

**Erasmus+ KA2 Projesi • Proje No: 2016-1-TR01-KA202-33958**

**Çevresel Hususların  
Enerji Sistemlerinin Geliştirilmesine  
Entegrasyonu  
CLEAN-kWAT**

**Başak TAŞELİ**  
Giresun Üniversitesi,  
Çevre Mühendisliği Bölümü

**Doç. Dr. Gamze YÜCEL İŞILDAR**  
Gazi Üniversitesi- Fen ve Teknoloji Enstitüsü,  
Çevre Bilimleri Bölümü

**Yrd. Doç. Dr. Aleksandra SRETENOVIC**  
Makine Mühendisliği Bölümü,  
Belgrad Üniversitesi

## ÖNSÖZ

Günümüzde hızla artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte enerji ihtiyacı da giderek artmaktadır. Ülkelerin kalkınma, refah ve gelişmelerini sağlamada birincil derecede önemli olan enerji, son dönemde uluslararası sistemde en stratejik araçlardan biri haline gelmiştir. Artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için, enerji üretim sistemleri de çeşitlenmekte, konvansiyonel yöntemlerle birlikte, alternatif yöntem arayışları sürmekte ve üretilen enerji miktarı artış göstermektedir. Küresel enerji tüketiminin 2040 yılına kadar % 28 artacağı öngörülmektedir. Bugün, yenilenebilir enerji kaynaklarındaki artışa rağmen kömür, petrol ve doğal gaz ana enerji kaynakları olarak kullanılmaktadır. Küresel enerji tüketiminin % 77'sinin 2040'ta hala fosil yakıtlardan sağlanıyor olacağı tahmin edilmektedir. 2017 yılı ortalamasında, küresel enerji tüketiminin % 33'ü petrol ve sıvı yakıtlardan karşılanmaktadır. Ancak enerji üretimi sırasında, özellikle de fosil yakıtlar hammadde olarak kullanıldığında; enerji-çevre-kalkınma arasındaki denklemin giderek karmaşık bir hal almakta ve dengenin ne tarafa doğru korunmasına karar verebilmek giderek güçleşmektedir. Fakat, iklim değişikliği probleminin bugün geldiği nokta; birebir karşılaşılan çevresel sorunlar (fırtınalar, kuraklık, sel, biyoçeşitliliğin azalması, vb) artık ÇEVRE-ENERJİ ENTEGRASYONU'nun kaçınılmaz olduğunu ortaya koymaktadır. İklim değişikliğinin en önemli nedeni olan CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarındaki artışın en büyük kaynağının “enerji sektörü” olduğu artık bilimsel olarak kanıtlanmış bir gerçektir. Dolayısıyla, kalkınmak için, refahımız için enerji üretirken- hammadde çıkarılmasından başlayarak, taşınması, işlenmesi, üretim, atıkların bertarafı gibi üretimin bütün aşamalarında ekolojik dengeyi de hesaba katmak zorundayız. Bu durumda, enerji sektöründe görev alacak elemanların, çevre hassasiyetleri ve enerji üretiminin çevresel etkileri konularındaki bilgileri önem kazanmaktadır.

Ancak birçok üniversitenin enerji ile ilgili bölümlerinde, enerji sağlamanın çevresel etkileri ile ilgili zorunlu dersler bulunmamaktadır. Enerji sistemleri mühendisliği bölümleri son yıllarda artan eğilim gösterdiğinden bu alandaki eğitimin eğitim materyalleri ile, özellikle de yenilikçi materyallerle desteklenmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Buradan hareketle; “CLEAN-kWAT-Çevresel Hususların Enerji Üretim Sistemlerine Entegrasyonu Projesi” ile bu ihtiyacın karşılanması hedeflenmektedir. Avrupa Yeterlilik Çerçevesi (EQF), Avrupa'da Ulusal Yeterlilik (NQF) konseptini anlaşılabilir kılmayı, ülkeler arasında işçilerin hareketliliğini sağlamayı ve ortak öğrenme sistemi geliştirmeyi amaçlamaktadır. Kılavuz sistemlerin geliştirilmesi, yaratıcılık, inovasyon ve eğitim alanında Avrupa Birliği deneyiminin paylaşılması yoluyla Mesleki Öğretim ve Eğitim (VET) sisteminin kalitesini ve performansını yükseltmek gereklidir.

CLEAN-kWAT projesi, öğrenme çıktılarına dayalı eğitim sistemlerinin geliştirilmesi ve yeterlilik standartlarının yeniden tanımlanması yoluyla bu konuları ele alacaktır. Enerji tedarik sektöründe çalışmak için gerekli becerileri ve yeterlikleri vurgulayacak ve e-öğrenme eğitim modüllerini buna göre uyarlayacaktır. Bu amaçla projenin en önemli çıktılarından biri olan; “Enerji sistemlerinin Çevresel Etkileri” konulu bu kitap 10 bölümden oluşmaktadır. Her bir bölüm, proje hedef grubunda yer alan farklı meslek gruplarının, ilgili konulardaki farklı bilgi düzeyleri göz önünde bulundurularak hazırlanmıştır.

Kitabın 1. ve 2. Bölümlerinde; öncelikle ekosistem bilgisi verilmiş, temel kavramlar, ekosistemlerin işleyişi, ekosistemdeki döngüler ve sisteme verilen kirleticilerin etkileri irdelenmiştir. Bunun sonrasında enerji sistemlerinin çevresel etkileri incelenirken “beşikten mezara” yaklaşımını esas alacak şekilde ve objektif olarak bütün enerji sistemlerini

Çevresel açıdan karşılaştırabilmemize olanak tanıyan, ‘Yaşam Döngüsü Analizi’, ‘Ekolojik Ayakizi’, ‘Karbon Ayakizi’ vb kavramlar temel olarak açıklanmıştır. Bu kavramlara açıklık getirildikten sonra; konvansiyonel ve yenilenebilir enerji sistemleri ile nükleer enerji santralleri özelinde yapılan çalışmalar literatür alışması Şeklinde ortaya konmuştur. 3. Bölümde; fosil yakıt ile çalışan enerji sistemleri incelenmiştir. Bu sistemlerin çalışma prensipleri ve iklim değişikliği, asit yağmurları ve ozon tabakasının incelenmesine olan etkileri vurgulanmıştır. 4. Bölümde nükleer enerjinin avantaj ve dezavantajları tartışılmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim bilindiği gibi giderek artmaktadır. Ancak, evresel etkiler anlamında düşünüldüğünde, her ne diğer sistemlere göre evre dostu olsalar da yine de olumsuz etkilerinin var olduğu bir gerçektir. Kitabın 5-10. Bölümleri arasında Yenilenebilir enerji kaynaklarının süreçleri ve çevresel etkileri olumlu ve olumsuz yönleri dikkate alınarak, objektif olarak incelenmiştir.

Projenin enerji tedarik sektöründe çalışmak için gerekli becerileri ve yeterlikleri vurgulayacak olan e-öğrenme eğitim modülleri, kısa belgeseller, web sitesi, Moodle e-ğrenme Portalı bu kitaba bağlı olarak hazırlanacaktır.

Prof. Dr. Başak TAŞELİ  
Doç. Dr. Gamze YÜCEL IŞILDAR  
Aleksandra SRETENOVIC

## PREFACE

Nowadays, with the rapid increase in population, industry and technological improvements; energy demand is also increasing. The energy, which is crucial for the improvement of prosperity and development of the countries, is one of the most strategic tools in the international system in recent years. In order to meet the increased energy needs; energy production systems are diversifying and efforts for seeking alternative methods integrated with conventional methods are increasing. It is predicted that global energy consumption will increase by 28 % by 2040. Today, although use of renewable resources are trendy, fossil based energy resources like coal, oil and natural gas are used more extensively. It is estimated that 77 % of global energy consumption will still be provided by fossil fuels in 2040. In 2017, 33 % of global energy consumption is met by oil and liquid fuels. However, during the production of energy, when fossil fuels are used as raw materials, the equation between energy-environment-development becomes increasingly complex, and it becomes increasingly difficult to decide which direction the balance should be protected. The problems faced today as a consequences of climate change (storms, droughts, floods, loss of biodiversity, etc) shows that INTEGRATION OF ENVIRONMENTAL CONCERNS INTO ENERGY is inevitable. The increase in CO<sub>2</sub> concentrations is now a scientifically proven fact that the greatest contribution comes from "energy sector". Therefore, when we generate energy for our development, we have to add ecological balance to all phases of production such as transportation, processing, production, disposal of waste, starting with the extraction of raw materials. In this case, the information on the environmental impacts of the elements of the energy sector, environmental sensitivities and energy production gain importance. However, in the energy departments of most

universities, there are no compulsory courses on the environmental effects of energy provision. As the energy systems engineering departments have shown an increasing tendency in recent years, there is a need to support education with educational materials, especially with innovative materials.

Along this line, it is aimed to meet the above need with CLEAN-kWAT- Integrating Environmental Considerations into Energy Systems Development“ Project. The European Qualification Framework (EQF) aims to make the National Qualification (NQF) in Europe understandable, to ensure the mobility of workers among countries and to develop a common learning system. It is necessary to improve the quality and performance of the Vocational education and Training (VET) system through the development of guide systems, the sharing of EU experience in the field of creativity, innovation and education. It is necessary to improve the quality and performance of the VET system through the development of guide systems, the sharing of EU experience in the field of creativity, innovation and education.

The CLEAN-kWAT project will address these issues through the development of learning outcomes-based education systems and the redefinition of qualification standards. It will emphasize the skills and competencies necessary to work in the energy supply sector and will adapt the e-learning training modules accordingly. For this purpose, one of the most important outputs of the project; this book on "Environmental Impacts of Energy Systems" is composed of 10 chapters. Each section was prepared by taking into account the different levels of knowledge of the different professional groups involved in the project target group.

In the first part of the book, namely in Chapters 1 and 2; ecosystem information has been given, basic concepts, functions of ecosystems, cycles in the ecosystem and the

effects of pollutants given to the system have been examined. Then, concepts such as Life Cycle Analysis, Ecological Footprint, Carbon Footprint, etc. which allow us to compare all energy systems when examining the environmental effects, objectively and environmentally, based on the "cradle of grave" approach, are explained basically. After clarification of these concepts; conventional and renewable energy systems and nuclear power plants have been put forward in the form of literature studies. Then in Chapter 3; fossil fuel-powered energy systems have been examined; working principles, climate change, acid rain, and the effects of ozone depletion are emphasized. In Chapter 4, the advantages and disadvantages of nuclear energy are discussed.

The trend towards renewable energy sources is becoming more and more common. However, when considered in the context of environmental impacts, they have also have some negative impacts on nature even they are environmental-friendly systems. Therefore; in the Chapters 5-10; the processes of renewable energy sources and their environmental impacts have been objectively examined by taking into account the positive and negative aspects of renewables.

It should be reminded that; the other outputs of the project; e-learning training modules; short documentaries, web site, moodle e-learning portal will be prepared depending on this book.

Prof. Başak TAŞELİ  
Assoc. Prof. Gamze YÜCEL İŞILDAR  
Assist. Prof. Aleksandra SRETENOVIC





# İÇİNDEKİLER

## **BÖLÜM 1**

ENERJİ, ÇEVRE VE EKOSİSTEM İLİŞKİLERİ ..... 3  
Başak TAŞELİ ve Evren ALTIOK

## **BÖLÜM 2**

ENERJİ SİSTEMLERİ İÇİN EKOLOJİK AYAKİZİ ..... 27  
Gamze YÜCEL İŞILDAR

## **BÖLÜM 3**

KONVANSİYONEL ENERJİ ÜRETİM SİSTEMLERİ VE  
ÇEVRESEL ETKİLERİ: TERMİK SANTRALLER ..... 55  
Başak TAŞELİ ve Duygu ALTIOK

## **BÖLÜM 4**

NÜKLEER GÜÇ SANTRALLERİNİN  
EKOLOJİK ETKİLERİ ..... 81  
Feriha YILDIRIM ve A. Gamze Yücel İŞILDAR

## **BÖLÜM 5**

GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ VE ÇEVRE ETKİLERİ..... 105  
Uta ZAEHRINGER ve Krishna STHAPIT

## **BÖLÜM 6**

RÜZGAR ENERJİSİ ..... 135  
Uta ZAEHRINGER

## **BÖLÜM 7**

DALGA, GELGİT VE HİDROJEN ENERJİSİ..... 151  
Aleksandra SRETENOVIC

## **BÖLÜM 8**

JEOTERMAL ENERJİ..... 181

Aleksandra SRETENOVIC

## **BÖLÜM 9**

HİDROELEKTRİK ENERJİ ..... 203

Aleksandra SRETENOVIC

## **BÖLÜM 10**

BİYOKÜTLE ENERJİ SİSTEMLERİ..... 231

Laszlo MAGYAR

# BÖLÜM 1

## ENERJİ, ÇEVRE VE EKOSİSTEM İLİŞKİLERİ

**Bölüm yazarları:** Başak TAŞELİ<sup>1</sup> ve Evren ALTIOK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Giresun-Türkiye

e-mail: [basak.taseli@giresun.edu.tr](mailto:basak.taseli@giresun.edu.tr)

<sup>2</sup>Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, Giresun-Türkiye

e-mail: [evren.altiok@giresun.edu.tr](mailto:evren.altiok@giresun.edu.tr)

**Özet:** Ekoloji, bir anlamda insanlığın varlığı kadar eski ve başka bir anlamda ise en yeni bilim dallarından biridir. Kitabın bu bölümünde ekolojinin bazı temel kavramları, ekosistemlerin hangi bölümlerden oluştuğu ayrıntılı olarak tartışılacaktır. Bu parçaların ekosistemde nasıl bir araya geldiğine bakacağız. Ekoloji, ekolojinin kapsamı, ekolojik ağlar, enerji akışı ve besin akışı sunulacaktır. Ekosistemlerde besin zinciri ve enerji akışı kavramı, biyosferde materyal döngüsü, besin ağı ve besin zinciri ve insan katılımının biyosferlerin döngüsü üzerindeki etkisi incelenecektir. Bu bölümün sonunda kirleticinin ekosistemdeki akıbeti ve taşınımı sunulacaktır.

