerir¹⁴⁷. Temel yapıları itibarıyla petrol rafinerilerine benzeyen biyorafineriler, geleneksel rafinerilerden farklı olarak hammadde olarak biyokütle kullanır ve daha ılıman koşullarda çalışır. Bu sayede daha düşük enerji tüketimi ile üretim sağlanır, katı atık oluşumu önlenir ve atık su miktarı önemli ölçüde azaltılır¹⁴⁷.

Biyorafineriler, tarımsal işletmelerle entegre çalışarak biyoyakıt, biyoenerji ve biyomalzeme üretimini destekleyen bir modele dayanmaktadır¹⁴⁸. Bu modelin temel bileşenleri şunlardır¹⁴⁷:

- **Tarımsal Üretim:** Enerji mahsullerinin yetiştirilmesi ve biyokütle kaynaklarının sağlanması.
- **Lojistik:** Hammaddelerin toplanması, taşınması ve işlenmesi için uygun lojistik sistemlerinin oluşturulması.
- **Hasat ve Atık Yönetimi:** Bitki atıklarının toplanması ve değerlendirilmesi.
- **Yoğunlaştırma ve Depolama:** Hammaddeyi işleme sürecine uygun hale getirmek için ön işlemden geçirme.
- **Biyorafineri İşleme Prosesleri:** Biyokütleyi kimyasal ve biyokimyasal dönüşüm prosesleri yoluyla yakıta ve diğer biyomalzemelere dönüştürme.
- **Ürün Depolama ve Dağıtım:** Elde edilen biyoyakıt, enerji ve diğer yan ürünlerin dağıtımı.
- **Yan Ürünlerin Değerlendirilmesi:** Biyorafineri prosesinde üretilen hayvan yemi ve gübrenin depolanması ve dağıtımı.

Biyorafinerilerin ekonomik olarak sürdürülebilir olabilmesi için lojistik süreçlerinin optimize edilmesi, hammadde taşıma ve depolama maliyetlerinin düşürülmesi gerekiyor.

Biyorafineriler, biyokütleyi çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal dönüşüm süreçlerinden geçirerek biyoyakıt, biyokimyasal ve biyomalzeme gibi farklı ürünlere dönüştürür. Bu süreçlerde biyorafinerilerin esnek olması ve farklı hammaddeleri işleyebilme yeteneğine sahip olması büyük önem taşır. Petrol rafinerilerinde olduğu gibi biyorafinerilerin de çeşitli hammaddelere sahip olması, üretimde sürekliliği sağlayarak ekonomik dalgalanmalara karşı direnci artırır.

Biyorafinerilerin sadece biyoyakıt üretimiyle sınırlı olmayıp, elektrik ve ısı üretimi gibi kojenerasyon uygulamalarını da içermesi verimliliği artıran önemli bir etkidir. Bu bütünleşik yaklaşım, biyoyakıt sektörünün gelişimini destekler ve enerji üretiminin daha sürdürülebilir hale gelmesini sağlar.

6.7.2. Dünyada Biyoyakıt Teknolojisi

Dünyada en yaygın kullanılan biyoyakıtlar arasında biyoetanol, biyodizel ve biyogaz yer alır. Biyoyakıt üretimi ve kullanımının en başarılı örneklerinden biri Brezilya'dır¹⁴⁹. 1970'lerdeki petrol krizinden beri Brezilya, ulaşım için sıvı biyoyakıt olarak etanol kullanıyor. Biyogaz üretimi dünya çapında yaygın olup, Hindistan ve Çin'de küçük ölçekli tesisler ve Avrupa'da orta ve büyük ölçekli tesisler bulunmaktadır. Öte yandan ABD, biyokütleyi enerjiye dönüştürüyor ve elektrik üretiminde kullanıyor.

Biofuel Applications

- **Danimarka:** Katı biyoyakıtlar, özellikle odun briketleri ve peletleri, ithal odunlardan üretilmektedir.
- **Finlandiya:** Biyokütle kullanımını artırarak enerji tüketiminin %25'ini biyokütleden karşılamaktadır.
- **Fransa:** Odun ve endüstriyel atıklar biyokütle kaynağı olarak kullanılmakta ve enerji üretiminde kullanılmaktadır.
- **Hollanda:** Pelet haline getirilerek İsveç, Almanya ve Belçika'ya ihraç edilen çok miktarda odun atığı bulunmaktadır.
- **İspanya:** Tarımsal üretimden kaynaklanan atıklar biyoyakıt üretiminde kullanılmaktadır.
- **İsveç:** Orman endüstrisi yan ürünleri, enerji mahsulleri ve saman biyoyakıt üretiminde kullanılmaktadır. Ülke enerji ihtiyacının %16'sını biyoyakıtlardan karşılamaktadır.
- **Kanada:** 2050 yılına kadar enerji tüketiminin %50'sini enerji ormancılığından sağlamayı hedeflemektedir. ABD ve Kanada, gıda üretimini etkilemeden hızlı büyüyen ağaç türleriyle enerji ormancılığı projeleri planlamaktadır.
- **İrlanda:** Turbalıklarda enerji ormancılığı düşünülmektedir.

2024-2031 tahmin döneminde %9,55'lik bir bileşik yıllık büyüme oranı (CAGR) öngörülmektedir. 2023 yılında biyoyakıt endüstrisi 16.599 kişiyi istihdam etmiştir. 2023-2024 döneminde ABD etanol ihracatı rekor seviye olan 6,6 milyar litreye (1,75 milyar galon) ulaşmıştır. Bu dönemde Kanada, ABD etanol ihracatının %37'sini oluşturarak en büyük ithalatçı olmuştur. Avrupa biyodizel üretimine daha fazla önem vermektedir. Bu, doğrudan kıtanın coğrafi yapısı ve yetiştirilen tarım ürünlerinin özellikleriyle ilgilidir. Etanol üretimi küresel olarak daha yaygın olsa da, biyodizel üretimi son yıllarda daha hızlı bir oranda artmıştır.

6.7.3. Ortak Ülkelerde Biyoyakıt Teknolojisi

6.7.3.1. Türkiye’de Biyoyakıt Teknolojisi

Türkiye, zengin biyokütle kaynaklarıyla yenilenebilir enerji üretiminde önemli bir potansiyele sahiptir. Tarım, ormancılık ve hayvan atıklarından elde edilen biyokütle enerji üretimi için kullanılır. 2024 yılı itibarıyla Türkiye'nin toplam kurulu elektrik kapasitesi 115.353 megavata ulaşmış olup bunun %59'u yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmıştır. Biyokütle santrallerinin kurulu gücü 2.125 megavata ulaşmış olup toplamın %1,8'ini oluşturmaktadır¹⁵⁰. Biyoetanol üretimi Türkiye'de 1930'lu yıllardan bu yana çeşitli dönemlerde gündemde olmuştur. Türkiye'de biyoetanol ve biyodizel kullanımını teşvik eden yasal düzenlemeler bulunmaktadır.

6.7.3.2. Yunanistan'da Biyoyakıt Teknolojisi

Yunanistan, zengin tarım ve ormancılık kaynaklarıyla desteklenen biyoyakıt üretimi için önemli bir potansiyele sahiptir¹⁵¹. Mahsul artıkları, ormancılık yan ürünleri ve organik atıklardan elde edilen biyokütle, biyoyakıt üretiminde merkezi bir rol oynar ve Yunanistan'ı yenilenebilir enerji kapasitesini artırmak için iyi bir konuma getirir. Çevre ve Enerji Bakanlığı'nın raporlarına göre, zeytinyağı fabrikası atıkları ve tarımsal artıklar da dahil olmak üzere Yunanistan'ın biyokütle kaynakları, biyoyakıt üretimi için önemli bir vaat taşımaktadır. 2023 itibarıyla, biyoyakıtları da içeren Yunanistan'ın kurulu biyoenerji kapasitesi 800 megavatı aşarak ülkenin yenilenebilir enerji üretimine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır.

Yunanistan'da üretilen birincil biyoyakıtlar, her ikisi de buğday, mısır ve kolza tohumu gibi yerel tarım ürünlerinden elde edilen biyoetanol ve biyodizeldir. Biyoetanol üretimi, 2000'li yılların başından beri Yunanistan'da önemli bir sektör olmuştur. Birkaç biyoetanol tesisi, biyoetanolün tahıllardan ve diğer mahsullerden üretildiği tarım bölgelerinde yer almaktadır. Bu tesisler, Yunanistan'ın enerji ihtiyaçlarını karşılamada ve sera gazı emisyonlarını azaltmada önemli bir rol oynamaktadır. Yunanistan ayrıca, tarımsal atıklardan, özellikle de Yunanistan'ın büyük zeytinyağı endüstrisinin bir yan ürünü olan zeytinyağı fabrikası kalıntılarından biyodizel üreterek biyodizel sektöründe de büyüme gördü. Hem iç tüketim hem de ihracat için yakıt üreten çok sayıda biyodizel üretim tesisi faaliyettedir. Bu biyoyakıtlar genellikle ulaştırma yakıtlarında katkı maddesi olarak kullanılır ve ulaştırma sektörünün karbon ayak izini azaltmaya yardımcı olur. Yunan hükümeti, yerel tarım ürünlerinden elde edilen biyoyakıtlar için sübvansiyonlar ve vergi muafiyetleri de dahil olmak üzere biyoyakıt üretimini desteklemek için çeşitli politikalar uyguladı. Biyoetanol ve biyodizel karışımlarının ulaştırma sektöründe kullanılması zorunludur ve benzin ve dizel yakıtlarına dahil edilmeleri için belirli yüzdelere belirlenmiştir. Ancak biyoyakıt sektörü, özellikle yüksek üretim maliyetleri ve hükümet

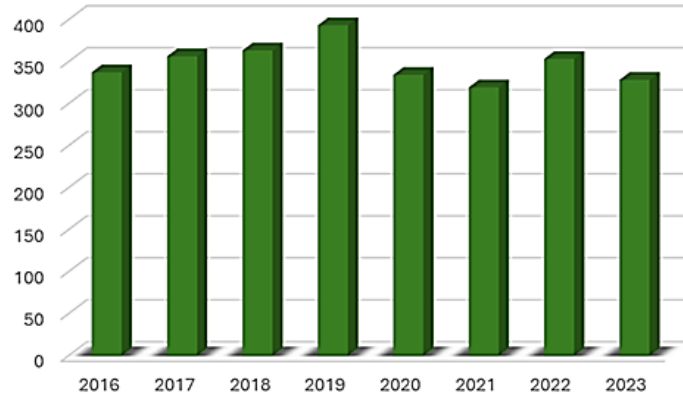
sübvansiyonlarına bağımlılık gibi zorluklarla karşı karşıyadır. Dahası, güneş ve rüzgar enerjisi gibi diğer yenilenebilir enerji kaynaklarıyla rekabet, bazen biyoyakıt üretiminin büyümesini yavaşlatmıştır.

İleriye bakıldığında, Yunanistan, Avrupa Birliği'nin yenilenebilir enerji hedeflerini karşılamak için biyoyakıt üretim kapasitesini genişletmeyi amaçlamaktadır. Ülke, tarımsal çıktısını daha temiz, daha sürdürülebilir yakıtlar üretmek için kullanarak biyoyakıt sektörünü daha da geliştirmeyi ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmayı amaçlıyor. Biyoyakıtların, ülkenin enerji güvenliği ve çevre hedeflerine katkıda bulunarak Yunanistan'ın yenilenebilir enerji stratejisinin önemli bir parçası olmaya devam etmesi bekleniyor.

6.7.3.3. Portekiz'de Biyoyakıt Teknolojisi

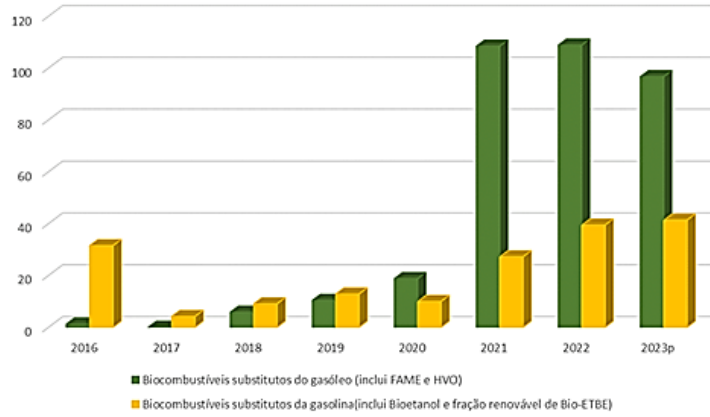
Portekiz, biyoyakıtların bu süreçte önemli bir rol oynamasıyla enerji dönüşümüne güçlü bir bağlılık gösterdi. Ülke, Avrupa Birliği'nin hedefleri doğrultusunda sera gazı emisyonlarını azaltmak ve enerji kaynaklarını çeşitlendirmek için biyoyakıt üretimi ve kullanımına yatırım yaptı. Biyodizel, esas olarak kolza tohumu ve soya gibi bitkisel yağlardan ve artan miktarda kullanılmış yemeklik yağdan (UCO) üretilerek en yaygın kullanılan biyoyakıt olmaya devam ediyor. UCO kullanımını teşvik etmek, dairesel ekonomiyi destekler ve ithal hammaddelere olan bağımlılığı azaltırken, dizelde biyodizel karışımı, ulaşımda yenilenebilir enerji hedeflerine ulaşmak için olmazsa olmazdır. Şeker pancarı ve mısır gibi şeker açısından zengin biyokütlelerden üretilen biyoetanol daha küçük bir rol oynar ancak araştırma ve yeni teknolojiler sayesinde büyüme potansiyeline sahiptir. Ek olarak, tarımsal atıklar, kentsel atıklar ve atık su arıtma tesisi çamuru gibi organik atıklardan biyogaz üretimi önem kazanmış, elektrik ve ısı üretimine katkıda bulunmuş ve doğal gaz şebekesine enjeksiyon potansiyeline sahiptir. Portekiz ayrıca sürdürülebilir havacılık için umut vadeden bir alternatif olan biyojet yakıtı geliştirmek için Avrupa girişimlerine katılmaktadır.