## **Öğrenme Hedefleri:**

Bu bölümün sonunda öğrenci şunları yapabilecektir:

- Ekoloji terimini tanımlar,
- Ekosistem bileşenlerini tanımlar,
- Ekolojinin kapsamını tartışabilir,
- Hem abiyotik hem de biyotik bileşimi içeren yapıyı karşılaştırır,
- Ekolojik sistemde mevcut olan ağların enerji akışını ve ayrıca besin maddelerinin akışını kontrol ettiğini tartışır,
- Güneş sistemimizdeki enerjinin tüm besin maddelerinin ve enerjinin akışını kontrol ettiğini farkına varır,
- Ekosistemlerde besin zinciri ve enerji akışı kavramını açıklar,
- Malzemelerin biyosferde nasıl dolaştığını açıklar,
- Besin zincirini ve besin ağını ayırt eder,
- İnsan katılımının biyosferlerin döngüsü üzerine etkisini açıklar.

### **1.1 Ders olarak ekoloji**

Ekoloji hayat ile ilgilenen biyolojinin, organizmanın ve nüfusun bir parçasıdır. Doğal olarak gözlemlenen fenomeni açıklamak için diğer disiplinlerin araçlarını kullanan çok disiplinli bir bilimdir.

'Ekoloji' kelimesi, doğal yaşamlarındaki organizmaların incelenmesini belirlemek için Yunan dünyası 'oikos'tan' ev 'veya' yaşanacak yer 'anlamında kullanılmıştır. Özellikle, organizmaların birbirleriyle ve fiziksel ve

kimyasal çevre ile olan etkileşimlerinin incelenmesi anlamına gelir. "Logy" terimi, çalışmak demektir (Ambelu et al., 2007).

## 1.2 Ekolojik Terimler

**Biyomlar:** Yeryüzünde nerede olursa olsun, benzer bir iklim, toprak, bitkiler ve hayvanlarla karakterize edilen, göreceli olarak daha geniş bir karasal bölge.

**Tundra:** Dünya kıtalarından en çok olanıdır. Dominant bitki örtüsü çimen ve bazı çok yıllık bitkilerdir.

**Taiga:** Çok çeşitli memeliler, kuşlar ve böceklerin yanı sıra mütevazı sayıda sürüngen ve amfibiyen bulunan yaprak döken orman.

**Çayır:** Yıllık yağışların ağaçların büyümesini sürdürmek için yeterli olmadığı bir alan.

**Çöl:** Yılda 10 inçten daha az yağış alan alan. Nem eksikliği, çöl bitki örtüsünü şekillendiren temel faktördür.

**Tropikal yağmur ormanı:** Yüksek sıcaklık, yüksek yıllık yağış ve çok çeşitli bitki ve hayvan türleri ile karakterize edilir.

**Sualtı Biyomları:** Irmak ağzı, denizden gelen tuzlu suyun nehir ve derelerden gelen tatlı su ile karıştığı yerlerdir. Gezegendeki biyolojik olarak en verimli ekosistem olmakla kalmayıp, aynı zamanda kirleticiler için filtre görevi görürler ve sellerden korurlar.

**Yaşam alanı:** Bir organizmanın yaşam alanı, yaşadığı, fiziksel bir yerdir ve okyanus ya da orman kadar büyük veya küçük ve kısıtlanmış bir alan olabilir.

**Ekolojik Niche:** Her organizmanın bir topluluğun yapısı ve işlevi içerisinde kendi rolü vardır. Organizmanın topluluk ya da ekosistemdeki bu statüsü ya da rolü, ekolojik niş olarak adlandırılır. Habitatı bir organizmanın adresi (yaşadığı yerde) ve ekolojik niche'yi mesleği olarak kabul etmek yararlıdır (biyolojik olarak ne yapar).

**Besin zinciri:** Bir ekosistemde kimin kimi yediğinin doğrusal dizisi.

**Biyojeokimyasal döngü:** Malzemelerin canlı sisteme ve yeryüzüne geri dönüşümü.

**Ötrofikasyon:** Bir su kütlelerinin besin maddeleriyle aşırı zenginleştiği ve sonuç olarak bitkilerin bolluğunu ürettiği bir süreç.

**Biyokütle:** Belirli bir ekosistemin belirli bir tropik seviyesindeki tüm canlı organizmaların toplam kuru kütlesi.

**Topluluk:** Bir yaşam alanını işgal eden tüm türlerin nüfusu.

**Tropik seviye:** Besin zincirindeki beslenme basamakları.

**Ekosistem:** Bir topluluk ve onun fiziksel ve kimyasal çevresi. Bir ekosistem canlı (biyotik) ve canlı olmayan (abiyotik) bir bileşene sahiptir.

### 1.3 Ekosistemin Bileşenleri

#### **Bir ekosistemin canlı olmayan bileşenleri:**

Ekosistemlerin canlı olmayan ya da abiyotik kısımları, fiziksel (rüzgar, arazi, toprak nemi, su akımı, sıcaklık, toprak gözenekliliği vs.) ve kimyasal özelliklere (su, gazlar, mineraller, diğer kompleks kimyasal maddeler) sahiptir.

#### **Bir ekosistemin yaşayan bileşeni:** Canlı organizmalar

**Üreticiler:** Tüm yeşil bitkiler üreticidir: güneşten gelen enerji yardımı ile basit kimyasalları topraktan, sudan ve havadan özümserler; onları fotosentezle, daha kompleks enerji bakımından zengin kimyasallara dönüştürürler ve sonuçta oksijen üreterek bitki oluştururlar.



Kemotroflar hariç, yeşil bitkiler dışındaki tüm canlılar tüketicidir. Kimyasal enerji ve diğer canlılardan türetilen besin maddelerini tüketirler.

**Tüketiciler:** İnekler bitkileri yediğinden otobur denir. Ayrıca vejetaryanlar olarak da adlandırılabilirler. Yiyeceklerini direkt olarak üreticilerden aldıklarından katı otçullara birincil tüketiciler denir. Bitki yiyenleri yiyen organizmalara ikincil tüketiciler denir. Bunlar aynı zamanda etobur hayvanlar olarak adlandırılırlar. Böylece, ikincil bir tüketici yiyen bir hayvana üçüncül bir tüketici denir ve bu böyle devam eder.

**Ayrıştırıcılar:** Ayrıştırıcılar, atık madde ve ölü bitki veya hayvanları sindirerek enerji ve besin maddelerini

elde eden tüketicilerdir. Ayrıştırıcılar çoğunlukla bakteriler ve parçalanma veya çürümeye neden olan mantarlardır. Ekosistem mineral döngülerinin tamamlanmasından sorumludurlar.

**Nitrifikasyon:** Bazı toprak bakterilerinin amonyak veya amonyum elektronlarını sıyırması işlemi sonucu nitrit ( $\text{NO}_2$ ) açığa çıkar ve sonrasında diğer toprak bakterileri nitriti enerji metabolizması için kullanırlar ve nitrat ( $\text{NO}_3$ ) oluşur.

**Ammonifikasyon:** Bazı bakteri ve mantarlar ile azotlu atıkların ve organizmaların kalıntılarının ayrışması.

**Denitrifikasyon:** Nitratın veya nitritin, toprak bakterileri tarafından azot gazı ( $\text{N}_2$ ) ve az miktarda nitrik oksit ( $\text{NO}_2$ ) ye indirgenmesi.

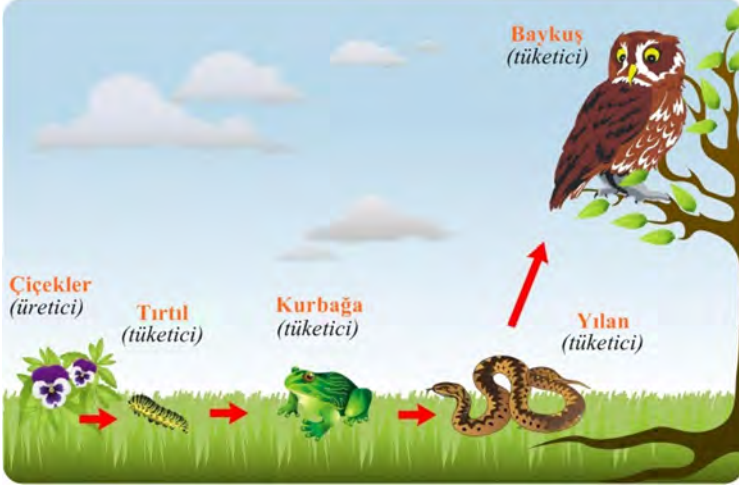
**Azot fiksasyonu:** Bazı bakteriler arasında havadan azotun gaz halinde ( $\text{N}_2$ ) asimilasyonu; indirgeme reaksiyonları sonucunda elektronlar nitrojene bağlanarak amonyak ( $\text{NH}_3$ ) veya amonyum ( $\text{NH}_4^+$ ) oluştururlar.

Ekosistemler açık sistemlerdir ve bu nedenle sürekli enerji ve besin girdileri gerektirir. Bir ekosistemin işleyişi, su döngüsü, besin döngüsü gibi bir dizi döngü içerir.

**Trofik organizasyon:** Ekosistemler, enerjinin bir organizmadan diğerine, sisteme ilk girişten kaç kez aktarıldığına bağlı olarak katmanlı bir yapıya sahiptir. Dolayısıyla, enerji girişinden aynı sayıda aktarma adımı bulunan tüm organizmaların aynı trofik seviyede olduğu söylenir. Besin enerjisinin bitkilerden



hayvanlara ve daha sonra diğer hayvanlara ardışık beslenme aşamaları (trofik düzey) ile aktarılması, besin zinciri olarak adlandırılır.



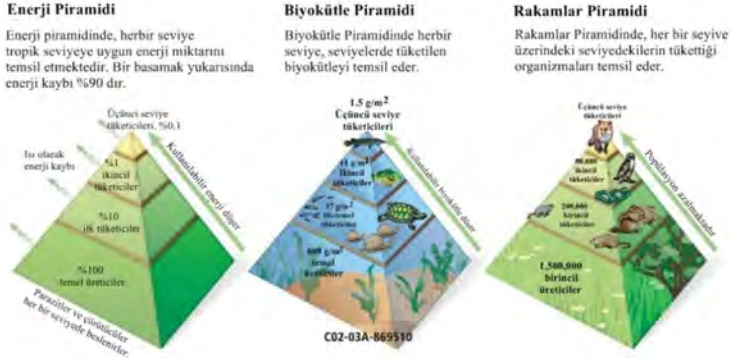
**Şekil 1.1.** Besin zinciri örneği (<https://www.google.com.tr/search?q=food+chain>)

Her bir transferde, bir besin zincirinde (bkz Şekil 1.1), besinin kimyasal bağlarında mevcut olan potansiyel enerjinin büyük bir kısmı ısı olarak kaybolur. Isı olarak (besin prosesinde) bu aşamalı enerji kaybı nedeniyle, sonraki her seviyedeki toplam enerji akışı gittikçe azalır. Bu, bir gıda zincirindeki basamakları genellikle dört veya beşe sınırlar.

Çoğu durumda, katılan organizmalar arasındaki ilişkiler o kadar karmaşıktır ki, zincir besine özgü ağ olarak adlandırılan oldukça karmaşık ve dallanmış bir ağ biçimindedir (bkz. Şekil 1.2).



c) **Verimlilik piramidi:** Verimlilik piramitleri, besin zinciri boyunca enerjinin akışını göstermektedir.



**Şekil 1.3.** Ekolojik piramit (<https://www.google.com.tr/search?q=food+web>)

Enerji bir sonraki trofik seviyeye transfer edildiğinde, bunun sadece % 10'u yeni biyokütle oluşturmakta, geri kalan ise metabolik süreçlere (% 10 kuralı) girmektedir.

**Ekosistemin işlevi:** Bir ekosistemin işlevi, enerji akışı ve ekosistem içerisindeki ve içindeki materyal döngüsü ile ilgilidir.