Portekiz'in biyoyakıt politikaları, özellikle ulaşımda biyoyakıtın dahil edilmesi için iddialı hedefler belirleyen Ulusal Enerji ve İklim Planı 2030 (PNEC 2030) olmak üzere AB direktifleriyle uyumludur. Hükümet, UCO toplanmasını ve işlenmesini aktif olarak teşvik etmiş ve yakın zamanda Biyometan Eylem Planı 2024-2040'ı (PAB) onaylamıştır. Bu stratejik plan, yerel kaynakları kullanarak ve ithal edilen doğal gaza olan bağımlılığı azaltarak sera gazı emisyonlarını azaltmak ve ekonomik karbonsuzlaştırmayı desteklemek için bir biyometan pazarı oluşturmaya ve birleştirmeye odaklanmaktadır. Biyodizel (FAME) üretimi, UCO kullanımında önemli bir artışla Portekiz'in biyoyakıt endüstrisinin ana odağı olmaya devam ediyor. DGEG'den alınan veriler, ulusal biyoyakıt üretiminde sürekli bir artış olduğunu gösterirken, biyoyakıt ithalatı da artmış olup, artan talebi ve yerel üretimi destekleme ihtiyacını yansıtmaktadır. Aşağıdaki şekil, toplam biyoyakıt üretiminin (FAME ve HVO) 2016 ile 2023 arasındaki evrimini göstermektedir:



Şekil 112: 2016-2023 yılları arasında ulusal biyoyakıt üretiminin evrimi (kton cinsinden)

2021'den itibaren biyoyakıt ithalatında önceki yıllara kıyasla önemli bir artış yaşandı. 2016'dan 2023'e kadar olan veriler bu artan eğilimi gösteriyor, ancak 2023 değerleri hala geçici.



Şekil 113: 2016-2023 yılları arasında biyoyakıt ithalatının evrimi (kton cinsinden).

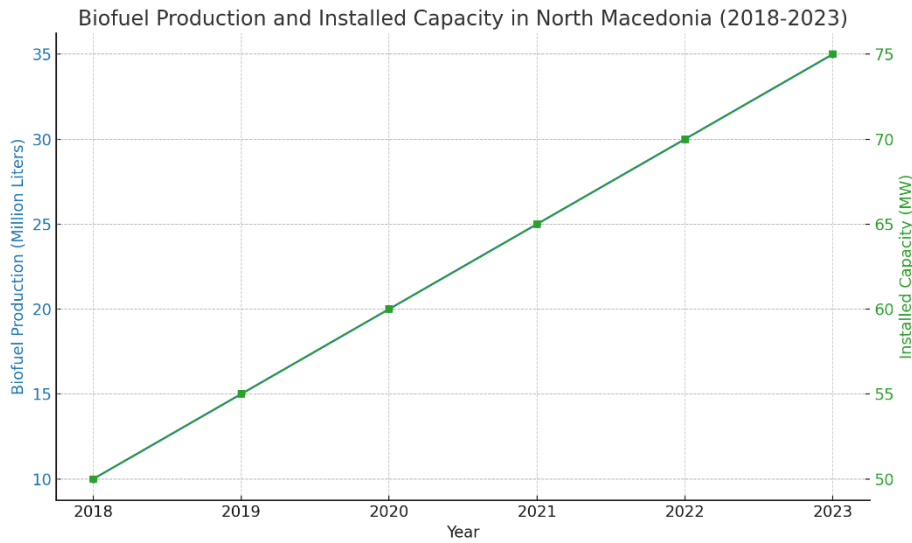
Portekiz'in biyoyakıt sektörü, ithal hammaddelere olan bağımlılığı azaltma, enerji mahsulü üretiminin çevresel etkisini en aza indirme ve biyogaz ve biyojet yakıtı için altyapı geliştirme gibi çeşitli zorluklarla karşı karşıyadır. Ancak, atık ve gıda dışı biyokütlelerden elde edilen gelişmiş biyoyakıtların kullanımını genişletme, biyogaz ve yeşil hidrojene yatırım yapma ve üniversiteler, araştırma merkezleri ve endüstri arasındaki iş birliğini teşvik etme gibi önemli fırsatlar da bulunmaktadır. Yakın zamanda onaylanan Biyometan Eylem Planı 2024-2040 (PAB), biyometan altyapısını teşvik ederek, yenilikçi iş modellerini teşvik ederek ve dairesel ekonomiyi güçlendirerek yeni fırsatlar yaratmaktadır.

Ulusal Biyoyakıt Stratejisi (ENB), sürdürülebilirlik ve inovasyonu vurgulayarak sektör için temel yönergeler sunmaktadır. Araştırma ve geliştirme çabaları, biyoyakıt üretimini artırmak için algler ve orman kalıntıları gibi alternatif hammaddeleri araştırmıştır. Ek olarak, tüketiciler arasında artan çevresel farkındalık, biyoyakıtlara olan talebin artmasına ve sektörün büyümesinin daha da artmasına yol açmıştır.

6.7.3.4. Kuzey Makedonya'da Biyoyakıt Teknolojisi

Kuzey Makedonya, enerji karışımını çeşitlendirmek ve sürdürülebilirliği artırmak için biyoyakıtlar da dahil olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarını keşfetmeye başladı¹⁵². Ancak 2020 itibarıyla ülke biyoyakıt ve biyosıvı üretimi bildirmedi ve bu da bu sektörün hala erken aşamalarında olduğunu gösteriyor. Biyoyakıtların az gelişmiş olmasına rağmen Kuzey Makedonya, özellikle biyogaz projeleri aracılığıyla biyoenerji alanında önemli ilerleme kaydetti. Bunun önemli bir örneği, Aralık 2022'de faaliyete geçen Lozovo'daki 2 MW'lık biyogaz tesisidir. İki MWM TCG 2020 V12 gaz motoruyla donatılmış bu tesis, yaklaşık 4.000 haneye elektrik sağlıyor ve ülkenin sürdürülebilir enerji üretimini benimseme çabalarında anlamlı bir adım ileri taşıyor.

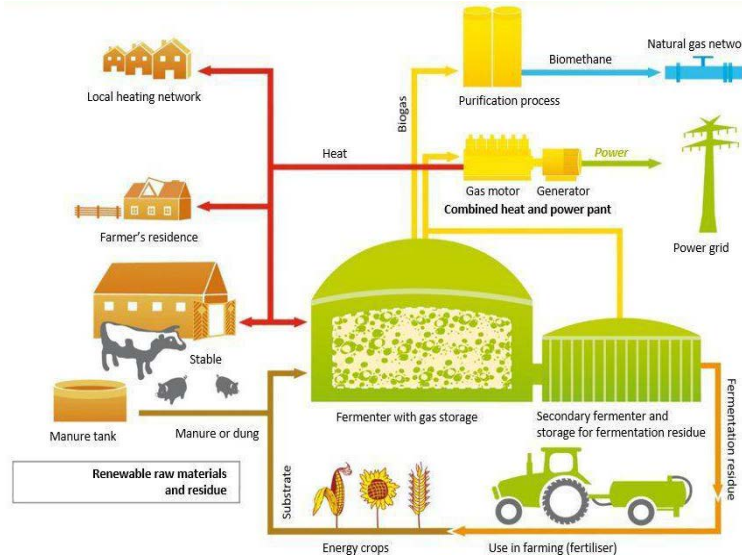
Kuzey Makedonya'nın enerji arzı fosil yakıtlara büyük ölçüde bağımlı olmaya devam ediyor ve petrol ve kömür, 2022'de toplam enerji arzının sırasıyla %45 ve %32'sini oluşturuyor. Bu bağımlılık, yenilenebilir enerji kaynakları aracılığıyla çeşitlendirmeye yönelik acil ihtiyacı vurguluyor. Biyoyakıt üretimi hala az gelişmiş olsa da ülke, meyve ağaçlarından elde edilen odun ve diğer tarımsal artıklar gibi gelecekte biyoenerji üretimi için önemli potansiyel sunan bol miktarda biyokütle kaynağına sahip. 2023'te bu kaynaklardan elde edilen birincil biyokütle üretimi 1.924 bin ton petrol eşdeğeri (TOE) olarak kaydedildi. Doğru yatırımlar ve destekle Kuzey Makedonya, biyoyakıt ve biyokütle sektörlerini daha da geliştirerek daha çeşitli, sürdürülebilir ve dayanıklı bir enerji sistemi yaratabilir.



Şekil 114: Kuzey Makedonya'daki biyoyakıt üretimi ve kurulu kapasite, ülkenin yenilenebilir enerjiye doğru kademeli geçişini yansıtarak istikrarlı bir büyüme göstermiştir.

Biyoenerjiyi daha da teşvik etmek için SERVODAY gibi şirketler Kuzey Makedonya'da yenilikçi biyokütle çözümleri sunuyor. Bunlara taşınabilir pelet üretim üniteleri ve gelişmiş biyokütle kazan besleme sistemleri dahildir ve enerji ve üretim sektörlerinde verimliliği ve yakıt esnekliğini artırmayı amaçlamaktadır.

Biyoyakıt teknolojisi Kuzey Makedonya'da hala ortaya çıkarken, biyogaz tesislerinin geliştirilmesi ve biyokütle kaynaklarının kullanımı yenilenebilir enerjiye olan bağlılığın arttığını göstermektedir. Ülkenin enerji manzarasında biyoyakıtların ve biyoenerjinin potansiyelinden tam olarak yararlanmak için sürekli yatırım ve teknolojik yenilik şarttır.



6.7.4. Biyogaz Teknolojisi

Biyogaz, tüm dünyada yaygın olarak kullanılan bir tür gaz halindeki biyoyakıttır¹⁵³. Başlıca avantajı her türlü organik atığın enerjiye dönüştürülebilmesidir. İnsan sağlığına ve çevreye zararlı olabilecek atıklar oksijensiz ortamda fermentasyonla biyogaza dönüştürülür¹⁵⁴.

Şekil 115: “Biyogaz tesisleri organik atıkları ısıya, elektriğe ve biyometana dönüştürürken, tarımsal kullanım için yan ürün olarak gübre üretmektedir¹⁵³.”

Biyogazın Kullanım Alanları:

- Isı üretimi (örneğin sobalarda ve ısıtma sistemlerinde)
- Elektrik üretimi (motorlarda veya kojenerasyon sistemlerinde)
- Yakıt olarak kullanımı (biyogaz motorlarına veya doğal gaz sistemlerine entegre)

Ayrıca biyogaz üretimi sırasında ortaya çıkan çamur tarımsal üretimde gübre olarak kullanılabilir.

Biyogaz Tesisleri:

- Asya'da küçük ölçekli tesisler yaygındır ve hayvansal ve bitkisel atıklardan fermente gübre üretimi genellikle ön plandadır.
- Avrupa'da orta ve büyük ölçekli tesisler tercih edilmekte olup, hem evsel, endüstriyel ve tarımsal atıkların bertaraf edilmesi hem de enerjiye dönüştürülmesi hedeflenmektedir.

6.7.4.1. Biyogaz üretimi

Organik atıklar biyogaz üretimi için kullanılır. Bunlar¹⁵⁴:

- Hayvan gübresi (sığır, koyun, kümes hayvanları)
- Bitkisel üretim atıkları
- Orman ve kağıt endüstrisi atıkları
- Tekstil endüstrisi atıkları
- Gıda endüstrisi atıkları (süt, maya, çikolata, içecek üretimi vb.)
- Tarımsal endüstriyel atıklar (yağ, şeker fabrikaları vb.)
- Katı kentsel atıklar
- Kanalizasyon atıkları

Enerji bitkileri ve algler de yüksek verimli biyogaz üretimi için değerlendirilebilir.

Biyogaz, organik atıkların oksijensiz bir ortamda mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılmasıyla elde edilen yanıcı bir gaz karışımıdır. Bu işlemde¹⁵⁴:

Metan (CH₄): Biyogazın en önemli bileşenidir ve enerji kaynağını oluşturur.

Karbondiyoksit (CO₂): İşlemin doğal bir yan ürünüdür.

Hidrojen sülfür (H₂S) ve azot (N₂): Atık türüne bağlı olarak az miktarda bulunabilir.



Metan içeriği biyogazın enerji değerini belirler. Ancak metan LPG gibi düşük basınçlarda sıvılaştırılamaz; sıvılaştırmak için 280-350 bar basınca ihtiyaç duyar.

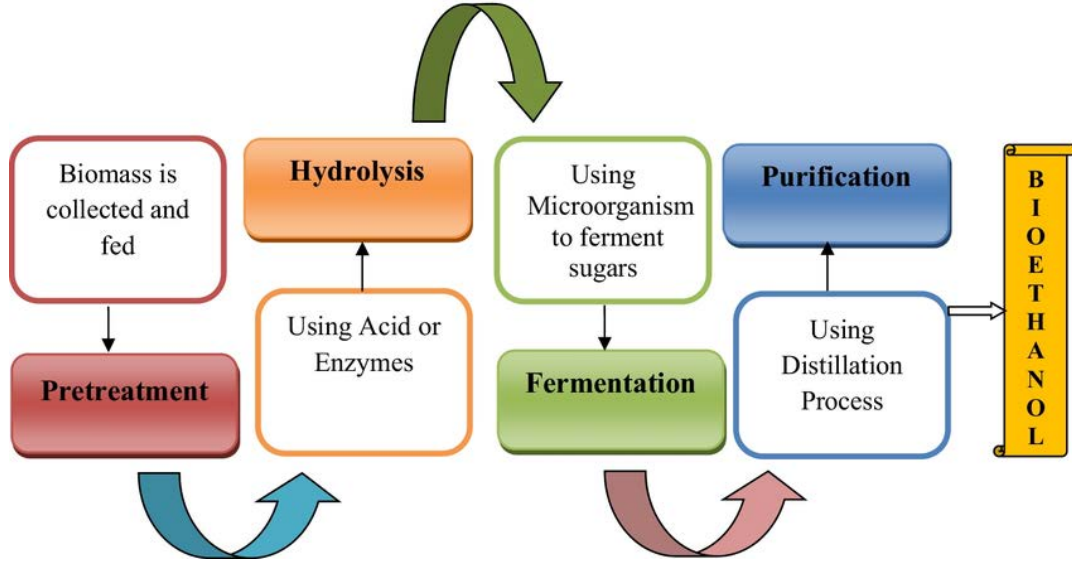
Şekil 116: Metan (CH₄), organik atıkların anaerobik sindirimi yoluyla üretilen biyogazın birincil enerji açısından zengin bileşenidir.