**Enerji akışı:** Sonuçta, çoğu organizma, yapıları oluşturmak ve yaşam sürecini gerçekleştirmek için gerekli enerjiyi güneşe dayandırır. Bir ekosistem yoluyla enerjinin aktarılması, güneş ışığı enerjisinin, yeşil bir bitkiye fotosentezle sabitlenmesiyle başlar. Bir besin zincirindeki her enerjinin transferinde, alt seviyede depolanan kimyasal enerjinin yaklaşık % 90'ı kaybolur ve bu nedenle yüksek seviyede kullanılamaz. Besin zincirine giren toplam enerji miktarı bitkilerin fotosentetik aktörleri tarafından sabitlendiğinden, daha yüksek tropik

seviyelere göre besin zincirinde daha düşük pozisyonda bulunan organizmalara daha fazla kullanılabilir enerji sunulur. Bu kavramın basit terimlerle ifade edilmesi, gerekirse; örneğin şunlar söyleyebilir: Corn-Beef-Human; 10000 birim enerji -1000 adet enerji birimi- 100 adetlik enerji.

İnsanı besin zincirinde bir adım daha aşağıya çekerek, on kat daha fazla enerji doğrudan erişilebilir hale gelir. Mısır -Beef; 1000 adet enerji- 1000 adet enerji.

#### **1.4 Biojeokimyasal döngü**

Bütün canlı organizmalar sadece bir enerji kaynağına değil aynı zamanda ekosistem boyunca sürekli dolaşıma giren bir dizi inorganik maddeye bağımlıdırlar. Bu tür moleküller sentezlendiğinde ya da parçalandığında, ekosistem boyunca hareket ederken bir formdan diğerine değiştiğinde, bir besin zincirinde hareket eden enerjinin kaybolduğu şekilde aynı şekilde bozunur. Yaşayan sistemler vasıtasıyla yeryüzü maddesinin yeryüzüne dönmesine biyojeokimyasal döngü denir. Doğal olarak oluşan 92 kimyasal elementin yaklaşık 40'ı canlı organizmaların varlığı için gereklidir ve besin olarak bilinir. Bu gezegende yaşamın sürdürülmesi sonuçta, abiyotik ortamı canlılara veren az çok dairesel yollarla inorganik malzemelerin tekrar tekrar geri kazanılmasına ve tekrar çevreye geri dönmesine bağlıdır. Bu tür döngü elementlerin inorganik bir formdan organik bir moleküle değişimini içerir (Kumar, 1997).

## 1.4.1 Su döngüsü

Güneş su döngüsünü yönlendirir, okyanuslardaki su ısınır ve bazıları buharlaşır. Buz ve kar doğrudan su buharı ile süblimleştirilir. Yükselen hava akımı, atmosferden buharlaşma, topraktan buharlaşma ve bitkilerden buharlaşma evapotranspirasyon olarak adlandırılır. Buhar havaya yükselir ve bulutların içine yoğunlaşır. Hava akımı bulutları dünyaya taşır; bulut parçacıkları çarpışır, büyür ve yağış olarak dünyaya iner. Bazı çökelmeler kar olarak dünyaya inerken bazıları buz kütleleri ve buzullar olarak binlerce yıl depolanabilir. Çoğu yağış okyanusa veya yeraltına sızarak birikir ve göllerde tatlı su olarak depolanır. Uzun süre tatlısu depolayan akiferleri (doymuş yeraltı kayaları) oluşturur (bkz. Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Su döngüsü (<https://www.google.com.tr/search?q=biogeochemical+cycles>)

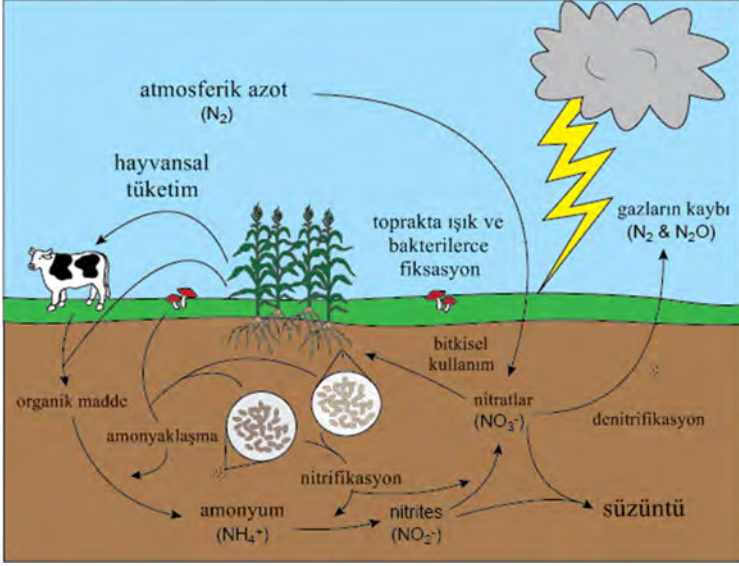


Bitki veya hayvanların soluması sonucu çıkan karbon, fotosentezli bir bitki tarafından alınır. Bir hayvan ya da bitki öldüğünde içerdiği karbon ayrıştırıcılar tarafından kullanılır ya da kömür, yağ ya da doğal gaz oluşturmak için çevrede birikebilir.

### **1.4.3 Azot döngüsü**

Azot, tüm organizmalar için çok önemlidir çünkü protein ve nükleik asitlerin yapıtaşıdır. Herhangi bir elementin en büyük gaz rezervuarına sahip olan azotun ana rezervuarı atmosfer olup yaklaşık % 78'isini oluşturur. Azot gazı azot tespit bakterileri ve fotosentetik siyanobakteriler (mavi-yeşil algler) ile atmosferden sabitlenir. Her ikisi de nitrojeni nitrat formunda veya amonyak formunda tutar.

Saprofit bakteri ve mantarlar bitki veya hayvanlar öldüğünde onları parçalayarak amonyak asitlerine çevirir ve amonyak gazı ( $\text{NH}_3$ ) açığa çıkar. Nitrit bakterileri amonyağı nitrat moleküllerine dönüştürürler ve topraktaki nitrat bakterileri nitrat üretirler. Bu noktada, bitkiler yine kullanılabilir bir azot formuna sahip olur. Nitrojen, denitrifiye edici bakteriler tarafından topraktaki nitratlardan uzaklaştırılır ve atmosferik rezervuara geri döndürülür, bu atmosferik rezervardaki azot ya azot tutan bakteriler ya da şimşek ile tekrar serbest hale geçer (bkz. Şekil 1.6).



**Şekil 1.6.** Azot döngüsü <https://www.google.com.tr/search?q=biogeochemical+cycles>

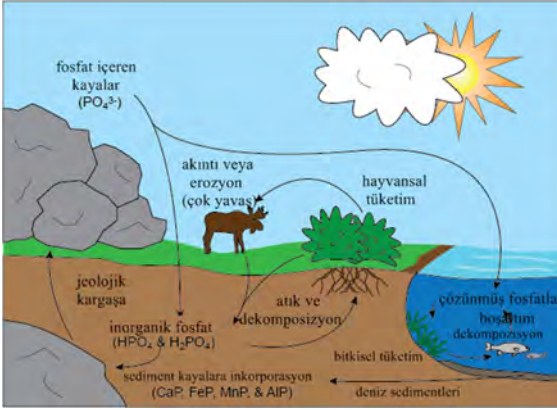
#### 1.4.4 Fosfor döngüsü

Fosfor döngüsü çökelme gibi nitelendirilebilir ve döngü için temel rezervuar geçmiş jeolojik çağda oluşan fosfat kayadır.

Yağış ve erozyonla sonuçlanan fosfat bu rezervuarlarda çözülür ve fosfor bitkiler tarafından kullanılırken, bitkiler hücrel sentez için kökleri yoluyla emilir. Hayvanlar bitkilerden fosfor alırlar; ölüm veya vücut atıklarının normal atımları sonucu fosforu çözünmüş fosfor havuzuna geri döndürürler. Ancak yokuş aşağı sığ denizel çökeltilere doğru ilerlerken çok sayıda çözünmüş



fosfor kaybolur. Bu fosforun bir kısmı karides dışkısını serbest bırakan deniz kuşlarıyla karaya geri gönderilir. İnsan katılımı fosfor döngüsünde önemli bir faktördür (bkz Şekil 1.7). Sonuç, bazı temiz su akışlarının ve göllerin, suyun akışında ve drenajda biyolojik olarak erişilebilir bir fosfat fazlalığına sahip olmasıdır. Bu tür su yapısında fosfatlar genellikle fotosentezin bir sınırlayıcı faktörüdür ve su bitkilerinin aşırı büyümesine izin verir. Bu sürece ötrofikasyon denir (Kumar, 1997).



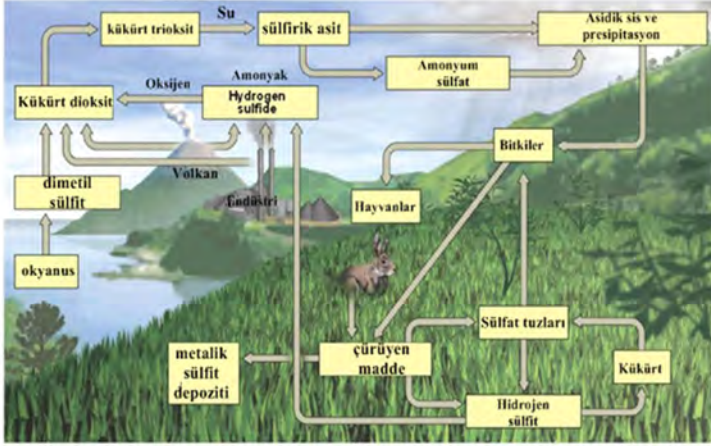
**Şekil 1.7.** Fosfor döngüsü (<https://www.google.com.tr/search?q=biogeochemical+cycles>)

### 1.4.5 Kükürt döngüsü

Az miktarda biyolojik moleküllerin vazgeçilmez bir unsuru olan kükürt, genellikle dünyada kayalarda sülfatlar olarak veya serbest kükürt olarak veya kurşun ve civa gibi çeşitli metallerle birleşim olarak bulunur. Sindirim işleminden sonra bakteriler, bataklıkların ve

kanalizasyonun temel karakteristiği olan "çürümüş yumurta" kokusuna sahip bir gaz olan hidrojen sülfat olan  $H_2S$ 'yi yayarlar.

Yerkabuğunda en büyük kükürt rezervuarı alçı taşı ( $CaSO_4$ ) ve pirit ( $FeS_2$ ) olarak bulunur. Tatlısu, sülfat, hidrojen sülfür ve elemental sülfür içerir; Kara, sülfat içerir; Atmosferde kükürt dioksit ( $SO_2$ ) bulunur ve volkanik aktivite ise havaya bir miktar hidrojen sülfür salar (bkz Şekil 1.8).



Şekil 1.8. Kükürt döngüsü (<https://www.google.com.tr/search?q=biogeochemical+cycles>)

### 1.5 Ekosistemdeki kirleticiler

**Kirleticisi:** Canlı organizmaların sağlığını, hayatta kalmasını veya faaliyetlerini olumsuz yönde etkileyen veya çevreyi istenmeyen şekillerde değiştiren herhangi bir madde.

**Kalıcı Organik Kirleticiler (KOK'ler)**, çevresel bozunmaya direnç gösteren ve çevreyi olumsuz etkileyen çeşitli ürünlerde (elektronikten otomobillere) kullanılan sentetik organik bileşiklerdir. PCB'leri ve DDT gibi.

### **Kirleticiler çevreye nasıl girerler?**

**Nokta kaynaklar:** Fabrikalar, enerji santralleri ve kanalizasyon gibi yüksek konsantrasyonlu kirletici deşarj yerleri.

**Yayılı kaynaklar:** Tarım alanlarından ve inşaat alanlarından kaynaklanan dağınık, yaygın kirletici kaynakları.

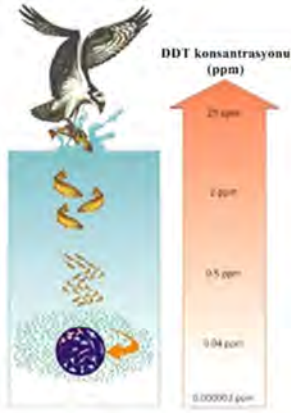
Bir ekosistemde kirleticinin hareketini etkileyen faktörler:

- Kirleticinin çözünürlüğü, kirleticinin çevreye nasıl, nerede ve ne zaman geçeceğini belirler.
- Suda çözünen kirleticiler çevrede hızlı ve yaygın bir şekilde hareket eder.
- Yağda çözünen kirleticiler çevreye ve vücuda girmek için genellikle bir taşıyıcıya ihtiyaç duyarlar.
- Vücut içine girer girmez, yağda çözünen kirleticiler doku ve hücrelere kolayca nüfuz ederler, birikirler ve metabolik bozulmalara karşı korunan lipid birikintileri olarak depolanırlar.
- Yağda çözünen kirleticiler uzun yıllar çevrede ve vücutta kalırlar.

- Bir kirleticinin dayanılılığı ekosistemde ne kadar sũrede parçalandığına ve uzaklaştırılmasına bağlıdır.
- Plastikler ve klorlu hidrokarbonlar bozunmaya karşı dayanıklıdır.
- KOK'lar doğaları gereği oldukça kalıcıdır ve bu nedenle parçalanmaya karşı dirençlidirler.

**Besin zincirindeki kirleticiler: Biyoakũmũlasyon:** Hũcrelerin seçici olarak çok çeşitli zararlı molekũllerini absorbe edip depolayarak ve zararlı kirleticilerin ortamdan besin zincirindeki ilk organizmaya konsantrasyonunu arttırarak, besleyici maddeleri ve gerekli mineralleri biriktirerek ve depoladığı sũreç.

**Biyomagnifikasyon:** Kirleticilerin etkilerinin çevre iãerisinde besin zinciri boyunca konsantrasyonun artması sũrecidir (bkz. Şekil 1.9). Bazı kirleticiler çok kararlı ve metabolik bozulmaya karşı dirençlidir; organizmada uzun sũre kalabilirler. Bir organizma daha yũksek bir tropik seviyedeki bir ũye tarafından tũketildiđinde, tũketici çũzũnũrlũlũk nedeniyle avın biyokũtlesinin kabaca %10'unu (% 10 Kural) asimile ederken, kirleticinin bũyũk bir kısmı avdan tũketiciye geãmektedir. Bu nedenle, kirletici besin zincirinin yukarısına doğru hareket ettiğinde, kirleticinin vũcuttaki konsantrasyonu belirgin Şekilde artar.



**Gıda zincirinin yukarısında, daha yoğunlaşan pestisitler ortaya çıkar.**

**Bu proses biomagnifikasyon (veya biyoamplifikasyon) olarak tanımlanır.**

**Şekil 1.9.** Biomagnifikasyon (<https://www.google.com.tr/search?q=biogeochemical+cycles>)

**Kirleticilerin Hareketi:** Adveksiyon, difüzyon ve dispersiyon, kirleticileri kaynaktan uzağa taşıyan temel süreçlerdir (bkz. Şekil 1.10).

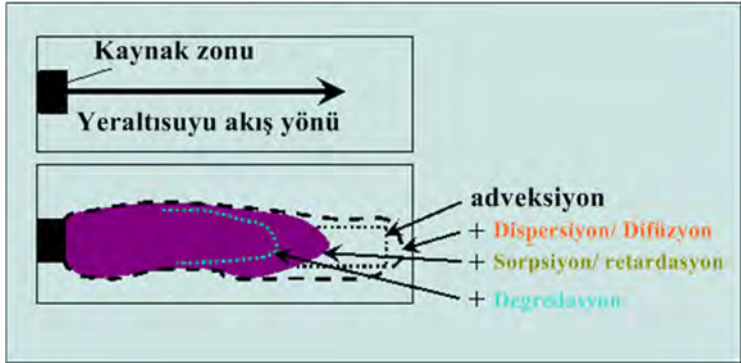
**Adveksiyon:** Kirletici hava veya suyun aktığı hızla hareket eder.

**Difüzyon:** Difüzyon, kirletici moleküllerin hava veya su içinden geçme sürecidir. Hangi (moleküler) difüzyona neden olur? Belirli bir sıcaklıkta (ör. 20°C), moleküllerin onları hareket ettiren belirli bir enerjisi vardır. Moleküller hareket ettikçe diğer moleküllere çarpışırlar. Başka bir molekülün diğer bir moleküle çarpması ile kirletici molekülün başlangıçta gittiği yön değişir. Difüzyon, kirleticilerin yüksek konsantrasyondan düşük konsantrasyona doğru taşır ve onları yayar. Difüzyon için en iyi örnek; eğer su dolu bir beherin içine türbülans oluşturmadan az miktarda boya koyarsanız, boya su

düzgün bir şekilde renklenene kadar yavaşça yayılır (boya suyla aynı yoğunluğa sahip olmalıdır yoksa yüzer veya batar. (<https://www.coursehero.com/file/219914/esm222-08-9-movement/>'dan uyarlanmıştır).

**Dispersiyon:** Binalar, nehirlerdeki kayalar, akiferdeki kum taneleri kirleticilerin daha fazla yayılmasına neden olur. Rüzgar ve su akıntıları da yayılmaya katkıda bulunur.

**Retardasyon:** Toprağa emilen bir kirletici, suyun veya havanın hızına göre yavaşlar. Kirleticinin suya nazaran belirli bir mesafe kat etmesi daha uzun sürer. Hareketli parçacıklara (kolloidlere) bağlı kirleticiler de sorb ve desorbe edebilir.



**Şekil 1.10.** Kirleticilerin yeraltısuyundaki taşınımları (<https://www.coursehero.com/file/219914/esm222-08-9-movement/>.)

## **Referanslar:**

Ambelu A., Deboch B., & Lenjissa D., (2007). Ekoloji Ders Notları, Jimma Universitesi ve Ethiopia Public Health Training Initiative, The Carter Center, the Ethiopia Ministry of Health, and the Ethiopia Ministry of Education ile işbirliği ile.

Kumar, H.D. (1997). Modern Concepts of Ecology. 8. Basım, Amerika , Vikas yayınevi.

Web sayfası (2017), veri çekilen sayfa, <https://www.coursehero.com/file/219914/esm222-08-9-movement>.

Web sayfası (2017), veri çekilen sayfa, <https://www.google.com.tr/search?q=biogeochemical+cycles>

**BÖLÜM 1**  
**ENERJİ, ÇEVRE VE EKOSİSTEM İLİŞKİLERİ**  
Sorular ve Cevaplar

**1. Ekolojik niş nedir?**

- a. organizmanın yaşadığı yer
- b. tüm türlerin popülasyonu
- c. organizmanın ekosistemdeki statüsü veya rolü
- d. maddelerin sistemde döngüsü

**Cevap: c**

**2. Aşağıdakilerden hangisi biyojeokimyasal döngü tiplerinden değildir?**

- a. karbon döngüsü
- b. toprak döngüsü
- c. azot döngüsü
- d. fosfor döngüsü

**Cevap : b**

**3. Kirlenici besin zinciri boyunca yukarı doğru hareket ederken, kirlenici maddenin vücut dokusundaki konsantrasyonu önemli ölçüde artar. Bu proses nasıl adlandırılır;**

- a. difüzyon
- b. biyoakümülyasyon
- c. kirlenicinin hareketi
- d. biyomagnifikasyon

**Cevap: d**



**4. Hangi faktörün kirleticinin ekosistemdeki hareketine direkt etkisi yoktur?**

- a. kirleticinin tipi
- b. kirleticinin ekonomik değeri
- c. kirleticinin kalıcılığı
- d. kirleticinin çözünürlülüğü

**Cevap: b**

**5. Nitratın veya nitritin ekosistemde azot gazına indirgenmesi kimler tarafından yürütülür;**

- a. toprak bakterileri
- b. hayvanlar
- c. etoburlar
- d. funguslar

**Cevap: a**



## BÖLÜM 2

### ENERJİ SİSTEMLERİ İÇİN EKOLOJİK AYAKIZI

**Bölüm yazarı:** Gamze YÜCEL İŞILDAR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Fen ve Teknoloji Enstitüsü, Çevre Bilimleri Bölümü, Ankara-Türkiye

e-mail: [akarakoc@gazi.edu.tr](mailto:akarakoc@gazi.edu.tr)

**Özet:** Dünyanın pek çok yerindeki nüfus ve tüketim artışlarıyla birlikte, insanlığın gezegen üzerindeki ekolojik yükü artmış ve doğal kaynakların tüm taleplerimize hizmet etmek için yetersiz kalmasına neden olmuştur. Doğaya verilen kirlilik, doğanın taşıma kapasitesini aşmaya, doğa özümseme kapasitesini yitirmeye başlamıştır. Sınırlı doğal kaynaklar üzerindeki tahribatın boyutlarının anlaşılabilmesi için talepleri ele alıp bunları karşılaştırabilen sistematik, çaprazlama değerlendirmelere ihtiyaç vardır. Buna bağlı olarak, belirli bir ekolojik bütçeyi (biyokapasite) tanımlayan "Ekolojik Ayak İzi" (EF) ve insanların biyokapasite taleplerinin bu bütçeye ne kadar yaklaştığını veya aştığını bu bölümde ele alacağız. Kaynak kullanımıyla ilgilenen ve geleneksel enerji üretim sistemleri ile doğrudan ilgili fosil yakıtların yakılması nedeniyle salınan sera gazlarına odaklanan ekolojik ayak izinin en büyük bileşeni olan "karbon ayak izi" (CF) açıklanacaktır. Son olarak, alternatif enerji sistemleri EF ve CF' ler açısından karşılaştırılacaktır.

## **Öğrenme hedefleri:**

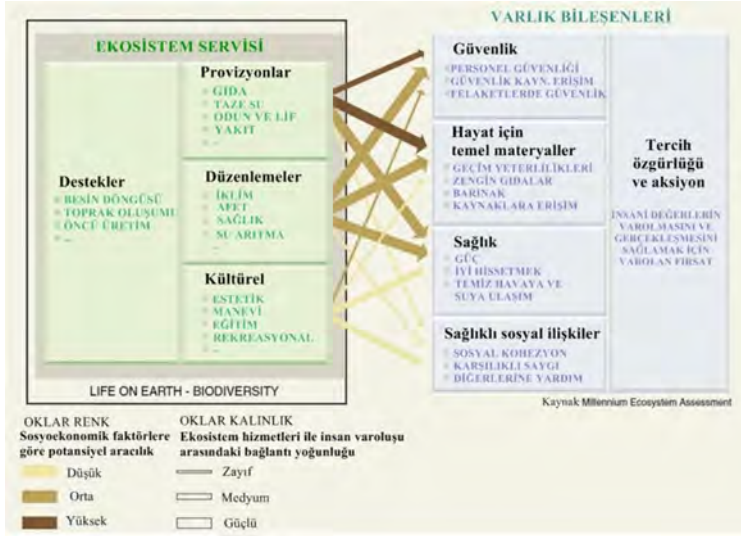
Bu bölümün sonunda öğrenciler şunları öğreneceklerdir:

- Ekolojik ve karbon ayak izlerinin önemi (EF ve CF için ihtiyaç)
- Ekolojik ve karbon ayak izi hesaplamaları için sınırlamalar
- Ekolojik ve karbon ayak izlerinin ve ilgili terimlerin tanımları
- Ekolojik ayak izinin bileşenleri
- Enerji üretim sistemlerinin ekolojik ayak izlerinin karşılaştırılması

### **2.1. Ekolojik ayak izi**

#### **2.1.1. Ekolojik ayak izi için ihtiyaç**

Toprak, su, hava, mineraller ve bitkiler dünyada yaşamı mümkün kılan doğal kaynaklardan birkaçıdır. Hücrelerimize güç sağlayan enerji temel ihtiyaçları karşılar; giysilerimiz, vücudumuzu oluşturan besinler, suyumuzu ve havayı temizleyen, iklimi düzenleyen ekosistem hizmetleri doğal kaynaklar tarafından sağlanmaktadır. İnsan refahı dünyanın doğal sistemlerinin ekosistem mamüllerini ve hizmetlerini sunma kapasitesine bağlıdır. Ekosistem hizmetleri aşağıda Şekil 2.1' de özetlenmiştir.



**Şekil 2.1.** Ekosistem hizmetleri ([http://www.unepfi.org/fileadmin/documents/bloom\\_or\\_bust\\_report.pdf](http://www.unepfi.org/fileadmin/documents/bloom_or_bust_report.pdf))

Ancak nüfusun artması ve dünyanın birçok yerinde tüketimin artmasıyla birlikte, insanlığın gezegendeki ekolojik yükü artmış ve doğal kaynakları tüm taleplerimize cevap vermek için yetersiz kalmıştır. Çöken balıkçılık, karbon kaynaklı iklim değişikliği, ormanların yok olması ve ekili alanların erozyona karşı kaybı ve tuzlanma, ekosistemlerin kritik yenilenebilir kaynaklar ve hizmetler üretmeye devam etme ihtimalini tehdit eden baskılardan bazılarıdır. Özellikle 20. yüzyılın ortalarından beri birtakım temel çevre sistemlerini tehlikeye atıyor ve dünyanın "taşıma kapasitesini" aşıyoruz. Taşıma kapasitesi ile tabiatın insan nüfusunu ve faaliyetlerini (gıda, su, yaşam alanı, enerji anlamında) en fazla destekleyebilecek kapasitesini kastediyoruz. Ne

yazık ki doğanın kapasitesi üretilen kirliliğin çoğunu özümsemek için yetersiz kalmaktadır. Küresel Ayak İzi Ağı (Kasım 2015) "Dünya Ayak İzi" raporuna göre, günümüz insanlığı, kullandığımız kaynakları sağlamak ve atıklarımızı absorbe etmek için 1.6 gezegene eşdeğer bir şekilde yararlanmaktadır.

Bu çizgide, sorunun önemini anlamak için çevresel sorunların, doğal bozulmanın ve kaynak tükenmesinin somut etkilerini gözlemlemek, anlamak ve/veya karşı koymak gerekiyor. Ekosistemler üzerindeki insan baskısının "ölçülebilirliği" insanların çevre krizini tanımalarına yardımcı olur. Ampirik ölçümler, bu etkilerin arkasındaki itici güçleri anlamak ve ekonomik ve toplumsal refahı sürdürürken bu etkileri azaltmanın yollarını bulmak için aranmalıdır (Galli A. ve ark., 2015).