Biyogaz üretimi kullanılan atıkların kimyasal ve fiziksel özelliklerine bağlıdır. Önemli faktörler şunlardır:

- Atık türü ve bileşimi (hayvansal, bitkisel, evsel, vb.)
- Yabancı madde miktarı (toprak, taş, metal, vb.)
- Parçacık boyutu (daha küçük parçalar daha hızlı fermente olur)
- Nem içeriği ve organik madde içeriği
- Jeneratör (reaktör) tasarımı (hacim, yalıtım, karıştırma ve ısıtma sistemleri)
- Fermantasyon sıcaklığı ve pH dengesi

6.7.5. Biyoetanol Teknolojisi

Biyoetanol, fosil yakıtların tükenmesi ve sera gazı emisyonlarının azaltılması ihtiyacı nedeniyle geliştirilen biyolojik kökenli bir yakıttır. Dünyada en yaygın kullanılan biyoyakıttır ve özellikle benzinle karıştırıldığında alternatif bir motor yakıtı olarak kullanılır¹⁵⁵.



Şekil 117: Biyoetanol, biyokütlenin fermente edilebilir şekerlere dönüştürülmesi ve ardından mikrobiyal fermantasyon ve damıtma yoluyla üretilir¹⁵⁵.

Etanol, mayalar tarafından şekerlerin fermantasyonu sonucu oluşan bir bileşiktir. Tahıllar, şeker mahsulleri ve nişasta içeren bitkiler biyoetanol üretiminin en yaygın kaynaklarıdır. Ayrıca, ağaçlar, otlar ve evsel atıklar gibi selülozik malzemeler de biyoetanol elde etmek için kullanılabilir. Ancak, selülozik malzemelerden biyoetanol üretimi, şeker ve nişasta içeren tarımsal ürünlerden doğrudan üretime kıyasla daha karmaşık ve maliyetlidir. Bu nedenle, daha verimli üretim yöntemleri için teknolojik gelişmelere ihtiyaç vardır.

Biyoetanol üretiminde kullanılan mısır, şeker pancarı ve şeker kamışı gibi ürünler de temel gıda kaynaklarıdır. Örneğin, ABD'de mısır üretiminin büyük bir kısmı biyoetanol için kullanılır. Bu, dünya çapında mısır fiyatlarının artmasına ve gıda üretimi ile enerji üretimi arasında rekabete yol açar.

Bu sorunu önlemek için biyoetanol üretiminde gıda değeri olan tarımsal ürünler yerine alternatif kaynaklar kullanılmalıdır. Bunlar arasında gıda değeri olmayan lignoselülozik bitkiler ve tarımsal kalıntılar (gövde, kök gibi kullanılmayan kısımlar) yer almaktadır. Böylece hem enerji ihtiyacı karşılanabilir hem de gıda güvenliği korunabilir.

6.7.6. Biyoetanolün Kullanımları

Biyoetanol çeşitli enerji sistemlerinde farklı şekillerde değerlendirilebilir¹⁵⁶:

- Alternatif motor yakıtı olarak doğrudan kullanılabilir.
- Benzine belirli oranlarda karıştırılarak yakıt katkı maddesi olarak kullanılabilir.
- Yakıt hücrelerinde enerji kaynağı olarak kullanılabilir.
- Biyodizel üretiminde hammadde olarak kullanılabilir.

Biyoetanolün Benzin ve Dizel Karışımları

Dünyanın dört bir yanında farklı oranlarda biyoetanol içeren yakıt türleri kullanılmaktadır:

Alkol eklenmiş benzin (%5'e kadar alkol içerir).

Gazohol (%10 etanol, %90 benzin karışımı).

E85 (%85 etanol, %15 benzin içeren bir karışım).

E-Dizel (%15'e kadar etanol içeren dizel).



Avantajları

Biyoetanolün önemli avantajları arasında şunlar yer almaktadır:

- Yenilenebilir kaynaklardan üretildiği için sürdürülebilir bir yakıttır.
- Petrol bağımlılığını azaltarak enerji güvenliğine katkıda bulunur.
- Sera gazı emisyonlarını azaltarak çevre dostu bir seçenek sunar.
- Oktan sayısını artırarak yakıtın daha verimli ve temiz yanmasına yardımcı olur.
- Biyolojik olarak parçalanabilir olması sayesinde motor performansını iyileştirir ve doğaya zarar vermez.

6.7.6.1 Biyoetanol üretimi

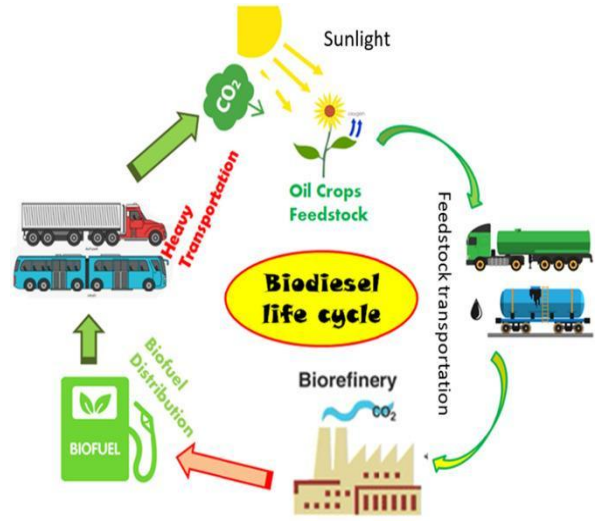
Biyoetanol üretimi, lignoselülozik biyokütlenin belirli aşamalardan geçirilmesiyle gerçekleştirilir. Bu işlem dört temel adımdan oluşur. İlk adım, biyokütlenin ön işlenmesiyle lignin, hemiselüloz ve selülozun ayrılmasıdır. Bu aşama, hidroliz sürecini daha verimli hale getirmek için biyokütlenin parçalanmasını içerir. İkinci adımda, selüloz ve hemiselüloz, enzimler veya kimyasal yöntemlerle monomer şekerlere ayrıştırılır. Üçüncü aşamada, elde edilen şekerler maya gibi mikroorganizmaların yardımıyla fermente edilir ve etanole dönüştürülür. Son aşamada, etanol damıtma ve saflaştırma işlemleriyle yoğunlaştırılır¹⁵⁷.

Etanol üretiminde kullanılan biyokütlerde ön işlem aşaması çok önemlidir. Bu aşama biyokütlenin temizlenmesini, boyutuna göre ayrılmasını ve devam eden biyokimyasal süreçlerde daha erişilebilir hale getirilmesini içerir. Ön işlem sırasında uygulanan mekanik ve fiziksel işlemler biyokütlenin iç yapısını bozar ve şeker verimini artırır. Her hammadde türü (örneğin yumuşak odun, mısır koçanı veya bagas) optimum verim elde etmek için farklı ön işlem yöntemlerine ihtiyaç duyar.

Melas ve koyu şuruptan biyoetanol üretilen tesislerde koyu şurup ve melas maya ile birlikte fermantasyon tankına beslenir. Fermantasyon işlemi tamamlandıktan sonra sırasıyla damıtma, düzeltme (susuzlaştırma) ve ayırma işlemleri yapılarak biyoetanol elde edilir.

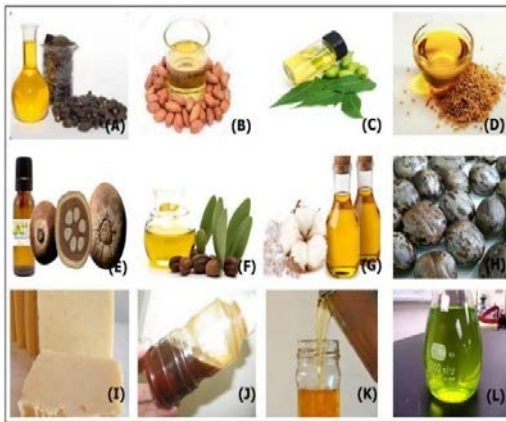
6.7.7. Biyodizel Teknolojisi

Biyodizel, petrol bazlı dizel yakıtlarına alternatif olarak geliştirilen temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır¹⁵⁸. Dizel motorlarda doğrudan veya katkı maddesi olarak kullanılabilir. Biyodizelin birçok ülkede ticarileştirilmesi, ürün kalitesindeki iyileştirmeler ve artan müşteri memnuniyetiyle desteklenmektedir¹⁵⁹. Biyodizel üretimi ve kullanımı ASTM D6751 (Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu) ve Avrupa standardı EN 14214 gibi uluslararası standartlarla düzenlenmektedir.



Şekil 118: Biyodizel Yaşam Döngüsü: Hammaddeden biyoyakıt dağıtımına¹⁵⁹.

6.7.7.1. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Yağ Kaynakları



Şekil 119: Biyodizel, bitkisel yağlar, atık yağlar, hayvansal yağlar ve alg bazlı lipidler dahil olmak üzere çeşitli yağ kaynaklarından üretilir¹⁶⁰.

Biyodizel üretiminde farklı yağ türleri kullanılabilir¹⁶⁰:

Bitkisel yağlar: Palmiye, aspir, kolza tohumu, soya gibi tarımsal yağ kaynakları.

Geri kazanım yağları: Bitkisel yağ endüstrisinden elde edilen yan ürünler (sabun stoku, hurda yağ gibi).

Kentsel ve endüstriyel atık yağlar: Kahverengi gres ve siyah gres gibi atık yağlar.

Hayvansal yağlar: Don yağı, balık yağı ve kümes hayvanı yağı gibi hayvansal kökenli yağlar.

Atık bitkisel yağlar: Kullanılmış yemeklik yağlar (sarı gres gibi).

Yosun: Yüksek yağ içeriğine sahip mikroalglerden biyodizel üretmek de mümkündür.

Bu kaynakların kullanımı biyodizelin sürdürülebilirliğini artırır ve atıkların değerlendirilmesine katkıda bulunur.

Biyodizel motorlarda saf halde (B100) veya belirli oranlarda dizel ile karıştırılarak kullanılabilir:

B5: %5 biyodizel ve %95 dizel karışımı.

B20: %20 biyodizel ve %80 dizel karışımı.

B50: %50 biyodizel ve %50 dizel karışımı.

B100: %100 biyodizel, katkı maddesi olmadan kullanılan en saf biyodizel türüdür.

Biyodizel motorlarda saf halde (B100) veya belirli oranlarda dizel ile karıştırılarak kullanılabilir:

B5: %5 biyodizel ve %95 dizel karışımı.

B20: %20 biyodizel ve %80 dizel karışımı.

B50: %50 biyodizel ve %50 dizel karışımı.

B100: %100 biyodizel, katkı maddesi olmadan kullanılan en saf biyodizel türüdür.



Avantajları

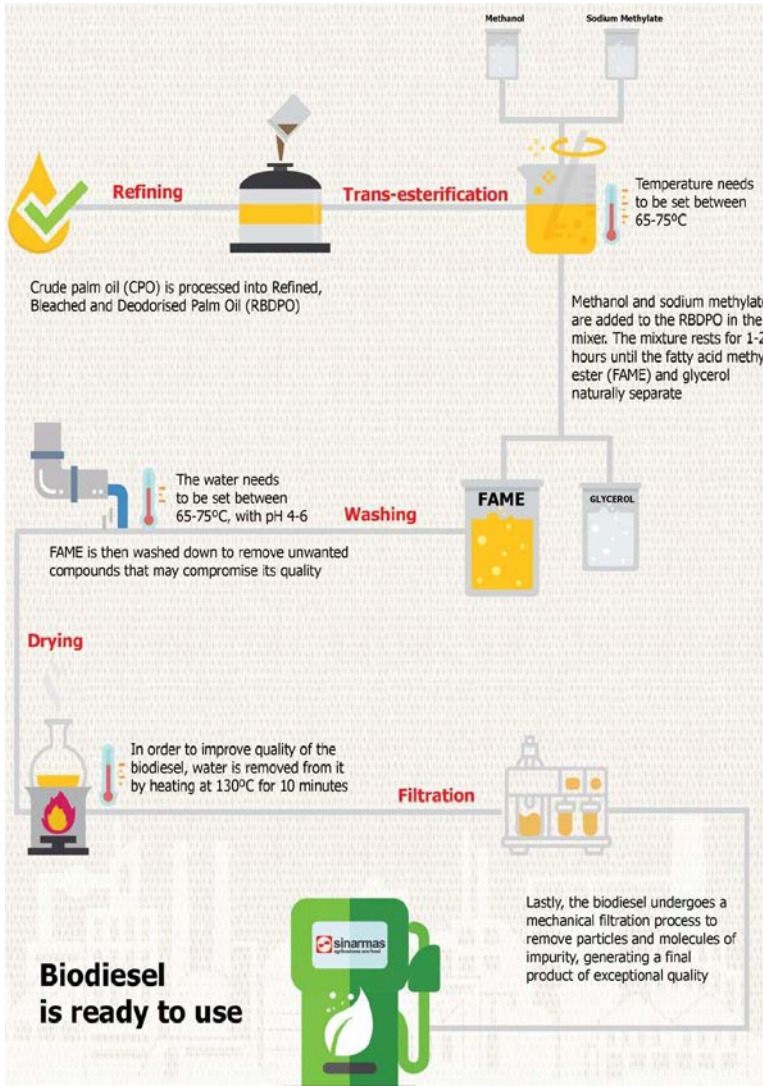
Biyodizel kullanımının birçok faydası vardır:

- Yenilenebilir kaynaklardan üretildiği için sürdürülebilir bir yakıttır.
- Petrol türevi yakıtlara olan bağımlılığı azaltır.
- Karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltarak çevreye duyarlı bir seçenek sunar.
- Kükürt içermediği için zararlı gazların salınımını azaltır.
- Yüksek motor yağlama özelliğine sahiptir ve motor performansını iyileştirir.