Ekolojik Ayak İzi Muhasebesi (EFA), dünya ekosistemleri üzerindeki genel insan baskısının ilk yaklaşımı olarak kullanılmıştır (Galli 2015; Lin D. ve ark., 2015; Wackernagel M. ve ark., 2014). Ekolojik ayak izi (EF), insanlığın tüketim oranının yeryüzünün taşıma kapasitesini aşp aşmadığını, insan toplumunun gezegenin rejeneratif kapasitesinin içinde kalıp kalmadığını tahmin etmek için gerekli bir yönetim aracıdır.

### 2.1.2. Ekolojik ayak izi ve ilişkili terimler

Belirlenmiş bir nüfusun **ekolojik ayak izi**, yeryüzünde toprağın ve suyun bulunduğu her yerde nüfusun tükettiği kaynakları üretmek ve ürettiği atıkları özümlemesi için gerekli olan verimli toprak ve su ekosistemlerinin

alanıdır (Wackernagel M. ve Rees W. , 1996). Tarım arazileri, otlak alanları, orman alanları, deniz alanları, konut ve altyapı için arsalar gibi verimli alanlar için gereksinimleri ölçer. Bu kaynak muhasebesi, enerji, biyokütle (gıda, lif), yapı malzemesi, su ve diğer kaynakların tüketiminin "küresel hektar" (gha) olarak adlandırılan normalleştirilmiş bir arazi ölçüsü haline dönüştürüldüğü yaşam döngüsü analizine benzemektedir. **Küresel hektar**, belirli bir yıl için dünya genelinde ortalama biyolojik verimlilik sağlayan biyolojik açıdan üretken bir hektardır. Farklı arazi türleri farklı üretkenliğe sahip olduğundan küresel hektarlara ihtiyaç vardır. Örneğin bir küresel hektar ekilebilir araziyle aynı biyolojik kapasitenin sağlanması için daha fazla çayır gerekeceği için, ekili arazilerin küresel bir hektarı biyolojik açıdan daha az üretken mera alanından daha küçük bir fiziksel alanı işgal edecektir. Dünya biyo-üretkenliği yıldan yıla değişmekte olduğundan, bir gha'nın değeri yıldan yıla biraz değişebilir. (WWF, 2016). Son zamanlarda, o yıl geçerli olan teknoloji ve kaynak yönetimini göz önünde bulundurarak belirli bir yılda biyosferde gerçekleşen nüfus faaliyetleri için gerekli olan arazi kullanımını ölçmek için kaydırılmıştır (Borucke M. ve ark., 2013). Verimlilik ağırlıklı biyolojik açıdan üretken hektarlar, araştırmacıların Dünya'nın veya bir bölgenin biyolojik kapasitesini ve biyokapasiteye olan talebi (Ekolojik Ayak İzi) rapor etmelerini sağlar. **"Eşdeğerlik faktörü"**, farklı türden arazilerin küresel hektarların ortak birimine dönüştürülmesini sağlayan kilit faktördür. Bu eşdeğerlik faktörleri, belirli bir yıldaki farklı toprak türlerine göre arazinin göreceli verimliliğinin değerlendirilmesine dayanır. En güncel EF

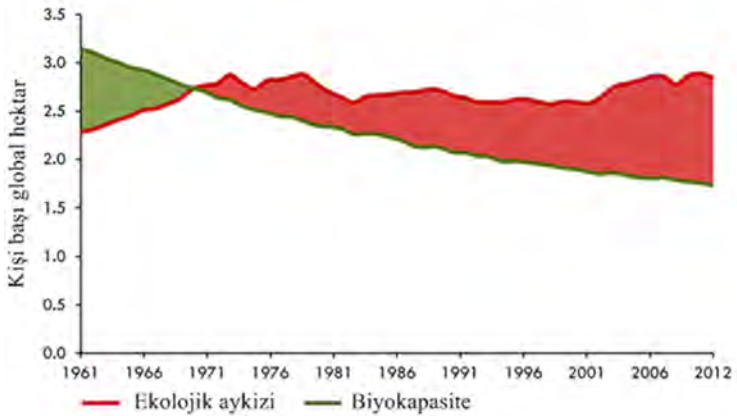
hesaplarında, tarımsal üretim için uygunluk endeksi farklı arazi türlerinin üretkenlik kapasitesinin vekil ölçüsü olarak kullanılır. Tarım arazileri gibi belirli bir arazi türü içerisinde bir alanın faydalı mal ve hizmetleri üretme kabiliyeti, iklim, topografya veya hakim yönetim gibi faktörlere bağlı olarak önemli ölçüde farklılık gösterebilir. "**Verim faktörleri**", aynı arazi türünün farklı alanlarının verim ortak paydasına dayalı olarak karşılaştırılmasına izin verir. Örneğin, mera için milli verim faktörleri, belirli bir ulustaki ortalama meraların verimliliğini, dünya ortalama meralarınkine kıyaslar. Bu verim faktörleri, belirli bir ülkedeki belirli bir arazinin, örneğin mera gibi bir hektarını aynı arazi türünün dünya ortalaması hektarlarına dönüştürür. (<http://www.footprintnetwork.org/faq/>).

Bir nüfusun Ekolojik Ayak İzi bölgenin biyolojik kapasitesini aşarsa, o bölge **ekolojik açığı** belirtir ya da **ekolojik aşırılık** olarak adlandırılır. Arazisinin ve denizlerinin sağlayabileceği meyve ve sebze, et, balık, ahşap, giyim için pamuk ve karbondioksit özümseme gibi mal ve hizmetler talebi, bölgenin ekosistemlerinin yenileyebileceğini aşar. Ekolojik açığı olan bir bölge ithal ederek, kendi ekolojik varlıklarını (aşırı avlanma gibi) tasfiye ederek ve/veya atmosfere karbon dioksit yayarak talebi karşılamaktadır. "Aşırılığın" sonuçları açıktır: yaşam alanı ve tür kaybı ve atmosferde karbon birikmesi (Tittensor D.P. ve ark, 2014). Bir bölgenin biyolojik kapasitesi EF'sini aşarsa, **ekolojik rezerve** sahip demektir.

Şekil 2.2, 1961'den 2012'ye kadar dünya EF ve biyokapasitesinin eğilimlerini (gha cinsinden)



göstermektedir. 1970'lerde küresel aşım başlamış olup o tarihten bu yana insanlığın Dünya'nın yenilenme kapasitesine olan talebi gittikçe artmaktadır. Dünya'nın yenilenebilir kapasitesine olan insan talebinin istikrarlı bir şekilde büyümeye devam etmesi ve bu kapasiteyi 2020 yılına kadar yüzde 75 oranında aşması bekleniyor. Bu durumu tasarım gereği değiştirmek, daha az kaynak yoğunluklu üretim ve yaşam biçimini desteklemek için teknoloji, altyapı ve davranışta kayda değer değişiklikler gerektirir (WWF, 2016)



**Şekil 2.2.** Dünyanın Ekolojik Ayak İzi ve Biyokapasitesi (gha cinsinden)(<http://www.footprintnetwork.org/content/images/tr ends/2016/world.png>)

İnsan kullanımının katkısı Şekil 2.3'de verilmiştir.



**Şekil 2.3.** Ekolojik Ayak İzinin Dağılımı (gha cinsinden) (<http://info.cat.org.uk/questions/low-impact-living/what-ecological-footprint/>)

### 2.1.3. EF değerlerinin kullanımı

Ekolojik Ayak İzi bulguları, çevrenin korunması ve sürdürülebilirliği için erken bir uyarı olarak doğal kaynakların ve ekolojik hizmetlerin aşırı kullanımı sonucu insanlığın güvenli bir çalışma alanından ne kadar uzak olduğunu gösterir (Dearing J.A. ve ark., 2014).

Ekolojik Ayak İzi bulguları:

- Bir ülkenin / şehrin / kişinin / tesisin mevcut arazisinden az veya daha fazla alan kullandığını bildirin
- İnsan talebinin ve ekosistemin geleceği için olası senaryoları üzerine tartışma başlatın
- Gıda, enerji ve doğal ve tarımsal ekosistemlerin verimliliğini korumak veya artırmak için insanlığı

aşırı tüketimden uzaklaştırın ve potansiyel olarak sürdürülebilir bir yoldan yöneltin

- İnsanların davranış değişikliklerini doğaya yönlendirmek için taşıma kapasitesi ve aşırı tüketim konusunda eğitmek için yararlı bir araç olarak kullanılıyorlar mı?
- Kamu aktörlerini ayak izi teşhisini sektöre özgü politika reçetelerine ve ekonomik karar alma süreçlerine dönüştürmeyle meşgul edin.

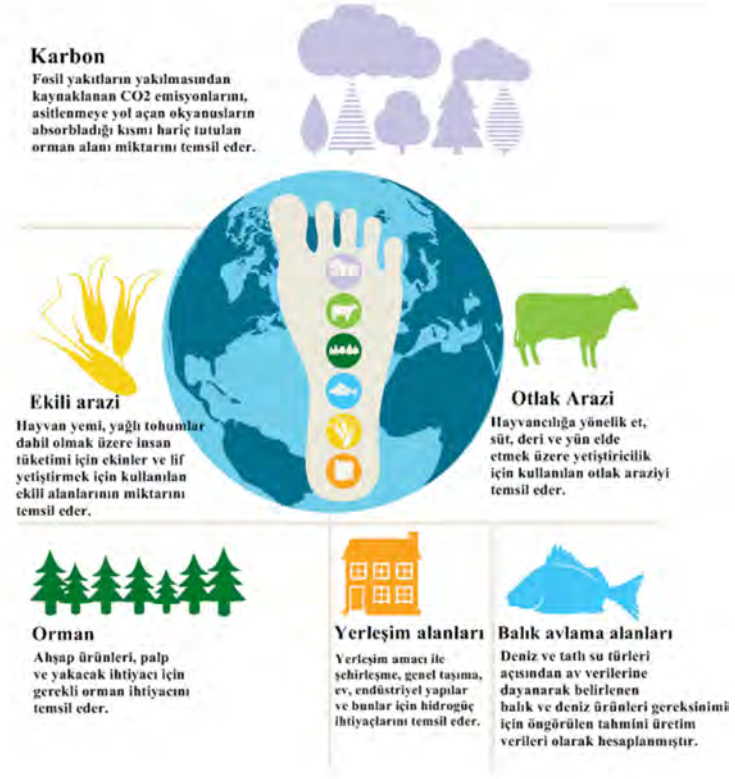
Ayak izi öncelikle, uzun vadeli yatırımlarla ilgili kararlar alınırken bir planlama aracı olarak yararlıdır

Ancak şu unutulmamalıdır ki EF hesaplamaları bazı sınırlamalara sahiptir (Galli A. ve ark., 2016). EF insanların karmaşık ve birbirine bağımlı çevre sistemlerine olan bağımlılığını izlemek için sadece bir lens - biyolojik kapasite - kullanır. Kirlilik ve habitat kaybı gibi insan tüketimiyle ilgili tüm çevresel baskılar ve sonuçlara değinmemektedir (Galli A. ve ark., 2012). Belirli bir anda bir topluluğun kaynak kullanımının bir enstantanesini alan bir yaklaşımdır, alan ve zamanda karşılaştırmalara izin vermek için tarihi ekolojik veriler gereklidir (Marazzi L., 2017). İnsan tüketim faaliyetlerinin, Dünya'nın biyokapasitesi tarafından tanımlanan biyolojik eşige uyup uymamasına göre sürdürülebilirlik için asgari koşul hakkında fikir verir (Lin ve ark., 2015). Ekolojik Ayak İzi sadece insan etkisinin bir ölçüsü değildir, aynı zamanda belirli yönetim uygulamalarının sürdürülebilirliğini öngören bir ölçüdür. Dünya'nın ekosistemlerindeki insan talebini, bu

ekosistemlerin yenileyebilecekleri ile karşılaştıran bir muhasebe sistemidir. Bu kapsam ve bilgi göz önüne alındığında, Ekolojik Ayak İzi hesapları, insanlığın doğadaki taleplerini biyolojik olarak verimli alanlar için rekabet eden, gerekli ancak yeterli olmayan asgari referans çerçevesi olarak kullanılmalıdır (Galli, 2016).

#### **2.1.4. Ekolojik ayak izi bileşenleri**

Ekolojik ayak izi muhasebesinde, altı ayak izi bileşeni, büyük arazi kullanım türlerine göre ayırt edilir. Tüm bunlar bitki temelli gıda üretimi, hayvancılık temelli gıda üretimi, balık temelli gıda üretimi, kereste üretimi, yaşam alanı tedariki ve enerji ile ilgili CO<sub>2</sub> absorpsiyonu gibi insan sağlığına yönelik altı ekosistem hizmeti üzerine kurulmuştur (Galli A. ve ark., 2012; Kitzes J. Ve ark., 2009). Bileşenler toplama eklenmeden önce eşdeğerlik faktörleri ile ağırlıklandırılır. Ekolojik ayak izi bu nedenle alana dayalı, bileşik bir göstergedir (Wackernagel ve Rees, 1996; Steen-Olsen ve ark., 2012). Şekil 2.4 EF bileşenlerini gösterir ve açıklar.



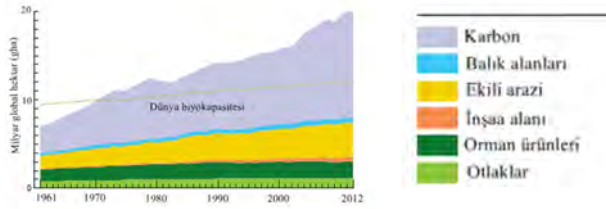
Şekil 2.4. Ekolojik Ayak İzinin Bileşenleri (WWF, 2016)

## 2.2. Karbon ayak izi

Ekolojik ayak izini kendi bileşenlerine ayırmak, her birinin insanlığın gezegenin genel talebine nasıl katkıda bulunduğunu gösterir. Muhtemelen EF' nin küresel düzeyde en iyi bilinen bileşeni Karbon Ayak İzi (CF) 'dir.

En geniş ayak izi olduğu için, antropojenik taleplerdeki artış CF (fossil yakıtların artan kullanımı, elektrik ve enerji yoğun emtia nedeniyle% 260) ve tarım alanlarının ayak izi (+% 125) bileşenleri için en belirgindi (WWF, 2016). CF' deki artan ilgi, küresel ısınmaya ilişkin halk bilincinin artması sonucunda ortaya çıkmaktadır.

**"Karbon Ayak İzi"**, fosil yakıtların yakılması ve diğer kaynaklardan salınan CO<sub>2</sub>'yi özümsemek için gereken arazi olarak tanımlanabilir (WWF, 2016). Bu, bir birey, grup veya kuruluşun sorumlu olduğu toplam CO<sub>2</sub> ve diğer sera gazı emisyonlarını tanımlamak için sıklıkla kullanılır. Tanımlar, karbon ayak izi değerlendirmesi kapsamında hangi faaliyetlerin ve sera gazlarının dahil edilmesi gerektiğine ve ayrıntı düzeyine göre değişir. Bazı karbon ayak izi tanımlamaları sadece karbondioksiti belirtmektedir (Global Footprint Network, 2007). Diğer tanımlar ve yöntemler, Kyoto sera gazlarının tümünü ve karbon dioksit eşdeğerleri açısından emisyonların ölçülmesini içerir, örneğin Carbon Trust (2007).



**Şekil 2.5.** Bileşenlerle Küresel Ekolojik Ayak İzi (WWF, 2016)

Şekil 2.5, "karbon" un insanlığın EF' sinin baskın bileşeni olduğunu göstermektedir (1961'de yüzde 43'tür ve 2012'de yüzde 60'a değişir). Bunun başlıca nedeni

kömür, yağ ve doğal gaz gibi fosil yakıtların yakılması olmuştur. Yeşil çizgi Dünya'nın kaynak ve ekolojik hizmetler üretme kapasitesini (yani biyokapasite) temsil eder. Tarımda artan verimlilik nedeniyle ağırlıklı olarak yukarı yönlü bir eğilim gözlemleniyor (Global Footprint Network, 2016). Veriler küresel hektarda (gha) verilir. (WWF, 2016)

Adına rağmen, Karbon Ayak İzi alan açısından ifade edilmez. Toplam sera gazı miktarı basitçe kütle birimleri (kg, t vb.) ile ölçülür ve bir alan birimine (ha, m<sup>2</sup>, km<sup>2</sup>, vb.) dönüşüm gerçekleşmez. Bir arazi alanına yapılacak herhangi bir dönüştürme, belirli bir Karbon Ayak İzi tahmini ile ilgili belirsizlikleri ve hataları artıracak çeşitli varsayımlara dayanmalıdır. Yalnızca CO<sub>2</sub> dahil edildiğinde, birim kg CO<sub>2</sub>'dir; eğer diğer GHG'ler dahil edilirse, ünite kg CO<sub>2</sub>-e olur ve CO<sub>2</sub> eşdeğerlerinin kütlesini ifade eder. Bunlar, bir gazın gerçek kütlesiyle bu özel gaz için küresel ısınma potansiyel faktörü çarpılarak hesaplanır, böylece farklı GHG'lerin küresel ısınma etkileri karşılaştırılabilir ve katma değerli olur.

Bununla birlikte, tam bir Ekolojik Ayak izi hesaplamasında, karbon dioksit emisyonlarıyla ilgili veriler bu karbon emisyonlarını absorbe etmesi gereken küresel hektar alanına çevrilmektedir (Monfreda C. ve ark., 2004). Bu küresel hektara dayalı karbon ayak izi, daha sonra bir nüfusun veya faaliyetin toplam Ekolojik Ayak izini elde etmek için ekin coğrafyası ve balıkçılık arazisi izi gibi EF'nin diğer bileşenlerine eklenebilir.

Yaşam döngüsü değerlendirmesinin (LCA) özellikle ürün düzeyinde karbon ayak izinin hesaplanmasında yararlı bir

araç olduğu kabul edilmektedir (Wiedmann T. ve Minx J., 2008). Yine de, karbon ayak izine yönelik eleştiriler hala sürüyor. Önemli olan bazı gözlemcilerin, detaylı verilere duyulan büyük talebin, özellikle mikro veya mezo ölçekli hesaplarda aşırı derecede sınırlı veri kullanımının hafife alınmasına neden olduğu durumlarda, sonuç kalitesini tehlikeye attığı görüşünde olmasıdır (Chakraborty D. ve Roy J., 2013; De Benedetto L. ve Klemes J., 2009). Bir başka eleştiri de, karbon tutumu arazisinin dikkate alınmaması, ormancının aniden bozulması ve bitki örtüsü dağılımındaki değişiklikler ve küresel karbon döngüsünü daha da etkileyen ve daha sonra iklimde zararlı etkilere neden olabilecek okyanusal akıllar gibi karasal geribildirim süreçlerini gözardı etme riski taşımasıdır (Fang K. ve ark., 2013).

### **2.3. Enerji üretim sistemlerinin ekolojik ayak izleri**

Nüfus artışı nedeniyle enerji kullanımı ve talebi sürekli artıyor. Her türlü enerji üretimi, havadaki, sudaki ve topraklarımızda çevresel bir etkiye sahiptir, ancak değişir. Konut, işyeri, eğlence ve hizmet sektörleri hala büyük miktarda enerji kullanıyor ve büyük CO<sub>2</sub> emisyonları üretiyor. Mevcut birincil enerjimizin yaklaşık% 80'inin fosil enerjilerden geldiği düşünüldüğünde enerji üretim sistemlerinin çevresel etkileri gittikçe önem kazanmaktadır. Artan enerji ihtiyacına ek olarak, CO<sub>2</sub> emisyonlarının neden olduğu iklim değişikliğinden çevreye ve insan sağlığına yönelik risk uluslararası bilimsel ve politik bir zorluktur.



Çevredeki enerji sistemlerinin göreceli yükünü değerlendirmek için, tüm enerji bileşenleri, tüm sistem bileşenleri ve tüm etki kategorileri dahil edilerek yaşam döngüsü temelinde düşünülmelidir. Bir kaynak hesaplama aracı olarak EF, enerji üretiminden kaynaklanan çevresel etkilere büyük katkıda bulunanların belirlenmesine yardımcı olabilir ve fosil yakıtlar, yenilenebilir kaynaklar ve nükleer gibi alternatif enerji sistemlerinin etkilerini karşılaştırabilir.

Bunu yaparken dikkate alınması gerekenler:

- enerjii üretmek için ne kadar fiziksel alan gereklidir,
- bu gereksinim yenilenemez ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında nasıl değişir,
- bu alan ihtiyaçlarının ekolojik maliyetleri nelerdir,
- enerji üreten tesislerin ekosistemler, insan sağlığı ve sosyal sistemler üzerindeki etkisini anlamak için izlenmesi gerekenler nelerdir.

Bu bölümde, fosil yakıtların, yenilenebilir enerjilerin ve nükleer enerji sistemlerinin çevresel etkileri tartışılmış ve yaşam döngüsü, EF ve CF değerleri açısından karşılaştırılmıştır.

### **2.3.1. Enerji sistemlerinin karşılaştırılması**

Farklı enerji teknolojilerini karşılaştırmada metodolojik bir zorluk vardır, bunun nedeni, bu kaynakları kullanmak

için çok farklı kaynaklara ve teknikler üzerine kurulu olmasıdır.

Konvansiyonel enerji teknolojileri, çoğunlukla kömür, ham petrol ve doğal gaz gibi fosil kaynaklarına dayanır. Bu teknolojiler, genellikle, atmosfere CO<sub>2</sub> salınması ve böylece küresel iklim için ciddi sonuçlar doğuran küresel karbon akış sisteminin değiştirilmesi yoluyla işletim esnasında çevre üzerindeki en büyük baskısını oluşturmaktadır.

Bununla birlikte, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi ve fotovoltaik ve hidroelektrik gibi yenilenebilir enerjiler, özellikle PV panelleri, rüzgar türbinleri ve güneş enerjisi toplayıcıları gibi ekipmanların inşası ve kurulumu ile ilişkili olanlar çevresel etkilere sahiptir. "Yenilenebilir kaynak tabanlı enerji teknolojileri" hem genel baskısında hem de bu baskının farklı etki kategorilerine dağılımında büyük farklılıklar gösteren çok çeşitli teknolojileri temsil etmektedir.

MIPS (hizmet birimi başına malzeme girişi), CML-Yöntemi, CED (birikimli enerji talebi) ve ekolojik ayak izi gibi çevresel etkileri değerlendirmek için kullanılacak çeşitli yöntemler vardır. Yenilenebilir enerji türlerinin ekolojik alansal izleri, toplumlar için yenilenebilir enerjinin gerçek maliyetlerini (ve faydalarını) anlamak için CO<sub>2</sub> ayak izi modelleriyle birlikte kullanılabilir (Burger J. ve Gochfeld M., 2012).

Tam bir çevresel etki değerlendirmesi için, malzeme akışlarını, enerji akışlarını ve emisyonları değerlendirebilen bir analiz aracı gereklidir. Bu yoğun

olarak bir araya getirilmiş (karşılaştırmaya izin vermek için) bir ölçüm olup farklı etkileri şeffaf bir bilimsel temelde değerlendiriyor.

Burada, yaşam döngüsü değerlendirmesini ve ekolojik ayak izlerini kullanan enerji sistemlerinin çevresel etkileri için karşılaştırmalı çalışmaların sonuçları özetlenecektir. Tablo 2.1, incelenen elektrik güç kaynakları (biyoyakıtlar hariç tüm teknolojiler) için üretilen kWh elektrik enerjisi için ömür devri CO<sub>2</sub>e emisyon aralıklarını göstermektedir.

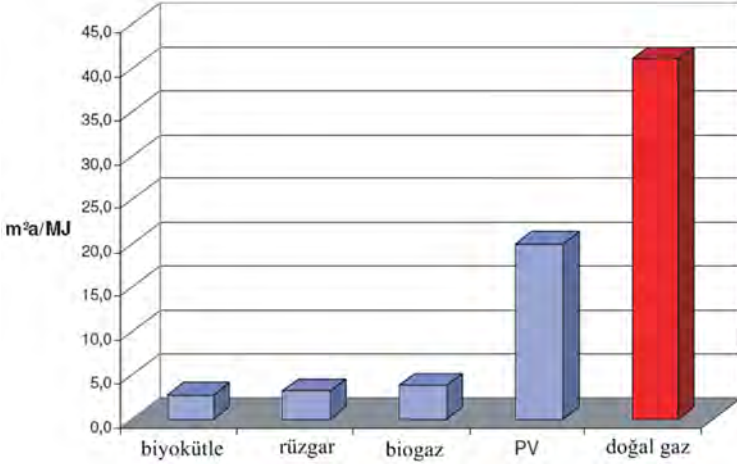
Teknoloji	Yaşam döngüsü	gecikmeler nedeniyle		Toplam
		fırsat maliyeti emisyonları	Savaş/terör (nükleer) veya 500 yıl sızıntı (CCS)	
Solar PV	19–59	0	0	19–59
CSP	8.5–11.3	0	0	8.5–11.3
Rüzgar	2.8–7.4	0	0	2.8–7.4
Jeotermal	15.1–55	1–6	0	16.1–61
Hidroelektrik	17–22	31–49	0	48–71
Dalga	21.7	20–41	0	41.7–62.7
Gelgit	14	20–41	0	34–55
Nükleer	9–70	59–106	0–4.1	68–180.1
Kömür-CCS	255–442	51–87	1.8–42	307.8–571

**Tablo 2.1.** Eşdeğer karbon dioksit yaşam döngüsü, fırsat maliyeti emisyonları (Jacobson M.Z., 2008).

Tablo 2.1 kömürün en yüksek etkiye sahip olduğunu göstermektedir (PV panellerinin neredeyse 10 katı). İkinci olarak, güneş enerjisi PV'nin etkisi daha yüksektir ve jeotermale oldukça yakındır. Nükleerin etki alanı bölüm 2.4'te belirtildiği gibi çok geniştir ve

karşılaştırmak zordur. İklimle ilgili yaşam döngüsü emisyonları, yalnızca teknolojinin inşası, kurulumu, bakımı ve devre dışı bırakılması sırasında ortaya çıkar. Jeotermal için, emisyonlar, flaş veya kuru buharlı tesislerde sıcak sudan çözülmüş CO<sub>2</sub>'nin buharlaşması nedeniyle oluşur, ancak ikili tesislerde olmaz. Mısır etanolü, selülozik etanol, kömür-CCS ve nükleer için, ek emisyonlar madencilik ve yakıt üretimi sırasında ortaya çıkar. Biyoyakıtlar ve kömür-CCS için emisyonlar yanma esnasında egzoz bileşeni olarak da ortaya çıkar (Jacobson, 2008).