- Yüksek parlama noktası sayesinde güvenli taşıma ve depolama sağlar.
- Biyolojik olarak parçalanabilir ve toksik değildir, doğaya zarar vermez.
- Kalorifik değeri dizel yakıta çok yakındır ve motor performansında önemli bir kayıp olmaz.
- Yüksek setan sayısına sahip olduğu için daha verimli yanma sağlar.

6.7.7.2. Biyodizel üretimi

Biyodizel üretiminde karşılaşılan en büyük problemlerden biri kullanılan yağların yüksek viskozitesidir¹⁶¹. Bu nedenle, motor yakıtı olarak kullanılabilmesi için viskozitenin azaltılması gerekir. Bunu başarmak için yağlara termal ve kimyasal işlemler uygulanır. En basit yöntem olan ısıtma işlemi, yağlar yakıt sistemine girmeden önce ısıtılarak viskoziteleri azaltılır. Ancak bu yöntem, özellikle mobil cihazlarda kullanıldığında çeşitli sorunlara yol açabilir.



Şekil 120: Biyodizel, yağların bir katalizör eşliğinde alkolle tepkimeye girdiği transesterifikasyon yöntemiyle üretilir; ardından yakıt kalitesinde biyodizel elde etmek için rafinasyon, yıkama, kurutma ve filtrasyon işlemleri uygulanır¹⁶².

Temel Katalizör Biyodizel Üretim Aşamaları:

1. Katalizör ve Alkolün Karıştırılması

Genellikle katalizör olarak sodyum hidroksit (NaOH) veya potasyum hidroksit (KOH) kullanılır. Katalizör bir mikser yardımıyla alkolde çözülür ve reaksiyona hazır hale getirilir.

2. Reaksiyon

Hazırlanan katalizör-alkol karışımı, biyodizelin ham maddesi olan yağ ile birlikte reaktöre alınır. Reaktör, alkol kaybını önlemek için kapalı tutulur. Reaksiyon sıcaklığı, alkolün kaynama noktasının biraz üzerinde tutulur (yaklaşık 70°C) ve işlem süresi 1 ila 8 saat arasında değişebilir.

Viskoziteyi azaltmak için genellikle kimyasal işlemler tercih edilir. Bunlar arasında en etkili ve yaygın yöntem **transesterifikasyon** yöntemidir¹⁶¹. Bu işlemde, bitkisel veya hayvansal yağlar bir alkol ile reaksiyona sokularak yan ürün olarak biyodizel ve gliserin elde edilir. Daha basit bir ifadeyle, büyük moleküllü yağlar küçük moleküllü alkollerle reaksiyona girerek motor yakıtı olarak kullanılabilen daha akışkan bir sıvıya dönüşür¹⁶².

Transesterifikasyon reaksiyonunda farklı alkol ve katalizör seçenekleri vardır. Metanol ve etanol en yaygın kullanılan alkollerdir. Asidik, bazik veya enzimatik katalizörler katalizör olarak tercih edilebilir. Ancak, bazik katalizörler genellikle daha avantajlıdır çünkü¹⁶¹:

- Daha yüksek verim sağlar.
- Daha az aşındırıcıdır.
- Reaksiyon süresi daha kısadır.
- Asidik katalizörler, özel asit dirençli tanklar gerektirdiğinden üretim maliyetini artırır.

3. **Ayırma**

Reaksiyon sonucunda iki ana ürün oluşur: biyodizel ve gliserin. Gliserin biyodizelden daha yoğun olduğundan, yerçekimi etkisiyle ayrılabilir. Bazı tesislerde daha hızlı ayırma sağlamak için santrifüjler kullanılabilir.

4. **Alkolün Uzaklaştırılması**

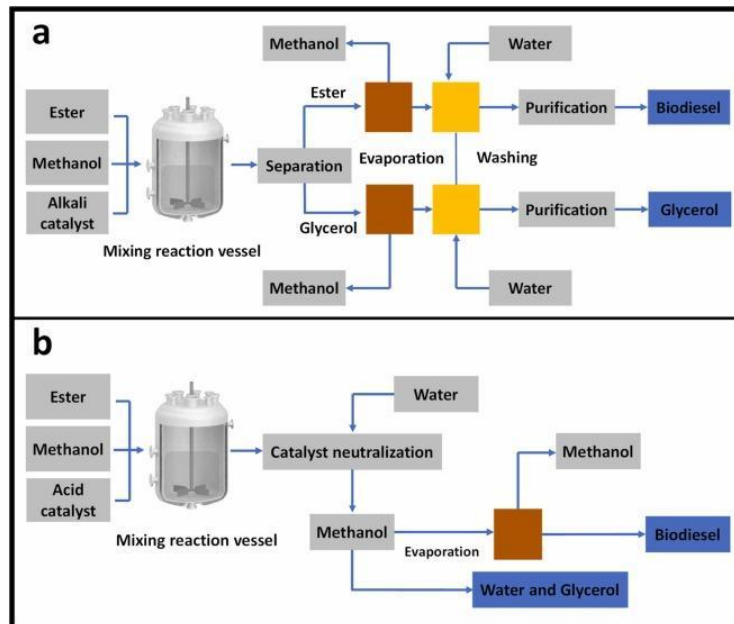
Gliserin ve biyodizelin ayrılmasından sonra, kalan alkol buharlaştırma (flaş buharlaştırma) veya damıtma yoluyla uzaklaştırılır. Bazı sistemlerde, bu aşamadan sonra karışım nötrleştirilir ve son ürünler ayrılmadan önce işlenir.

5. **Gliserinin Nötralizasyonu**

İçerisinde yan ürün olan gliserin, kullanılmayan katalizör ve sabun bulunur. Bu bileşenler bir asitle nötrleştirilir ve ham gliserin olarak depolanır. Nötralizasyon sırasında oluşan tuzlar gliserin içinde bırakılabilir veya geri kazanılabilir. Saflaştırma işlemiyle %80-88 saflıkta gliserin elde edilebilir ve endüstriye sunulabilir. %99 saflıkta gliserin, farmasötik ve kozmetik endüstrilerinde kullanılabilen özel prosesler uygulanarak üretilebilir.

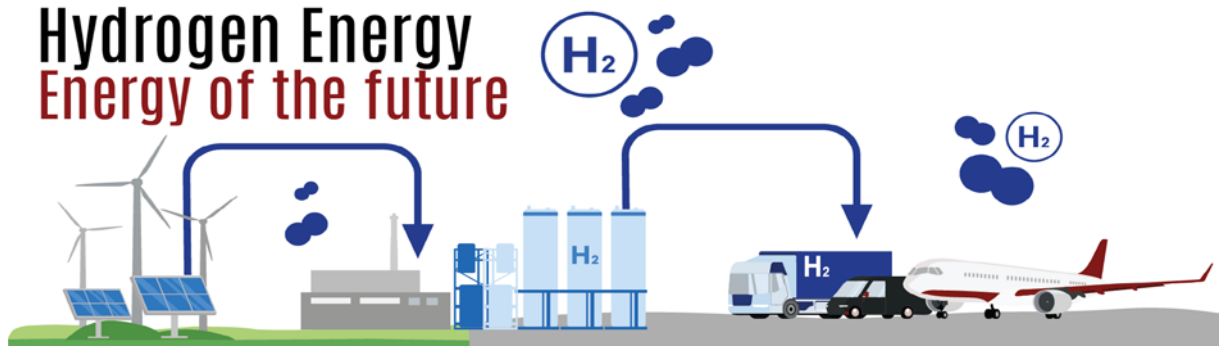
6. **Biyodizelin Yıkınması ve Depolanması**

7. Gliserinden ayrılan biyodizel, içinde kalan katalizör ve sabunları çıkarmak için ılık suyla yıkanır ve kurutulur. Son ürün, parlak kehribar renginde ve dizel yakıtına yakın bir viskoziteye sahip bir sıvıdır. Bazı sistemlerde, son aşamada damıtma uygulanarak renksiz biyodizel üretilebilir¹⁶³.



Şekil 121: Biyodizel üretim süreci kullanılan katalizöre göre değişir: alkali katalizörler daha yüksek verim ve daha hızlı reaksiyonlar sunarken, asit katalizörler daha uzun işlem gerektirir ancak yüksek serbest yağ asidi içeriğini kaldırabilir¹⁶³.

6.8. Hidrojen Enerjisi



Şekil 122: Hidrojen, güneş ve rüzgar gücü kullanılarak sudan üretilen temiz ve yenilenebilir bir enerji taşıyıcısıdır ve ulaşım ve endüstride sürdürülebilir çözümlere olanak tanır¹⁶⁴.

Hidrojen kelimesi Yunanca "su" anlamına gelen hydro ve "oluşum" anlamına gelen genes kelimelerinden türemiştir. Hidrojen evrendeki en hafif ve en bol bulunan elementtir¹⁶⁴. Hidrojen, Dünya'daki suda, bitkilerde, hayvanlarda ve birçok kimyasal bileşikte bulunur. Ancak doğada saf halde bulunmaz. Atmosferde çok az miktarda gaz halinde bulunurken, genellikle diğer elementlerle birleşik halde bulunur. Doğada bazı mikroorganizmalar hidrojen üretebilir. Ayrıca bitkiler fotosentez yoluyla ışık, su ve karbondioksitten oksijen ve karbonhidrat üretir. Teknolojik olarak hidrojen, su, biyokütle ve fosil yakıtlar gibi kaynaklardan üretilir. En çevre dostu yöntem, su molekülünü parçalayarak hidrojen elde etmektir. Bu işlem güneş veya rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak yapılırsa hidrojen tamamen temiz bir yakıt haline gelir. Hidrojen, havadan 14 kat daha hafif olan renksiz, kokusuz bir gazdır. Çok düşük sıcaklıklarda sıvı hale gelir¹⁶⁵. Uzay araştırmalarında roket yakıtı olarak kullanılır çünkü hafiftir ve yüksek enerji taşıma kapasitesine sahiptir. Hidrojen kimyasal olarak oldukça aktiftir ve diğer elementlerle kolayca birleşir. Oksijenle reaksiyona girdiğinde su buharı oluşur ve bu süreçte büyük miktarda enerji açığa çıkar. Bu yüzden hidrojen temiz ve güçlü bir enerji kaynağı olarak kullanılır.

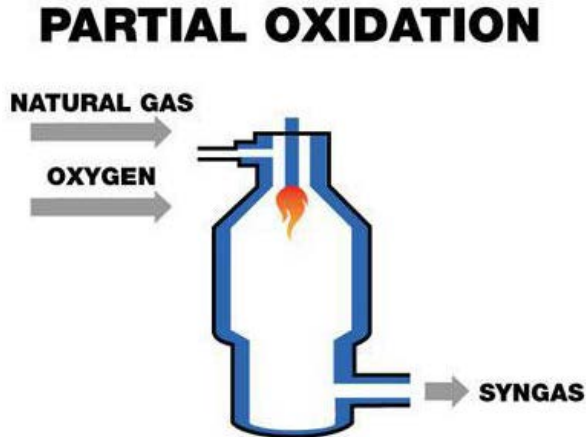
Hidrojen, içten yanmalı motorlarda veya yakıt hücrelerinde enerji üretmek için kullanılabilir. Yanma sonucu sadece su buharı oluştuğu için çevreyi kirletmez. Hidrojen ayrıca doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Bunu sağlayan yakıt hücreleri, hidrojen ve oksijenin kimyasal olarak reaksiyona girerek elektrik üretmesini sağlar. Bu sistem araba motorlarında, ev enerji sistemlerinde ve uzay araçlarında kullanılır. Hidrojen, yanma sonucu karbon yaymadığı için çevre dostu bir yakıt olarak kabul edilir. Günümüzde fosil yakıtlar kullanıldığında, atmosfere karbondioksit (CO₂) ve zararlı gazlar salınır, bu da iklim değişikliğine ve hava kirliliğine yol açar. Oysa hidrojen, sadece su ürettiği için yeşil enerji olarak adlandırılır. Hidrojen üretiminde fosil yakıtlar yerine güneş, rüzgar veya su enerjisi kullanılırsa dünya için sürdürülebilir ve temiz bir enerji kaynağı olabilir. Günümüzde enerji ihtiyacımız büyük ölçüde kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Ancak bu kaynaklar sınırlıdır ve çevreye zarar verir. Bu nedenle bilim insanları hidrojenin gelecekte ana enerji kaynağı olabileceğini düşünmektedir. Hidrojen, her yerde bulunan sudan üretilbildiği için büyük bir avantaj sağlar. Hidrojen döngüsü, suyu hidrojen ve oksijene ayırarak enerji üretir ve ardından bu hidrojeni tekrar suya dönüştürür. Bu süreç, doğaya zarar vermeden enerji üretmenin en temiz yollarından biridir.

Gelecekte, hidrojen enerjisinin daha yaygın kullanımıyla karbon içermeyen bir enerji sistemine geçiş sağlanabilir. Bu, daha temiz hava, sürdürülebilir enerji ve fosil yakıtlara daha az bağımlılık anlamına gelir.

6.8.1. Hidrojen Üretimi

Hidrojen doğada saf halde bulunmadığından, onu elde etmek için enerji kullanılması gerekir. Hidrojen üretiminde kullanılan enerji kaynakları fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğal gaz), nükleer enerji ve yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, rüzgar, biyokütle, su, jeotermal, dalga ve gelgit enerjisi) olabilir. Bu kaynaklar kullanılarak hidrojen üretimi farklı yöntemlerle gerçekleştirilir¹⁶⁶.

Hidrojen üretmek için kimyasal, termokimyasal ve elektrokimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Günümüzde en yaygın kullanılan yöntemler, hidrojenin fosil yakıtlardan elde edilmesini sağlayan tekniklerdir. Ancak çevreye zarar vermeyen yenilenebilir enerji destekli yöntemler de giderek daha fazla ilgi görmektedir.



Şekil 123: POX yönteminde, doğal gaz yüksek sıcaklıklarda sınırlı oksijenle reaksiyona girerek hidrojen açısından zengin bir gaz karışımı olan sentez gazı üretir¹⁶⁶.

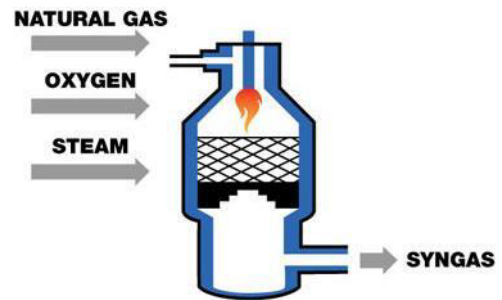
2. Otomatik Termal Reform (ATR)

Bu yöntem, hem ısı gerektiren (endotermik) hem de ısı açığa çıkaran (ekzotermik) reaksiyonları birleştirerek hidrojen üretir¹⁶⁷. Ortamın kendiliğinden ısınmasına izin vererek daha verimli bir üretim süreci yaratır. ATR, hidrojen üretiminde yüksek verim sağlayan yöntemlerden biridir.

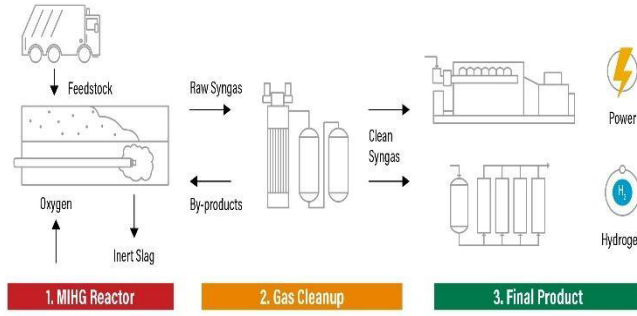
1. Oksidasyon Oksit (POX – Kısmi Oksidasyon)

Bu yöntemde, hidrokarbonlar (örneğin doğal gaz) az miktarda oksijenle reaksiyona girerek hidrojen, karbon monoksit ve diğer gazları oluşturur. İşlem çok yüksek sıcaklıklarda gerçekleşir ve genellikle bir katalizör gerektirmez. Üretilen gazların bir kısmı işlem sırasında yakılarak sistemin sürekliliği sağlanır¹⁶⁶.

AUTOTHERMAL REFORMING



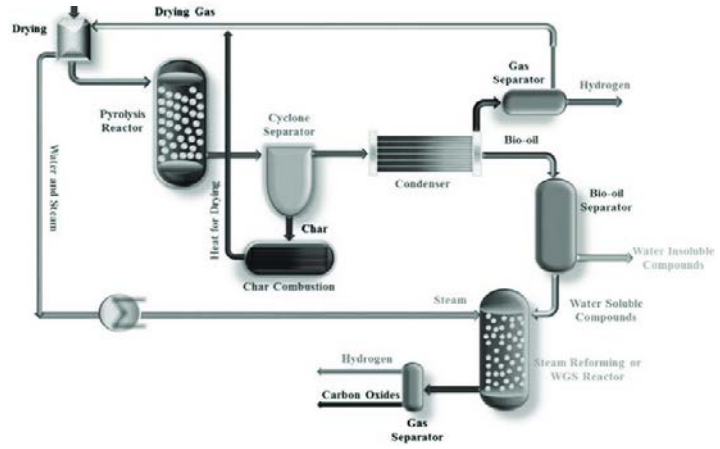
Şekil 124: Ototermal reformlama, hidrojen açısından zengin sentez gazını verimli bir şekilde üretmek için buhar reformlamasını ve kısmi oksidasyonu birleştirir¹⁶⁷.



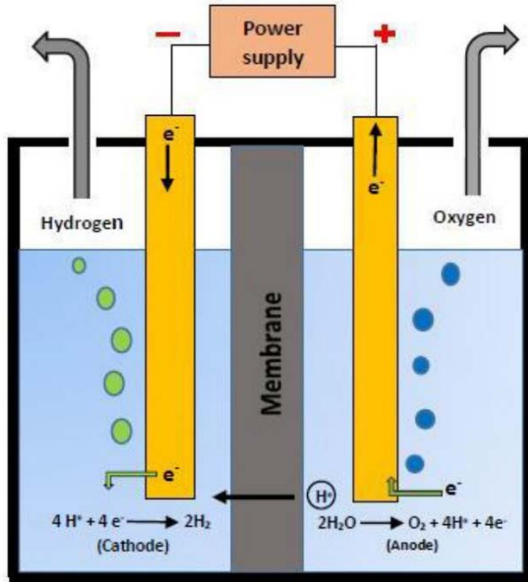
Şekil 125: Gazlaştırma, yüksek sıcaklıkta işleme yoluyla hammaddeyi hidrojen açısından zengin sentez gazına dönüştürür ve ardından güç ve hidrojen üretimi için gaz temizliği yapar¹⁶⁸.

4. Piroliz

Piroliz, organik maddelerin oksijensiz ve susuz bir ortamda yüksek sıcaklıklara maruz bırakılarak parçalanmasıyla hidrojen elde edilmesini sağlar. Genellikle organik atıkların değerlendirilmesi amacıyla kullanılır ve düşük sıcaklıklarda gerçekleşir¹⁶⁹.



Şekil 126: Piroliz, biyokütleyi oksijensiz bir ortamda termal olarak ayrıştırarak hidrojene dönüştürür, ardından gaz ayırma ve buhar reformasyonu yapılır¹⁶⁹.



Şekil 127: Elektroliz, elektrik enerjisi kullanılarak suyu hidrojen ve oksijene ayırır ve karbon emisyonu olmadan temiz hidrojen üretir¹⁷⁰

3. Gazlaştırma

Gazlaştırma, kömür veya biyokütle gibi maddelerin yüksek sıcaklık ve basınç altında işlenmesiyle hidrojen üretir¹⁶⁸. Bu işlem sırasında hidrojen, karbon monoksit ve metan gibi gazlar açığa çıkar. Biyokütle kullanılıyorsa, verimi artırmak için nemin giderilmesi önemlidir.

5. Elektroliz

Elektroliz, elektrik akımı kullanılarak su moleküllerinin hidrojen ve oksijene ayrılması işlemidir¹⁷⁰. Bu yöntem, özellikle güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıyla birleştirildiğinde, çevre dostu ve sürdürülebilir bir hidrojen üretim yöntemi haline gelir. Elektrolizle üretilen hidrojen, temiz ve karbon içermeyen bir enerji kaynağıdır.

6.8.2. Yeşil Hidrojen

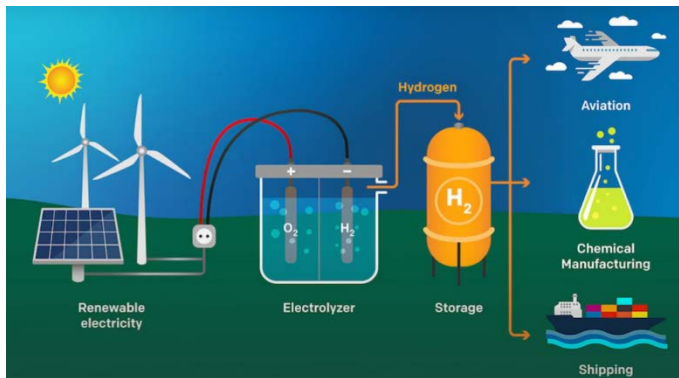
Yeşil hidrojen, çevreye zarar vermeden yenilenebilir enerji kaynaklarıyla üretilen bir hidrojen türüdür. Üretim sırasında karbon emisyonu olmadığından fosil yakıtlara kıyasla çok daha çevre dostudur. Yeşil hidrojen üretimi için güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılır¹⁷¹.

	Gray Hydrogen	Blue Hydrogen	Turquoise Hydrogen	Green Hydrogen
Process	Steam methane reforming or gasification	Steam methane reforming or gasification with carbon capture (85-95%)	Pyrolysis	Electrolysis
Source	Natural gas or coal 	Natural gas or coal 	Natural Gas 	Renewable electricity 
Product	H ₂ & CO ₂	H ₂ & CO ₂	H ₂ & C (solid)	H ₂ & O ₂

Şekil 128: Hidrojen üretim yöntemine göre sınıflandırılır: Yeşil hidrojen en temiz formdur ve yenilenebilir enerji kullanılarak karbon emisyonu olmadan elektroliz yoluyla üretilir¹⁷¹

Yeşil hidrojen üretiminde dört ana enerji kaynağı rol oynuyor:

1. **Isı enerjisi** – Fosil yakıtlardan veya yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilebilir.
2. **Elektrik enerjisi** – Güneş panelleri ve rüzgar türbinleri gibi kaynaklardan sağlanarak elektroliz sürecinde kullanılır.
3. **Foton enerjisi** – Doğrudan güneş ışığından hidrojen üretiminde kullanılır.
4. **Biyokimyasal enerji** – Organik maddelerin doğal süreçlerle hidrojen üretmesi sağlanır.



Şekil 129: Güneş enerjili elektroliz, havacılık, nakliye ve kimya endüstrilerinde kullanılmak üzere yeşil hidrojen üretimine olanak sağlıyor.

6.8.2.1. Güneş Enerjisinden Hidrojen Üretimi

Güneş enerjisini kullanarak hidrojen üretmenin dört temel yöntemi vardır: fotovoltaiik, termal enerji, foto-elektroliz ve biyo-fotoliz. Güneş enerjisi, çeşitli sistemler aracılığıyla elektrik veya ısıya dönüştürülerek hidrojen üretiminde kullanılabilir¹⁷². PV sistemleri, güneş ışığını doğrudan elektrige dönüştürerek suyun elektrolizi yoluyla hidrojen üretir. Öte yandan

güneş kollektörleri ve yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (CSP) sistemleri, yüksek sıcaklıklar üreterek termokimyasal işlemlerle hidrojen elde etmeye yardımcı olur. Foto-elektroliz yöntemi, suyun doğrudan güneş ışığını kullanarak hidrojen ve oksijene ayrışmasını sağlarken, biyo-fotoliz sürecinde bazı mikroorganizmalar güneş ışığını kullanarak doğal olarak hidrojen üretir.

6.8.3. Hidrojenin Saflaştırılması

Hidrojen üretimi sırasında ortaya çıkan gaz karışımlarında yalnızca saf hidrojen elde etmek için çeşitli saflaştırma yöntemleri kullanılır. Bu yöntemler hidrojenin saflığını artırarak daha verimli ve güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlar¹⁷³.

Basınç Salımlı Adsorpsiyon (PSA): Gaz karışımındaki hidrojen, özel filtrelerden geçirilerek saflaştırılır. Bu yöntem, yüksek saflıkta hidrojen elde etmek için en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir.

Gaz Filtrasyonu (Membran Teknolojisi): Ayırma, hidrojen moleküllerinin özel membranlardan (membranlar) filtrelenmesiyle yapılır. Bu yöntem enerji açısından verimli ve hızlıdır.

Adsorpsiyon: Katı yüzeyler belirli gazları çekerek hidrojenin diğer gazlardan ayrılmasını sağlar.

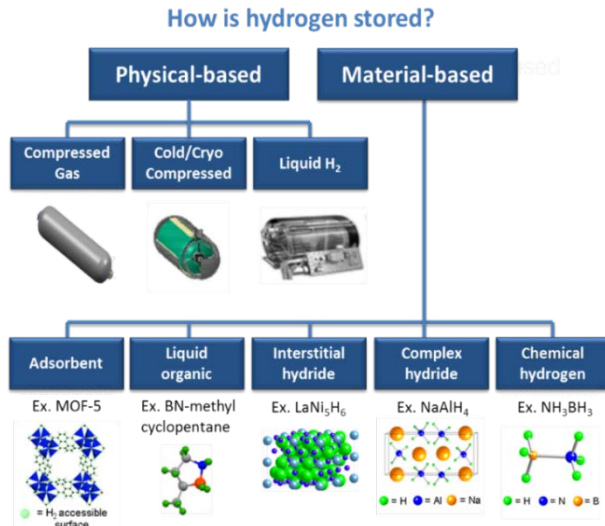
Emilim: Kimyasal çözeltiler, belirli gazları tutarak hidrojenin arıtılmasına yardımcı olur.

Damıtma: Hidrojen, farklı gazların kaynama noktalarındaki farklılıklardan yararlanılarak ayrılır.

Bu yöntemler sayesinde yüksek saflıkta hidrojen elde edilebilmekte ve yakıt hücrelerinde, endüstriyel proseslerde ve enerji sistemlerinde daha verimli kullanılabilir.

6.8.4. Hidrojenin depolanması

Hidrojenin verimli depolanması sürdürülebilir enerji sistemleri için büyük önem taşır. Hidrojen gazı çok hafif ve düşük yoğunluklu olduğundan yeterli miktarda enerji depolamak için özel teknikler geliştirilmiştir. Hidrojen genellikle üç farklı şekilde depolanır¹⁷⁴:

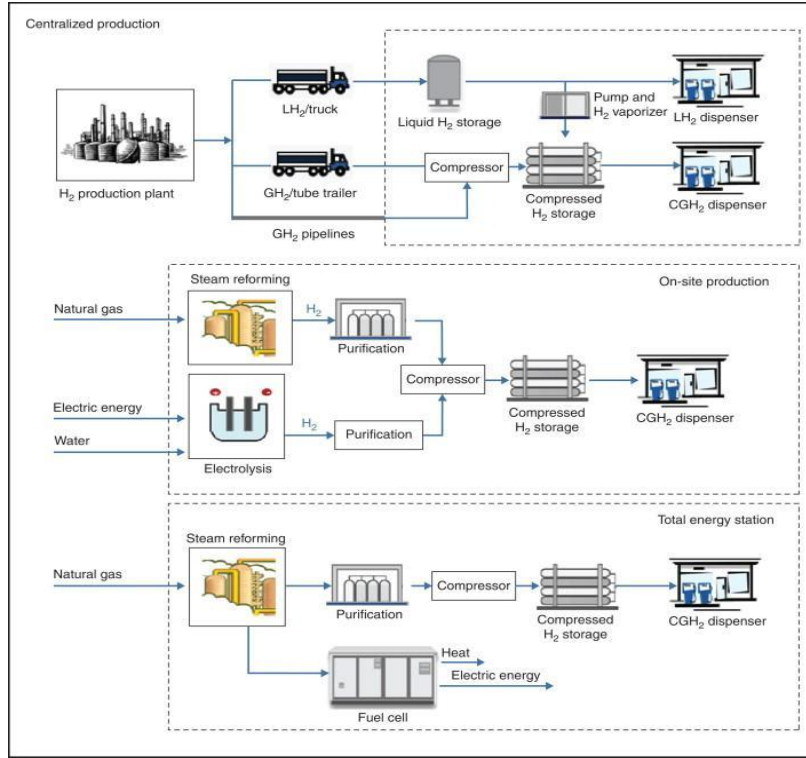


Şekil 130: Hidrojen fiziksel olarak gaz veya sıvı olarak, maddi olarak ise kimyasal bağlama veya katı hal hidritler yoluyla depolanarak verimli ve güvenli enerji kullanımı sağlanabilir¹⁷⁴

1. **Gaz Olarak Depolama:** Hidrojen yüksek basınçlı silindirlerde depolanabilir. Metal tanklar veya dayanıklı cam elyafı sarılı tanklar hidrojenin güvenli bir şekilde taşınmasını sağlar.