Kettl ve ark. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada Sürdürülebilir Süreç Endeksi (SPI), farklı teknolojilerin ve kaynakların ekolojik fizibilitesi hakkındaki sorularını çözmek için kullanıldı. Yenilenebilir tabanlı sistemlerin, tüm yaşam döngüsü dikkate alındığında fosil enerji teknolojileri ile karşılaştırıldığında gerçekten çevreye daha düşük bir etki yaratıp yaratmadığını incelediler. Sonuçlar (bkz. Şekil 2.6) doğal gaz türbinleri gibi "temiz" fosil esaslı bir teknolojinin bile, tüm yenilenebilir kaynak bazlı alternatiflerden daha yüksek bir baskı uyguladığını gösteriyor. Buradaki fark, yalnızca yüzde değil, biyogaz teknolojisinin (3.8m<sup>2</sup>a / MJ ile) etkisinin 10.8 katı olan doğal gazla türetilen elektrikle (41.0m<sup>2</sup>a / MJ ile) ve "en kötü" yenilenebilir tabanlı fotovoltaik teknolojisi enerjinin etkisinin hala iki katı olan faktörlerdir (19.9m<sup>2</sup>a / MJ ile PV).



**Şekil 2.6.** Enerji sistemleri için ayak izi alanlarının karşılaştırılması (Kettl, et. al., 2011)

\*m<sup>2</sup>a / MJ birimi, yıllık üretimin ve üretilen MJ'nin ayak izi alanı anlamına gelir.

Son olarak şunu akılda tutmak gerekir; Nugent ve Sovacool (2014), özellikle rüzgar ve güneş enerjisi olmak üzere, 153 yaşam döngüsü çalışmalarını eleştirel olarak gözden geçirdiler. "Her bir teknoloji için 34,11 g CO<sub>2</sub>-eq / kWh ortalama değeri olan rüzgar enerjisi için 0.4 g CO<sub>2</sub>-eq / kWh'den 364.8 g CO<sub>2</sub>-eq / kWh'ye kadar düşük emisyon yoğunlukları bulunmuştur. Güneş enerjisi için, 1 g CO<sub>2</sub> eq / kWh ila 218 g CO<sub>2</sub> eq / kWh "aralığını bulur. Bunun anlamı; birçok LCA, karar kriterlerinde öznel olma eğilimindedir ve farklı iç ve dış faktörlerden etkilenmiş görünmektedir. Objektif olarak yapılsa bile önyargısız LCA'lar örneklendiği gibi metodolojisindeki farklılıklar nedeniyle çapraz olarak karşıt sonuçlar verebilir.

## 2.4. Nükleer enerji

Nükleer enerji üretimi nispeten daha az karbon izine sahiptir; hiçbir yanma olmadığı için (ısı, uranyum veya plütonyum fisyonu tarafından üretilir), operasyonel CO<sub>2</sub> emisyonları toplamın <% 1'ini oluşturur. Çoğu emisyon, uranyum madenciliği, zenginleştirme ve yakıt imalatı sırasında ortaya çıkar. Kullanımdan kaldırma, ömür boyu CO<sub>2</sub> emisyonlarının % 35'ini oluşturur ve nükleer santralin sökülmesi ve atık depolama tesislerinin yapımı ve bakımından kaynaklanan emisyonları içerir. Nükleer döngünün en enerji yoğun fazı, toplam CO<sub>2</sub> emisyonlarının % 40'ını oluşturan uranyum ekstraksiyonudur (Parliamentary Office of Science and Technology, 2006). Poinssot ve ark. 2014, yine nükleer enerjinin sera gazı emisyonu açısından en düşük etkiye sahip olduğunu vurguluyor (yaklaşık 5.3 g / kWhe). Bu fosil enerjiden 100 kat daha düşük ve fotovoltaik enerjiden 8 kat daha düşüktür. Atmosferik kirlilik (SO<sub>x</sub> ve NO<sub>x</sub>) göz önüne alındığında, nükleer enerji hidro ve rüzgar elektriğinden daha yüksek değerlerdedir, ancak yine de PV'den ve tabii ki fosil enerjilerden daha düşüktür. Potansiyel etki göstergelerine (asitleştirme, ötrofikasyon ve POPC) ilişkin nükleer enerji rakamları, hidroelektrikten daha yüksek, ancak rüzgar enerjisi ve PV olmak üzere diğer enerji kaynaklarından daha düşük etkiye sahip en iyi ikinci sırada yer almaktadır. Benzer şekilde, madencilik nükleer enerjinin güçlü bir etkisi olsa da, arazi kullanımının en düşük seviyede olması öngörülmektedir. Tersine, su tüketimi ve nükleer enerjinin geri çekilmesi rakamları, fosil enerjileri aralığında olup diğer enerji kaynaklarından önemli ölçüde daha yüksektir. Sonuç olarak, nükleer enerji ile

Üretilen teknolojik atıklar fosil enerjilerden yaklaşık 1000 daha düşük ancak yine de yenilenebilir enerjilerden 10 kat daha fazla kalmaktadır. Bu, doğrudan tüm yakıt çevrimini (zellikle de reaktörleri) alıştırmak için gereken altyapıların (tesisler) büyüklüğü ile doğrudan ilgilidir.

Bununla yanısıra, Çernobil (1986'da SSCB) ve Fukushima (Japonya, 2011) gibi nükleer santrallerde meydana gelen katastrofik olaylar hem bölgesel hem de küresel düzeyde yüksek insan ve ekolojik etkileri potansiyeline sahiptir. Genel olarak, düşük ihtimal, yüksek sonuç olayları için potansiyel konusunda kayda değer "koru" ya da kaygıları vardır. Bir nükleer tesisin tam çalışma ömrü maliyeti yüksek olabilir. Yaşam döngüsü maliyetleri arasında, madencilik, öğütme, zenginleştirme ve imalat (ekolojik ve insan sağlığını etkileyen) ve yeni altyapı gerektiren güvenli ulaşım koridorları ile yer altı arazilerinin önemli bir bölümünü gerekli kılan atıl giderme sorunu bulunmaktadır (Burger J. ve Gochfeld M., 2012).

Aslında mevcut nükleer reaktörlerin karbon ayak izi konusunda bilimsel literatürde herhangi bir görüş birliği bulunmamaktadır. Nükleer enerjinin karbon ayak izini belirleme çalışmaları, sorunlu bir alandır. Birçok yayınlanmış nükleer enerji LCA'leri arasındaki metodolojik ve bağlamsal tutarsızlık, doğrudan karşılaştırmayı zorlaştıran ve açık, kolektif bir anlayışı engelleyen geniş kapsamlı sonuçlara neden olmuştur (Warner E. ve Garvin H., 2012). Sonuçlar belirsiz ve spekulatiftir. Sovacool'un (2008) makalesinden dört yıl sonra 2012'de Ethan Warner ve Garvin Heath, nükleer

LCA'ları içeren 274 makale buldular. Daha fazla düşünmek için onları 27'ye düşürdüler. Bu, 99 yazarın "bağımsız" olarak tanımladığı karbon ayak izi tahminlerini vermiştir. Karbon emisyonları için verileri 4 ila 220 gCO<sub>2</sub> / kWh arasında değişiyordu. Ortalama ancak daha çok medyan bir değer bildirdiler: tahminlerin yarısı 13 gCO<sub>2</sub> / kWh'nin altındaydı. Yayımlanan literatürün bu iki yorumu çelişkili sonuçlar üretti. Biri, karbon ayak izinin, CCC sınırının üstünde, diğeri de altta olduğunu ileri sürüyordu. ([http://www.theecologist.org/News/news\\_analysis/2736691/false\\_solution\\_nuclear\\_power\\_is\\_not\\_low\\_carbon.html](http://www.theecologist.org/News/news_analysis/2736691/false_solution_nuclear_power_is_not_low_carbon.html)).

Düşük karbonlu bir elektrik kaynağı olarak nükleer enerji statüsü şüphelidir: kömür gibi geleneksel fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında, uranyum çıkarılması ve işlenmesi için gerekli olan lojistik zincir, tesis yapımı ve fabrikanın devre dışı bırakılması, nükleer enerji için karbon ayak izi oluşturuyor. Yenilenebilir kaynaklardan önemli ölçüde daha büyüktür. ([https://www.cse.org.uk/downloads/reports-and\\_publications/planning/renewables/common\\_concerns\\_about\\_wind\\_power.pdf](https://www.cse.org.uk/downloads/reports-and_publications/planning/renewables/common_concerns_about_wind_power.pdf))

Fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmak ya da ortadan kaldırmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek, insanlığın ayak izini yeryüzünün destekleyebileceği büyüklüğe indirmek için büyük bir fırsat sunuyor.

## Referanslar

Borucke, M., Moore, D., Cranston, G., Gracey, K., Iha, K., Larson, J., Lazarus, E., Morales, J.C., Wackernagel, M., Galli, A. (2013). Accounting for demand and supply of



the biosphere's regenerative capacity: the national footprint accounts' underlying methodology and framework. *Ecological Indicators*, (24), 518–533.

Galli, A., Lin, D., Wackernagel, M., Gressot, M. and Winkler, S. (2015). Brief for GSDR – Humanity's growing Ecological Footprint: sustainable development implications. Global Footprint Network.

Burger, J. and Gochfeld, M. (2012). A conceptual framework evaluating ecological footprints and monitoring renewable energy: wind, solar, hydro, and geothermal. *Energy and Power Engineering*, (4), 303-314.

Chakraborty, D. And Roy, J. (2013). Energy and carbon footprint: numbers matter in low energy and low carbon choices. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, (5), 1–7.

De Benedetto, and L., Klemes, J. (2009). The environmental performance strategy map: an integrated LCA approach to support the strategic decision making process. *Journal of Cleaner Production*, (17), 900-906.

Dearing, J.A., Wang, R., Zhang, K., Dyke, J.G. and Haberl, H. (2014). Safe and just operating spaces for regional social-ecological systems. *Global Environmental Change*, (28), 227-238.

Fang, K., Heijungs, R. and De Snoo, G. (2013). The footprint family: comparison and interaction of the ecological, energy, carbon and water footprints. *Revue de Métallurgie*, (110), 77–86.

Galli, A., Wiedmann, T.O., Ercin, E., Knoblauch, D., Ewing, B.R. and Giljum, S. (2012). Integrating ecological, carbon and water footprint into a “Footprint Family” of indicators:

definition and role in tracking human pressure on the planet. *Ecological Indicators*, (16), 100–112.

Galli, A. (2015). On the rationale and policy usefulness of ecological footprint accounting: the case of Morocco. *Environmental Science & Policy* (48), 210–224.

Jacobson, M. Z. (2008). Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security. *Energy and Environmental Science*, (2), 148–173.

Kettl, K., Niemetz, N., Sandor, N., Eder, M. and Narodoslowsky, M. (2011), Ecological Impact of Renewable Resource-Based Energy Technologies. *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*, (1), 1-5.

Kitzes, J., Galli, A., Bagliani, M., Barrett, J., Dige, G., Ede, S., Erb, K., Giljum, S., Haberl, H. And Hails, C. (2009). A research agenda for improving national ecological footprint accounts. *Ecological Economics*, (68), 1991–2007.

Lin, D., Galli, A., Borucke, M., Lazarus, E., Grunewald, N., Martindill, J., Zimmerman, D., Mancini, S., Iha, K. and Wackernagel, M. 2015. Tracking supply and demand of biocapacity through ecological footprint accounting. *Sustainability Assessment of Renewables- Based Products: Methods and Case Studies*, 179–200.

Marazzi, L. (2017). *Our Ecological Footprint*, Macat International Ltd.

Monfreda, C., Wackernagel, M. and Deumling, D. (2004). Establishing national natural capital accounts based on detailed ecological footprint and biological capacity accounts. *Land Use Policy*, 231-246.

Nugent, D. and Sovacool, B.K. (2014). Assessing the lifecycle greenhouse gas emissions from solar PV and wind energy: A critical meta-survey. *Energy Policy*, (65), 229-244.

Parliamentary Office of Science and Technology, Postnote. (2006). Carbon footprint of electricity generation. Number 268

Sovacool, B.K. (2008). Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey. *Energy Policy*, 36(8), 2950-2963.

Steen-Olsen, K., Weinzettel, J., Cranston, G., Ercin, A.E. and Hertwich, E.G. (2012). Carbon, land, and water footprint accounts for the European Union: consumption, production, and displacements through international trade. *Environmental Science & Technology*, (46), 10883-10891.

Tittensor, D.P., Walpole, M., Hill, S.L.L., Boyce, D.G., Britten, G.L., Burgess, N.D., Butchart, S.H.M., Leadley, P.W., Regan, E.C. and Alkemade, R. (2014). A mid-term analysis of progress toward international biodiversity targets. *Science* 346 (6206): 241–244.