2. **Sıvı Olarak Depolama:** Hidrojen sıvı hale getirmek için -253°C 'ye kadar soğutulur. Bu yöntem daha az hacimde daha fazla hidrojen depolanmasını sağlar, ancak düşük sıcaklıkları korumak için ekstra enerji gerektirir.

3. **Kimyasal Depolama:** Hidrojen, amonyak veya bor hidrit gibi kimyasal bileşiklerle bağlanarak depolanabilir. Gerektiğinde bu bileşiklerden ayrılarak tekrar hidrojen gazı elde edilir.



6.8.5. Hidrojenin İletimi ve Dağıtımı

Hidrojen üretildikten sonra, kullanım noktasına güvenli ve verimli bir şekilde ulaştırılması gerekir. Bunun için boru hatları, tankerler ve özel taşıma sistemleri kullanılır¹⁷⁵.

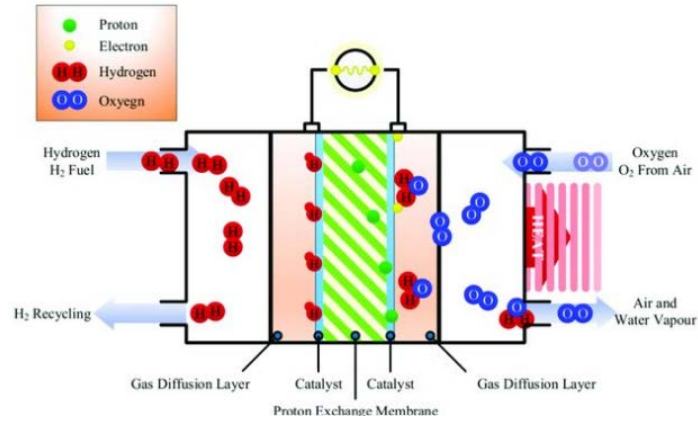
Şekil 131: Hidrojen merkezi olarak veya yerinde üretilebilir, daha sonra sıkıştırma ve depolama sonrasında boru hatları, tankerler veya dağıtıcılar aracılığıyla dağıtılabilir¹⁷⁵

- **Boru Hatlarıyla Taşıma:** Hidrojen, üretim yerinden tüketim noktalarına doğrudan boru hatlarıyla taşınabilir. Mevcut doğal gaz boru hatları bazı durumlarda hidrojeni taşımak için uyarlanabilir.
- **Tankerlerle Taşıma:** Sıvı hidrojen, özel olarak yalıtılmış tankerlerle taşınabilir. Bu yöntem, hidrojenin uzun mesafelerde taşınmasını kolaylaştırır.
- **Kimyasal Bileşiklerle Taşıma:** Hidrojen, amonyak veya metanol gibi bileşiklerde depolanarak daha güvenli ve verimli bir şekilde taşınabilir. Hidrojen daha sonra bu bileşiklerden tekrar ayrılabilir.

Hidrojenin yaygın kullanımını sağlamak için tedarik istasyonlarının sayısını artırmak ve güvenlik standartlarını iyileştirmek önemlidir. Özellikle hidrojenle çalışan araçlar için yakıt ikmal noktalarının yaygınlaşması hidrojen ekonomisinin büyümesine katkıda bulunacaktır.

6.8.6. Yakıt Hücreleri

Yakıt hücreleri, hidrojen ve oksijenin elektrokimyasal reaksiyonu sonucu doğrudan elektrik üretir. Bu sistem, hidrojen ve oksijen üretmek için suyun elektrolizinin tam tersidir. Yakıt hücrelerinde yakıt olarak hidrojen kullanılır ve reaksiyon sonucunda yalnızca su açığa çıkar. Bu nedenle, yakıt hücreleri çevre dostu ve oldukça verimli bir enerji üretim teknolojisidir¹⁷⁶. Bir yakıt hücresi temel olarak üç ana bileşenden oluşur:



Şekil 132: Yakıt hücreleri, hidrojen ve oksijenin elektrokimyasal reaksiyonu yoluyla elektrik üretir ve yan ürün olarak yalnızca su üretir¹⁷⁶

- **Anot (negatif elektrot):** Hidrojen burada oksitlenir ve protonlara ve elektronlara ayrılır.
- **Katot (pozitif elektrot):** Oksijen burada elektronlarla birleşerek su oluşturur.
- **Elektrolit:** Protonların anot ve katot arasında hareket etmesini sağlar.

Bu işlem sonucunda ortaya çıkan elektronlar dış devrede hareket ederek elektrik enerjisi üretirler. Yakıt hücreleri hidrojen sürekli olarak verildiğinde durmaksızın çalışabilirler.

Yakıt hücreleri, kullanılan elektrolit malzemesine ve çalışma sıcaklığına göre farklı kategorilere ayrılır:

Polimer Elektrolit Membran Yakıt Hücresi (PEMFC): Düşük sıcaklıkta çalışır, taşınabilir cihazlar ve araçlar için uygundur.

Alkali Yakıt Hücresi (AFC): Uzay araçlarında kullanılır, oldukça verimlidir.

Fosforik Asit Yakıt Hücresi (PAFC): Orta sıcaklıkta çalışır, büyük ölçekli güç üretimi için uygundur.

Katı Oksit Yakıt Hücresi (SOFC): Yüksek sıcaklıkta çalışır, endüstriyel uygulamalarda tercih edilir.

Erimiş Karbonat Yakıt Hücresi (MCFC): Yüksek sıcaklık gerektiren enerji santrallerinde kullanılır.

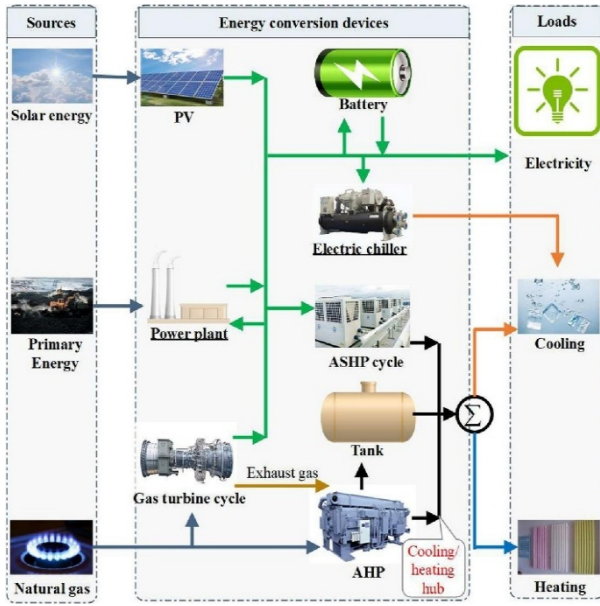
Doğrudan Metanol Yakıt Hücresi (DMFC): Sıvı metanol kullanır, taşınabilir elektronik cihazlar için uygundur.

Çinko Hava Yakıt Hücresi (ZAFC): Hafif ve taşınabilir enerji çözümlerinde kullanılır.

Proton Seramik Yakıt Hücresi (PCFC): Yüksek sıcaklıklarda verimli bir şekilde çalışır.

Yakıt hücrelerinin elektrikli araçlardan taşınabilir güç sistemlerine ve büyük enerji santrallerine kadar geniş bir kullanım alanı vardır.

6.8.7. Trijenerasyon (Elektrik-Isı-Hidrojen)



Şekil 133: Trijenerasyon sistemleri, yenilenebilir kaynaklar ve akıllı enerji yönetimi yoluyla enerji verimliliğini artırarak elektrik, ısı ve hidrojen üretimini entegre eder¹⁷⁷

Trijenerasyon, aynı sistem içinde elektrik, ısı ve soğutma üretimine olanak sağlayan bir enerji teknolojisidir. Geleneksel kojenerasyon sistemleri yalnızca elektrik ve ısı üretirken, trijenerasyon sistemleri ek olarak soğutma veya hidrojen üretebilir¹⁷⁷.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı trijenerasyon sistemleri sürdürülebilir enerji üretimi açısından büyük avantajlar sunmaktadır. Örneğin:

- **Elektrik üretimi:** Sistem, yakıt olarak hidrojen veya doğal gaz kullanan jeneratörler aracılığıyla elektrik üretebilir.
- **Isı geri kazanımı:** Üretim sırasında oluşan atık ısı, binaları veya endüstriyel tesisleri ısıtmak için kullanılabilir.
- **Hidrojen üretimi:** Fazla enerji, suyun elektrolizi ile hidrojen üretmek için kullanılabilir. Bu hidrojen depolanabilir ve yakıt olarak kullanılabilir.

Bu sistemler enerji verimliliğini artırırken karbon emisyonlarını azaltmaya yardımcı olur. Özellikle büyük tesislerde, hastanelerde ve endüstriyel işletmelerde yaygın olarak kullanılan trijenerasyon teknolojisi, gelecekte daha sürdürülebilir bir enerji altyapısı oluşturmada önemli rol oynar.

7- Kaynakça

1. Schobert HH. *Energy and society: An introduction*. Crc Press, 2002.
2. Strojny J, Krakowiak-Bal A, Knaga J, et al. Energy Security: A Conceptual Overview. *Energies*; 16. Epub ahead of print 2023. DOI: 10.3390/en16135042.
3. Zecca A, Chiari L. Fossil-fuel constraints on global warming. *Energy Policy* 2010; 38: 1–3.
4. Dogaru L. The main goals of the fourth industrial revolution. Renewable energy perspectives. *Procedia Manuf* 2020; 46: 397–401.
5. Böhringer C. The Kyoto Protocol: A review and perspectives. *Oxford Rev Econ Policy* 2003; 19: 451–466.
6. Bhattarai H. Renewable energy and energy storage systems. *Energy Convers Methods, Technol Futur Dir* 2022; 269–289.
7. Tsegaw GT. , A CRITICAL REVIEW Abhinav National Monthly Refereed Journal of Research Science & Technology ENERGY , ENTROPY AND EXERGY CONCEPTS : THERMODYNAMIC APPROACH , A CRITICAL REVIEW. 2018; 3: 3–17.
8. Pitts JB. Conservation of Energy: Missing Features in Its Nature and Justification and Why They Matter. *Found Sci* 2021; 26: 559–584.
9. Wahlund M, Palm J. The role of energy democracy and energy citizenship for participatory energy transitions: A comprehensive review. *Energy Res Soc Sci* 2022; 87: 102482.
10. Renewable energy sources. *Sustain* 2019; 11: 1–14.
11. Omer AM. Energy, environment and sustainable development. *Renew Sustain Energy Rev* 2008; 12: 2265–2300.
12. Wuebbles DJ, Jain AK. Concerns about climate change and the role of fossil fuel use. *Fuel Process Technol* 2001; 71: 99–119.
13. Brookfield H. ‘Sustainable Development’ and the Environment. *J Dev Stud* 1988; 25: 126–135.
14. Brown M. Innovative energy-efficiency policies: An international review. *Wiley Interdiscip Rev Energy Environ* 2015; 4: 1–25.
15. Zhang X, Han L, Wei H, et al. Linking urbanization and air quality together: A review and a perspective on the future sustainable urban development. *J Clean Prod* 2022; 346: 130988.
16. Adetomi Adewnm, Kehinde Andrew Olu-lawal, Chinelo Emilia Okoli, et al. Sustainable energy solutions and climate change: A policy review of emerging trends and global responses. *World J Adv Res Rev* 2023; 21: 408–420.
17. Johnson JMF, Franzluebbbers AJ, Weyers SL, et al. Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. *Environ Pollut* 2007; 150: 107–124.
18. Schwenkenbecher A. Is there an obligation to reduce one’s individual carbon footprint. *Crit Rev Int Soc Polit Philos* 2014; 17: 168–188.

19. Al-Ghussain L. c. *Environ Prog Sustain Energy* 2019; 38: 13–21.
20. Taylor FW. The greenhouse effect and climate change revisited. *Reports Prog Phys* 2002; 65: 1–25.
21. Azhar Khan M, Zahir Khan M, Zaman K, et al. Global estimates of energy consumption and greenhouse gas emissions. *Renew Sustain Energy Rev* 2014; 29: 336–344.
22. Akin SM, Martens P, Huynen MMTE. Climate change and infectious disease risk in western Europe: A survey of dutch expert opinion on adaptation responses and actors. *Int J Environ Res Public Health* 2015; 12: 9726–9749.
23. Uydur CC. *Impact of Indoor Lighting Installations on Carbon Footprint : Textile Factory Case Study*. 2024. Epub ahead of print 2024. DOI: 10.5281/zenodo.14011080.
24. Allegretti G, Montoya MA, Bertussi LAS, et al. When being renewable may not be enough: Typologies of trends in energy and carbon footprint towards sustainable development. *Renew Sustain Energy Rev* 2022; 168: 112860.
25. Abbasi T, Premalatha M, Abbasi SA. The return to renewables: Will it help in global warming control? *Renew Sustain Energy Rev* 2011; 15: 891–894.
26. Abas N, Kalair A, Khan N. Review of fossil fuels and future energy technologies. *Futures* 2015; 69: 31–49.
27. Khan MK, Raza M, Shahbaz M, et al. Recent advancement in energy storage technologies and their applications. *J Energy Storage* 2024; 92: 112112.
28. Neha, Rambeer J. Renewable Energy Sources: A Review. *J Phys Conf Ser*; 1979. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.1088/1742-6596/1979/1/012023.
29. Jyothi RK, De Melo LGTC, Santos RM, et al. An overview of thorium as a prospective natural resource for future energy. *Front Energy Res* 2023; 11: 1–13.
30. Smith P, Adams J, Beerling DJ, et al. Land-Management Options for Greenhouse Gas Removal and Their Impacts on Ecosystem Services and the Sustainable Development Goals. *Annu Rev Environ Resour* 2019; 44: 255–286.
31. Geophysics OF, Physics S. Pollutant Emission Estimates To Assume That It Will Continue To Change in the. 14.
32. Singh H, Bhardwaj N, Arya SK, et al. Environmental impacts of oil spills and their remediation by magnetic nanomaterials. *Environ Nanotechnology, Monit Manag* 2020; 14: 100305.
33. Moore CW, Zielinska B, Pétron G, et al. Air impacts of increased natural gas acquisition, processing, and use: A critical review. *Environ Sci Technol* 2014; 48: 8349–8359.
34. Rabilloud X. Prevented mortality and greenhouse gas emissions from historical and projected nuclear power. *Environ Sci Technol* 2013; 47: 13896–13899.
35. Rashad SM, Hammad FH. Nuclear power and the environment: Comparative assessment of environmental and health impacts of electricity-generating systems. *Appl Energy* 2000; 65: 211–229.

36. Sharma SB, Jain S, Khirwadkar P, et al. The Effects of Air Pollution on the Environment and Human Health. *Indian J Res Pharm Biotechnol* 2013; 1: 391–396.
37. Masood N, Hudson Edwards K, Farooqi A. True cost of coal: Coal mining industry and its associated environmental impacts on water resource development. *J Sustain Min* 2020; 19: 135–149.
38. Ivanova S, Vesnina A, Fotina N, et al. An Overview of Carbon Footprint of Coal Mining to Curtail Greenhouse Gas Emissions. *Sustain* 2022; 14: 1–22.
39. Deng D, Zhang L, Dong M, et al. Radioactive waste: A review. *Water Environ Res* 2020; 92: 1818–1825.
40. World - IEA, <https://www.iea.org/world> (2025).
41. Potrč S, Čuček L, Martin M, et al. Sustainable renewable energy supply networks optimization – The gradual transition to a renewable energy system within the European Union by 2050. *Renew Sustain Energy Rev*; 146. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111186.
42. Europe – Countries & Regions - IEA, <https://www.iea.org/regions> (2025).
43. Biomass can heat, cool, power, and transport the EU-28 for 45 days, <https://bioenergyinternational.com/biomass-can-heat-cool-power-and-transport-the-eu-28-for-45-days/> (2019).
44. Costantini V, Gracceva F, Markandya A, et al. Security of energy supply: Comparing scenarios from a European perspective. *Energy Policy* 2007; 35: 210–226.
45. Adewuyi AO, Awodumi OB. Renewable and non-renewable energy-growth-emissions linkages: Review of emerging trends with policy implications. *Renew Sustain Energy Rev* 2017; 69: 275–291.
46. FURUNCU Y. Türkiye'nin Enerji Bağımlılığı ve Akkuyu Nükleer Enerji Santrali. *Cumhur Sci J* 2016; 37: 198.
47. Panagopoulou F. Renewable energy sources in Greece : potential, opportunities and challenges.
48. Seminario-Córdova R, Rojas-Ortega R. Renewable Energy Sources and Energy Production: A Bibliometric Analysis of the Last Five Years. *Sustain*; 15. Epub ahead of print 2023. DOI: 10.3390/su151310499.
49. Ramos PN. *Ficha Técnica*. 2024. Epub ahead of print 2024. DOI: 10.59072/rper.vi28.329.
50. Mijakovski V, Mijakovski N. Review of current position and perspectives of renewable energy in the Republic of Macedonia with focus on electricity production. *Renew Sustain Energy Rev* 2011; 15: 5068–5080.
51. Dincer I. Renewable energy and sustainable development: A crucial review. *Renew Sustain energy Rev* 2000; 4: 157–175.
52. Deshmukh MKG, Sameeroddin M, Abdul D, et al. Renewable energy in the 21st century: A review. *Mater Today Proc* 2023; 80: 1756–1759.
53. Krūmiņš J, Kļaviņš M. Investigating the Potential of Nuclear Energy in Achieving a

- Carbon-Free Energy Future. *Energies*; 16. Epub ahead of print 2023. DOI: 10.3390/en16093612.
54. 30% of the world's electricity came from renewable sources in 2023. *Our World in Data.*, <https://ourworldindata.org/data-insights/renewable-electricity-2023>.
 55. Solar - IEA. (n.d.). IEA., <https://www.iea.org/energy-system/renewables/solar-pv>.
 56. Fossil fuels still dominate global power systems, <https://www.reuters.com/markets/commodities/fossil-fuels-still-dominate-global-power-systems-2023-11-30/> (2023).
 57. Hongler P. Justice in International Tax Law. 2019; 2019.
 58. Maka AOM, Alabid JM. Solar energy technology and its roles in sustainable development. *Clean Energy* 2022; 6: 476–483.
 59. Klise GT, Stein JS. Models used to assess the performance of photovoltaic systems. *Sandia Natl Lab* 2009; 1–67.
 60. *Absorption / reflection of sunlight - Understanding Global Change*, <https://ugc.berkeley.edu/background-content/reflection-absorption-sunlight/> (2025).
 61. Kataray T, Nitesh B, Yarram B, et al. Integration of smart grid with renewable energy sources: Opportunities and challenges – A comprehensive review. *Sustain Energy Technol Assessments* 2023; 58: 103363.
 62. Stocks M, Stocks R, Lu B, et al. Global Atlas of Closed-Loop Pumped Hydro Energy Storage. *Joule* 2021; 5: 270–284.
 63. Wermager S, Baur S. Energy analysis of a student-designed solar house. *Energies* 2013; 6: 6373–6390.
 64. SOLAR ENERGY. *İLBANK*, <https://www.ilbank.gov.tr/sayfa/solar-energy> (2025).
 65. Wiatros-Motyka M, Fulghum N, Jones D, et al. Global Electricity Review 2024 - Ember Climate. 2024; 20–35.
 66. Greece installs 2.6 GW of PV capacity in 2024. *pv magazine International*, <https://www.pv-magazine.com/2025/02/05/greece-installs-2-6-gw-of-pv-capacity-in-2024/> (2025).
 67. JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission, https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ (2025).
 68. APREN - Home, <https://www.apren.pt/en/renewable-energys/> (2025).
 69. DGEg, <https://www.dgeg.gov.pt/> (2025).
 70. North Macedonia puts its biggest solar power plant into operation. *Balkan Green Energy News*, <https://balkangreenenergynews.com/north-macedonia-puts-its-biggest-solar-power-plant-into-operation/> (2025).
 71. A Renewable Energy Future in North Macedonia: A Blueprint for Accelerating a Just Transition. *The Nature Conservancy*, <https://www.nature.org/en-us/about-us/where-we-work/europe/stories-in-europe/siting-renewable-energy-north-macedonia/> (2025).
 72. Miškić J, Pukšec T, Duić N. A view of recent advances in the field of sustainability:

- overview dedicated to 2022 SDEWES conferences. *Clean Technol Environ Policy* 2024; 26: 1–9.
73. Majeed Y, Khan MU, Waseem M, et al. Renewable energy as an alternative source for energy management in agriculture. *Energy Reports* 2023; 10: 344–359.
 74. Soroush M, Hajimolana Y. Sunlight harvesting. *Comput Chem Eng* 2023; 170: 108103.
 75. Sadhu M, Chakraborty S, Das N, et al. Role of Solar Power in Sustainable Development of India. *Int J Appl Power Eng* 2016; 5: 103.
 76. Ravi Kumar K, Krishna Chaitanya NVV, Sendhil Kumar N. Solar thermal energy technologies and its applications for process heating and power generation – A review. *J Clean Prod* 2021; 282: 125296.
 77. Elsarrag E, Igobo ON, Alhorr Y, et al. Solar pond powered liquid desiccant evaporative cooling. *Renew Sustain Energy Rev* 2016; 58: 124–140.
 78. Ahmed MH. Design and Testing of Heating and Cooling System Working by Solar Energy and Heat Exchanger. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.13140/RG.2.2.17729.84323.
 79. Solar Energy - Types, Working Principles and Block Diagram - GeeksforGeeks, <https://www.geeksforgeeks.org/solar-energy/> (2024).
 80. Toroxel JL, Silva SM. A Review of Passive Solar Heating and Cooling Technologies Based on Bioclimatic and Vernacular Architecture. *Energies* 2024; 17: 1–28.
 81. Dabiri S, Rahimi MF. Introduction of solar collectors and energy and exergy analysis of a heliostat plant The 3rd International Conference and Exhibition on Solar Energy Basic introduction of solar collectors and energy and exergy analysis of a heliostat plant, <https://www.researchgate.net/publication/318360867> (2016).
 82. Omeiza LA, Abid M, Subramanian Y, et al. Challenges, limitations, and applications of nanofluids in solar thermal collectors—a comprehensive review. *Environ Sci Pollut Res*. Epub ahead of print 2023. DOI: 10.1007/s11356-023-30656-9.
 83. Muliadi M, Sara ID, Suriadi S. The effect of bypass diode installation on partially covered solar panel output power. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng* 2021; 1087: 012077.
 84. Hao D, Qi L, Tairab AM, et al. Solar energy harvesting technologies for PV self-powered applications: A comprehensive review. *Renew Energy* 2022; 188: 678–697.
 85. Sabry AH, Ker PJ. Improvement on energy consumption of a refrigerator within PV system including battery storage. *Energy Reports* 2021; 7: 430–438.
 86. Dorel S, Gmal Osman M, Strejoiu CV, et al. Exploring Optimal Charging Strategies for Off-Grid Solar Photovoltaic Systems: A Comparative Study on Battery Storage Techniques. *Batteries*; 9. Epub ahead of print 2023. DOI: 10.3390/batteries9090470.
 87. Gulzar MM, Iqbal A, Sibtain D, et al. An Innovative Converterless Solar PV Control Strategy for a Grid Connected Hybrid PV/Wind/Fuel-Cell System Coupled With Battery Energy Storage. *IEEE Access* 2023; 11: 23245–23259.
 88. Solak EK, Irmak E. Advances in organic photovoltaic cells: a comprehensive review of materials, technologies, and performance. *RSC Adv* 2023; 13: 12244–12269.

89. Satpathy R, Pamuru V. Making of crystalline silicon solar cells. *Sol PV Power* 2021; 71–134.
90. Cevasco D, Koukoura S, Kolios AJ. Reliability, availability, maintainability data review for the identification of trends in offshore wind energy applications. *Renew Sustain Energy Rev* 2021; 136: 110414.
91. Arivukkodi G. NATIONAL INSTITUTE OF WIND ENERGY (An Autonomous R & D institution under the Ministry of New & Renewable Energy , Government of India). An internship report On Submitted By.
92. For the first time, wind power in Greece exceeded 5 GW! - WattCrop, <https://wattcrop.com/for-the-first-time-wind-power-in-greece/> (2025).
93. Christodoulou T, Thomaidis NS, Kartsios S, et al. Managing the Intermittency of Wind Energy Generation in Greece. *Energies* 2024; 17: 1–32.
94. October I, Pedro F, Jorge A. October : Wind power accounts for almost 40 % of the energy produced in Portugal. 2024; 2023–2024.
95. A Renewable Energy Future in North Macedonia: A Blueprint for Accelerating a Just Transition.
96. Stojcheska AM, Cyril S, Chukaliev O, et al. CLIMATE CHANGE ADAPTATION IN AGRICULTURE – STATUS AND PROSPECTS IN WESTERN BALKAN ECONOMIES , VOLUME II : ECONOMIES ' CLIMATE CHANGE ADAPTATION IN AGRICULTURE – STATUS AND PROSPECTS IN WESTERN BALKAN ECONOMIES VOLUME II : ECONOMIES ' REPORTS. II. Epub ahead of print 2024. DOI: 10.13140/RG.2.2.29111.64165.
97. Justice G, Nyantakyi G, Isaac SH. The effect of renewable energy on carbon emissions through globalization. *Heliyon* 2024; 10: e26894.
98. Semassou GC, Prodjinonto V, Chegnimonhan V, et al. Dimensioning of a Water Pumping System by the Systematic Scanning Method. *Curr J Appl Sci Technol* 2018; 29: 1–15.
99. Bošnjakovi M. Wind Turbine Technology Trends Mladen. *Early Writings on India* 2018; 124–134.
100. Asim T, Islam SZ, Hemmati A, et al. A Review of Recent Advancements in Offshore Wind Turbine Technology. *Energies*; 15. Epub ahead of print 2022. DOI: 10.3390/en15020579.
101. Kumar GBA, Shivashankar. Optimal power point tracking of solar and wind energy in a hybrid wind solar energy system. *Int J Energy Environ Eng* 2022; 13: 77–103.
102. Parvez I, Shen J, Hassan I, et al. Generation of hydro energy by using data mining algorithm for cascaded hydropower plant. *Energies* 2021; 14: 1–28.
103. Radovic A. What ' s Happening in the World of CVN ? 1–28.
104. Atat MK, Ar C, Kelimeler A. CUMHURİYETİN İLK BARAJI : ÇUBUK BARAJI THE FIRST DAM OF TURKISH REPUBLIC : ÇUBUK DAM Ankara ' nın Su İhtiyacı. 2016; 87–110.
105. Farmaki P, Tranoulidis A, Kouletsos T, et al. Mining transition and hydropower energy

- in greece—sustainable governance of water resources management in a post-lignite era: The case of western Macedonia, Greece. *Water (Switzerland)*; 13. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.3390/w13141878.
106. Producers, distributors and operators | Macedonia Small Hydro Power Project, <https://shpp.moepp.gov.mk/370/producers-distributors-and-operators> (2025).
 107. Bilgili F, Lorente DB, Kuşkaya S, et al. The role of hydropower energy in the level of CO2 emissions: An application of continuous wavelet transform. *Renew Energy* 2021; 178: 283–294.
 108. Barriers to Next-Gen Geothermal | IFP, <https://ifp.org/hot-rocks-part-three-barriers-to-next-gen-geothermal/> (2025).
 109. Geothermal Energy: What it is, Types & More | AGIC ENERGY, <https://agicenergy.com/geothermal-energy-what-it-is-types-more/> (2025).
 110. Igwe CI. Geothermal Energy: A Review. *Int J Eng Res Technol* 2021; 10: 655–661.
 111. Koçak Ali. TÜRKİYE’DE JEOTERMAL ENERJİ ARAMALARI ve POTANSİYELİ. 2003; 217–233.
 112. Varvitsioti E, Tsifoutidis G. A Regulatory Roadmap to the Past, Present and Future of Geothermal Energy in Greece. 2021; 10.
 113. Zafeiropoulos GN. FACULTY OF GEOLOGY AND GEOENVIRONMENT The importance of Geoenvironmental Education in understanding Geological Heritage and promoting Geoethical Awareness : Development and Implementation of an innovative assessment method , with a case study of the South.
 114. Pitzer MR, Plasil MR, Schrey DS. Potential of Renewable Energy in the Countries : Bosnia and Herzegovina , FYR Macedonia , Kosovo and Serbia A Master ’ s Thesis submitted for the degree of supervised by.
 115. Chingoski V, Petrevska B. GEOTHERMAL RESOURCES: NEW INSIGHTS FOR SPA TOURISM IN NORTH MACEDONIA. 2021; 127–135.
 116. Idroes GM, Hardi I, Hilal IS, et al. Economic growth and environmental impact: Assessing the role of geothermal energy in developing and developed countries. *Innov Green Dev* 2024; 3: 100144.
 117. Jeotermal Rising, jeotermal ısı pompalarına genel bakış, <https://www.jeotermalhaberler.com/jeotermal-rising-jeotermal-isi-pompalarina-genel-bakis/> (2025).
 118. Sharmin T, Khan NR, Akram MS, et al. A State-of-the-Art Review on Geothermal Energy Extraction, Utilization, and Improvement Strategies: Conventional, Hybridized, and Enhanced Geothermal Systems. *Int J Thermofluids* 2023; 18: 100323.
 119. Zhang S, Ocloń P, Klemeš JJ, et al. Renewable energy systems for building heating, cooling and electricity production with thermal energy storage. *Renew Sustain Energy Rev*; 165. Epub ahead of print 2022. DOI: 10.1016/j.rser.2022.112560.
 120. What is Geothermal? | Geothermal | Energy | Environment and Climate Change | Province of Manitoba, https://www.gov.mb.ca/sd/environment_and_biodiversity/energy/geothermal/geo.html (2025).

121. Gao B, Zhu X, Yang X, et al. Operation performance test and energy efficiency analysis of ground-source heat pump systems. *J Build Eng* 2021; 41: 1–11.
122. Chiriboga G, Capelo S, Bunces P, et al. Harnessing of geothermal energy for a greenhouse in Ecuador employing a heat pump: design, construction, and feasibility assessment. *Heliyon*; 7. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e08608.
123. Hafner M, Raimondi PP. *Energy and the Economy in Europe*. 2022. Epub ahead of print 2022. DOI: 10.1007/978-3-030-86884-0_36.
124. Tsamenyi M, Herriman M. Ocean energy and the law of the sea: The need for a protocol. *Ocean Dev Int Law* 1998; 29: 3–19.
125. Innovation Archives, https://www.offshore-energy.biz/markets/marine-energy/page/20/?fwp_topic=infrastructure&topic=innovation (2025).
126. Foteinis S. Wave energy converters in low energy seas: Current state and opportunities. *Renew Sustain Energy Rev* 2022; 162: 112448.
127. Sihwa Lake Tidal Power Station - Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Sihwa_Lake_Tidal_Power_Station#:~:text=Sihwa Lake Tidal Power Station is the world's largest tidal,the Korea Water Resources Corporation. \(2009\).](https://en.wikipedia.org/wiki/Sihwa_Lake_Tidal_Power_Station#:~:text=Sihwa Lake Tidal Power Station is the world's largest tidal,the Korea Water Resources Corporation. (2009).)
128. Türkiye Denizüstü Rüzgar Enerjisi Yol Haritası: Yeşil Enerji Geleceğine Giden Yolda Seyretmek, <https://www.worldbank.org/tr/news/press-release/2024/11/07/offshore-wind-roadmap-for-turkiye-navigating-pathways-to-a-green-power-future> (2024).
129. Charles Rajesh Kumar J, Vinod Kumar D, Baskar D, et al. Offshore wind energy status, challenges, opportunities, environmental impacts, occupational health, and safety management in India. *Energy Environ* 2021; 32: 565–603.
130. Vezzani G. Effects of climate change on power supply Long-term analysis for the Portuguese study case Gabriele Vezzani Thesis to obtain the Master of Science Degree in : Energy engineering and management Patricia Fortes Chairperson : Supervisor : Members of the comm.
131. Mezilis E. The impact of Marine and Offshore Renewable Energy on the European Energy System Evolution The impact of Marine Renewable Energy on the European Energy System Evolution.
132. Banerjee S. Theoretical design for ascertaining sustainability of energy systems with special reference to the competing renewable energy schemes. *Resour Environ Sustain* 2022; 7: 100048.
133. Guo B, Ringwood J V. A review of wave energy technology from a research and commercial perspective. *IET Renew Power Gener* 2021; 15: 3065–3090.
134. Kaygusuz E, Ali S. WAVE ENERGY : A GLOBAL OVERVIEW OF THE CURRENT STATE OF CİSET - 2 nd Cilicia International Symposium on Engineering and Technology 10-12 October , 2019 , Mersin / TÜRKİYE WAVE ENERGY : A GLOBAL OVERVIEW OF THE CURRENT STATE OF.
135. Cui Y, Liu Z, Zhang X, et al. Review of CFD studies on axial-flow self-rectifying turbines for OWC wave energy conversion. *Ocean Eng* 2019; 175: 80–102.

136. Yakout AH, Attia MA, Kotb H. Marine Predator Algorithm based Cascaded PIDA Load Frequency Controller for Electric Power Systems with Wave Energy Conversion Systems. *Alexandria Eng J* 2021; 60: 4213–4222.
137. Chowdhury MS, Rahman KS, Selvanathan V, et al. Current trends and prospects of tidal energy technology. *Environ Dev Sustain* 2021; 23: 8179–8194.
138. Gelgit Enerjisi, <https://www.baretdergisi.com/yazarlar/semih-calapkulu/gelgit-enerjisi/96/>.
139. Ocean, Wave and Tidal Energy | Electricalvoice, <https://electricalvoice.com/ocean-energy-wave-tidal-energy-otec/> (2025).
140. Herrera J, Sierra S, Ibeas A. Ocean thermal energy conversion and other uses of deep sea water: A review. *J Mar Sci Eng*; 9. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.3390/jmse9040356.
141. Mwangi JW. Broad Spectrum Biogas System As a Potential Catalyst for Environmental Biomass Waste Mop Out and Climate Change Mitigation Strategy in Narok County.
142. Hameed Z, Aslam M, Khan Z, et al. Gasification of municipal solid waste blends with biomass for energy production and resources recovery: Current status, hybrid technologies and innovative prospects. *Renew Sustain Energy Rev* 2021; 136: 110375.
143. Woods E, Berrio VR, Qiu Y, et al. Biomass composting with gaseous carbon dioxide capture. *RSC Sustain* 2024; 2: 621–625.
144. BIS Releases Biofuel Production, Distribution and Usage Standards, <https://mysuruinfrahub.com/bis-releases-biofuel-production-distribution-and-usage-standards/> (2025).
145. Khan MAH, Bonifacio S, Clowes J, et al. Investigation of biofuel as a potential renewable energy source. *Atmosphere (Basel)*; 12. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.3390/atmos12101289.
146. Mofijur M, Siddiki SYA, Shuvho MBA, et al. Effect of nanocatalysts on the transesterification reaction of first, second and third generation biodiesel sources- A mini-review. *Chemosphere*; 270. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128642.
147. Khoshnevisan B, Duan N, Tsapekos P, et al. A critical review on livestock manure biorefinery technologies: Sustainability, challenges, and future perspectives. *Renew Sustain Energy Rev* 2021; 135: 110033.
148. Scion - Biorefinery technology, <https://www.scionresearch.com/about-us/about-scion/corporate-publications/scion-connections/past-issues-list/issue-6/biorefinery-technology> (2025).
149. Ambaye TG, Vaccari M, Bonilla-Petriciolet A, et al. Emerging technologies for biofuel production: A critical review on recent progress, challenges and perspectives. *J Environ Manage*; 290. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112627.
150. Türkiye elektrik kurulu gücü 115 bin 353 MW’a ulaştı, <https://www.enerjigunlugu.net/2024te-turkiyenin-kurulu-gucu-yuzde-4-artti->

61712h.htm (2025).

151. Tatoulis P. Feasibility study of a novel system for the production of advanced biofuels in Greece: Thermodynamic and technoeconomic assessment.
152. Markov SI. The Use of Liquefied Petroleum Gas (LPG) in the Republic of North Macedonia as a Sustainable Alternative Fuel: Regulation, Condition and Market Participants. *Conf Proc (part ITEMA Conf Collect* 2021; 203–213.
153. Moreira PJP. Shipping and sustainability liquefied natural gas as an alternative fuel: evidence from Portugal. Epub ahead of print 2019. DOI: 10.13140/RG.2.2.35650.22724.
154. Ali S, Yan Q, Razzaq A, et al. Modeling factors of biogas technology adoption: a roadmap towards environmental sustainability and green revolution. *Environ Sci Pollut Res* 2023; 30: 11838–11860.
155. Devi A, Bajar S, Kour H, et al. Lignocellulosic Biomass Valorization for Bioethanol Production: a Circular Bioeconomy Approach. *Bioenergy Res* 2022; 15: 1820–1841.
156. Alhassan AG, Mshelia RB, Yusuf R. Review of the use of bioethanol as alternative fuel for internal combustion engines. *Acta Tech Corviniensis - Bull Eng* 2021; 14: 139–144.
157. Sarkar N, Ghosh SK, Bannerjee S, et al. Bioethanol production from agricultural wastes: An overview. *Renew Energy* 2012; 37: 19–27.
158. Mittal V, Lim E. Aligning Advances in Biodiesel Technology with the Needs of the Defense Community. *Eng* 2024; 5: 2709–2727.
159. Bashir MA, Wu S, Zhu J, et al. Recent development of advanced processing technologies for biodiesel production: A critical review. *Fuel Process Technol* 2022; 227: 107120.
160. Vilas Bôas RN, Mendes MF. A review of biodiesel production from non-edible raw materials using the transesterification process with a focus on influence of feedstock composition and free fatty acids. *J Chil Chem Soc* 2022; 67: 5433-5444.
161. Suzihaque MUH, Alwi H, Kalthum Ibrahim U, et al. Biodiesel production from waste cooking oil: A brief review. *Mater Today Proc* 2022; 63: S490–S495.
162. How it works: Biodiesel production - PT Sinar Mas Agro Resources and Technology Tbk (PT SMART Tbk), <https://www.smart-tbk.com/en/cara-kerja-produksi-biodiesel/> (2025).
163. Abdelrahman AA, Abo El-Khair MA. Advanced Biodiesel Production: Feedstocks, Technologies, Catalysts, Challenges, and Environmental Impacts. *J Environ Chem Eng* 2025; 13: 114966.
164. Hydrogen Energy- Energy Of The Future?, <https://www.storm-procurement.com/news-old/hydrogen-energy> (2025).
165. Najjar YSH. Hydrogen safety: The road toward green technology. *Int J Hydrogen Energy* 2013; 38: 10716–10728.
166. Xu X, Zhou Q, Yu D. The future of hydrogen energy: Bio-hydrogen production technology. *Int J Hydrogen Energy* 2022; 47: 33677–33698.

167. Autothermal Reformer (ATR) Market Size Estimations: 2022, Development Trends, Technology Advancements and Future Challenges | Air Liquide Engineering & Construction, <https://www.openpr.com/news/2685742/autothermal-reformer-atr-market-size-estimations-2022> (2025).
168. Biomass Gasification: A Circular Economy Enabler for Hydrogen Production, <https://wri-india.org/pt/blog/biomass-gasification-circular-economy-enabler-hydrogen-production> (2025).
169. Singh S, Pandey G, Rath GK, et al. Life cycle assessment of biomass-based hydrogen production technologies: A review. *Int J Green Energy* 2023; 00: 1–16.
170. Varsha M V., Nageswaran G. Operando X-Ray Spectroscopic Techniques: A Focus on Hydrogen and Oxygen Evolution Reactions. *Front Chem*; 8. Epub ahead of print 2020. DOI: 10.3389/fchem.2020.00023.
171. Hydrogen Produced from Methane Pyrolysis: Key Considerations for Investors, <https://www.third-derivative.org/blog/hydrogen-produced-from-methane-pyrolysis-key-considerations-for-investors> (2024).
172. Abbas MK, Hassan Q, Tabar VS, et al. Techno-economic analysis for clean hydrogen production using solar energy under varied climate conditions. *Int J Hydrogen Energy* 2023; 48: 2929–2948.
173. Dehdari L, Burgers I, Xiao P, et al. Purification of hydrogen from natural gas/hydrogen pipeline mixtures. *Sep Purif Technol* 2022; 282: 120094.
174. Hwang J, Maharjan K, Cho HJ. A review of hydrogen utilization in power generation and transportation sectors: Achievements and future challenges. *Int J Hydrogen Energy* 2023; 48: 28629–28648.
175. Ural T, Karaca G. Hydrogen Economy. *J Glob Eng Stud e-ISSN* 2016; 3: 145–154.
176. Li J, Yu T. Sensors integrated control of PEMFC gas supply system based on large-scale deep reinforcement learning. *Sensors (Switzerland)* 2021; 21: 1–19.
177. Chen Y, Xu Z, Wang J, et al. Multi-objective optimization of an integrated energy system against energy, supply-demand matching and exergo-environmental cost over the whole life-cycle. *Energy Convers Manag* 2022; 254: 115203.