Wackernagel, M., Cranston, G., Morales, J. C. and Galli, A. (2014). Ecological footprint accounts, In: Atkinson, G., Dietz, S., Neumayer, E., Agarwala, M. (Eds.), *Handbook of Sustainable Development*. second revised edition Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK.

Wackernagel, M. and Rees, W. (1996). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. New Society Publishers.

Warner, E. and Garvin, H. (2012). Life cycle greenhouse gas emissions of nuclear electricity generation. systematic review and harmonization. *Journal of Industrial Ecology*, 16(1), S73-S92.

Wiedmann, T. And Minx, J. (2008). A definition of ‘carbon footprint’. In: Pertsova, C.C. (Ed.), *Ecological Economics Research Trends* ( pp. 1–11), Hauppauge, NY,USA: Nova Science Publishers.

WWF. 2016. *Living Planet Report 2016. Risk and resilience in a new era*. WWF International, Gland, Switzerland.

Web page (2017), retrieved from <http://www.footprintnetwork.org/content/images/trends/2016/world.png>

Web page (2017), retrieved from <http://www.footprintnetwork.org/faq/>

Web page (2017), retrieved from <http://info.cat.org.uk/questions/low-impact-living/what-ecological-footprint/>

Web page (2017), retrieved from [http://www.unepfi.org/fileadmin/documents/bloom\\_or\\_bust\\_report.pdf](http://www.unepfi.org/fileadmin/documents/bloom_or_bust_report.pdf)

Web page (2017), retrieved from <http://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/>

Web page (2017), retrieved from [http://www.theecologist.org/News/news\\_analysis/2736691/false\\_solution\\_nuclear\\_power\\_is\\_not\\_low\\_carbon.html](http://www.theecologist.org/News/news_analysis/2736691/false_solution_nuclear_power_is_not_low_carbon.html)

Web page (2017), retrieved from [https://www.cse.org.uk/downloads/reports-andpublications/planning/renewables/common\\_concerns\\_about\\_wind\\_power.pdf](https://www.cse.org.uk/downloads/reports-andpublications/planning/renewables/common_concerns_about_wind_power.pdf)

**BÖLÜM 2**  
**ENERJİ SİSTEMLERİ İÇİN EKOLOJİK AYAKIZI**  
Sorular ve cevaplar

1) **Ekolojik ayak izi ölçümü aşağıdakilerden hangisini ele alır:**

- a) Kullanılan kaynakları üretmek için gerekli olan biyolojik olarak verimli arazi ve su alanı
- b) Atıkların emilmesi için gerekli arazi ve su
- c) Teknoloji ve yönetim kaynakları uygulamaları
- d) a & b
- e) a & b & c

**Cevap: a**

2) **Aşağıdakilerden hangisi doğrudan bir ülkenin ekolojik ayak izine dahil DEĞİLDİR?**

- a) Otlatma
- b) Ormanlar
- c) Karbon
- d) Tarım alanı
- e) Spor sahaları

**Cevap: e**

3) **Hangi enerji sistemleri global iklim değişikliğine en az katkı sağlar?**

- a) Kömür
- b) Rüzgar
- c) Hidroelektrik
- d) Gaz
- e) Yağ

**Cevap: b**

4) Genel ekolojik ayak izine en büyük katkı sağlayan nedir?

- a) Karbon ayak izi
- b) Yerleşik arazi
- c) Ormanlar
- d) Otlak alanı
- e) Balıkçılık alanları

**Cevap: a**

5) Aşağıdakilerden hangisi ekolojik ayak izlerinin yararlarından biri DEĞİLDİR?

- a) İnsan talebi ve ekosistemin geleceği için olası senaryoları tartışmaya açar
- b) Küresel ekolojik aşırılık riskinin ekonomik karar verme sürecine dahil edilmesini teşvik etmek
- c) İnsanları taşıma kapasitesi ve aşırı tüketim hakkında eğitmek için yararlı bir araç olarak kullanılır.
- d) İnsan tüketimi ile ilgili tüm çevresel baskıları ve sonuçları ele almak
- e) Halk aktörlerinin sektöre özgü politika reçetelerine dönüştürülmesinde kamu aktörlerini görevlendirmek

**Cevap: d**

## BÖLÜM 3

### KONVANSİYONEL ENERJİ ÜRETİM SİSTEMLERİ VE ÇEVRESEL ETKİLERİ: TERMİK SANTRALLER

**Bölüm yazarları:** Başak TAŞELİ<sup>1</sup> ve Duygu ALTIOK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Giresun-Türkiye

e-mail: [basak.taseli@giresun.edu.tr](mailto:basak.taseli@giresun.edu.tr)

<sup>2</sup>Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Giresun-Türkiye

e-mail: [duygu.altiok@giresun.edu.tr](mailto:duygu.altiok@giresun.edu.tr)

**Özet:** Enerji, başta halkın ve sanayi, konut ve ulaşım gibi sektörlerin ihtiyaçlarını karşılamak için gereklidir. Ancak enerji üretim, dönüşüm, nakliye ve tüketim sırasında çevrenin kirlenmesine ve aynı zamanda da hayatımızda vazgeçilmez faydalara yol açmıştır. Nüfus artışı ve endüstriyel kalkınma ile paralel olarak kurulan büyük ölçekli enerji üretimi ve dönüştürme sistemleri, ekolojik dengeyi ve sınır aşan etkileri büyük ölçüde etkiler. Enerji santralinden veya yakıt zincirinin diğer bölümlerinden gelen emisyonlar, çevre sorunlarına yol açan başlıca faktörlerdir. Bu emisyonlar katı, sıvı ve gaz emisyonlarını içerir. Kuşkusuz, fosil yakıtların yakılması, kaçınılmaz olarak, küresel ısınmadan, asit yağmurunun oluşumundan ve stratosferik ozon tüketiminden açıkça sorumlu olan azot oksit (NO<sub>x</sub>), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonunu artırmaktadır. Bu bölümde iklim değişikliğinin, asit yağmurunun oluşumunun ve ozon tabakasının tükenmesinin ekolojik, ekonomik ve sosyal etkileri de sunulacaktır.

## **Öğrenme hedefleri:**

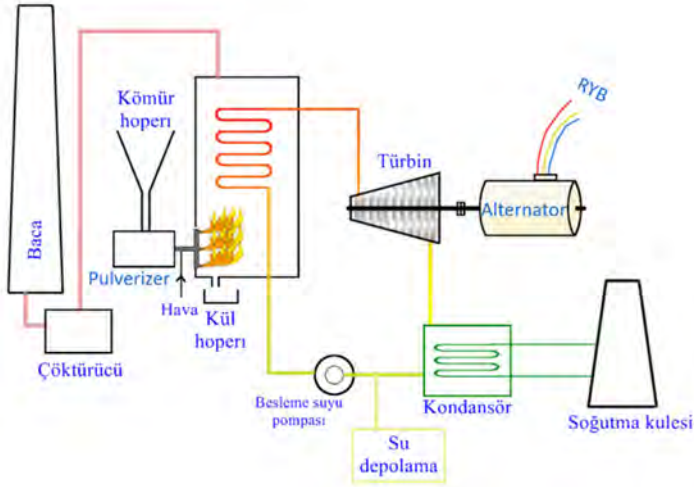
Bu bölümün sonunda öğrenciler:

- Çevresel etkilerin kapsamalarını tartışabilir,
- Termik santralin etkilerini tanımlayabilir,
- Termik santrallerin nasıl çalıştığını açıklayabilir,
- İklim değişikliği, küresel ısınma, ozon tabakasının delinmesi ve asit yağmuru terimlerini tanımlayabilir,
- İklim değişikliğinin zaman çizelgesini, asit yağmuru ve ozon tüketiminin ne kadar ciddi olduğunun farkına varır,
- İklim değişikliğinin, asit yağmurunun ve ozon tabakasının delinmesinin nedenlerini ve etkilerini açıklayabilir.
- İnsan katılımının çevre üzerindeki etkisinin farkına varır.

### **3.1 Bir termik santral nasıl çalışır?**

Termik santraller, suyu bir çalışma akışkanı olarak kullanır. Yakıttaki enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi bir enerji santralının çalışmasını oluşturur. Termik santrallerde buhar yakıtın yakılması ile üretilir ve buhar türbinini çalıştırır. Buhar türbininden geçtikten sonra bir yoğunlaştırıcıda yoğunlaştırılır ve kazana geri döndürülür (bkz Şekil 3.1). Termik santrallerde kömür, petrol ve doğalgaz birincil yakıt olarak kullanılır (<http://www.electricaleasy.com/2015/08/thermal-power-plant.html>).





**Şekil 3.1.** Termik santral düzeni (<http://www.electricaleasy.com/2015/08/thermal-power-plant.html>)

### 3.2 Termik santralin çevresel etkileri

Termik santralin çevresel etkileri enerji üretiminden önce ve sonra incelenmelidir. Örneğin, kömür kullanan enerji santrali için, tam bir yakıt zinciri tesisinin etkilerini değerlendirmede kömür madenlerinin çıkarılması, külün giderilmesi ve santralin işletimden çıkarılması düşünülmelidir. Enerji santrallerinin ve enerji üretiminin en önemli çevresel etkisi, enerji santralinden veya yakıt zincirinin diğer bölümlerinden kaynaklanan katı, sıvı, gaz emisyonlarıdır (bkz. Şekil 3.2). Gaz emisyonları, baca gazları ( $SO_2$ ,  $NO_x$ ), hidrokarbonlar, karbon monoksit ve karbon dioksiti içerir. Termik santrallerde, temel sıvı emisyonu atık sudur. Soğutma, temizleme ve diğer işlemler için önemli miktarda su kullanılır. Yakıt

fraksiyonundan dolayı uçucu külde bulunan Fe, Zn, Cu, Pb gibi ağır metaller katı emisyonlardır. Havada askıda kalırlar ve yağmur suyu ile yıkanarak yeraltı sularına ve içme suyu kaynaklarına taşınırlar ([www.britannica.com](http://www.britannica.com)).

Doğrudan emisyonlara ek olarak, azot oksitlerinden ve uçucu organik bileşiklerden (UOB) oluşan ozon, kükürt dioksitten oluşan kükürt bileşikleri ve kükürt dioksit ile azot oksitlerinden oluşan asit yağmuru da dahil olmak üzere ikincil bileşenler bulunmaktadır. Tablo 3.1, farklı deşarjlardan kaynaklanabilecek etki tiplerini vermektedir.

## **Kömür, petrol ve doğalgaz yakıtlı santraller**

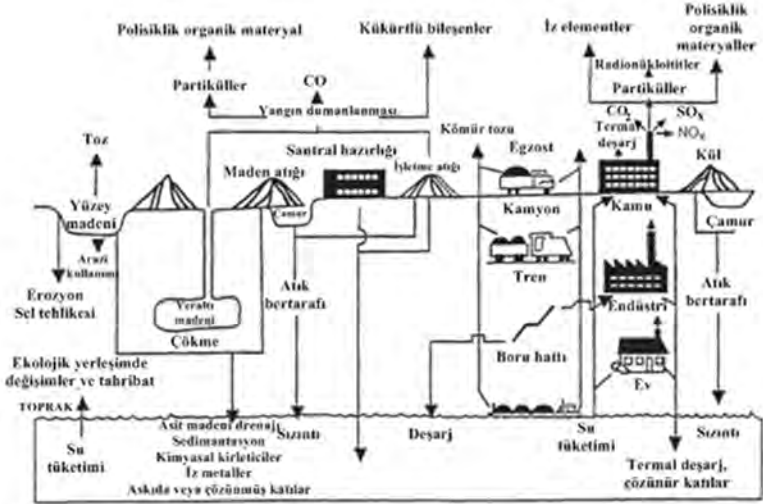
### **Mesleki tehlikeler**

- Malzemelerin üretimi sırasında, petrol ve gaz sahası sondajları, maden ve fabrika inşaatı sırasındaki kazalar ve hastalıklar,
- Nakliye hattının inşaatı, kömür ve petrolün santrale nakil kazaları;
- Santralin çalışmasında ki kazalar;
- Kanserojen hidrokarbonlara maruz kalmaktan kaynaklanan kanser;

### **Kamu tehlikeleri**

- Kömür, petrol ve gaz taşımacılığı sırasındaki yaralanmalar ve ölümler;
- Maden ve tuğla yapımı ve petrol ve gaz sahalarının geliştirilmesinde kullanılan malzemelerin üretimi sırasında kirleticilerin solunması;

- Santralin çalışması sırasında çıkan kömür, petrol ve gaz yanmasından kaynaklanan kirleticilerin solunması;
- Katı ve sıvı atıklar tarafından salınan zehirli maddeler;
- Depolanan yağ ve gazın yanması ve patlaması..



Şekil 3.2. Yakıt zinciri kavramı ([www.britannica.com](http://www.britannica.com))

**Tablo 3.1.** Değişik deşarjlardan kaynaklanan etki tipleri ([www.britannica.com](http://www.britannica.com))

Çevresel etki kaynağı	İnsan Biyolojik kaynaklar sağılığı									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Dış hava										
Parçacıklar	X	X								
SO <sub>2</sub>	X	X	X	X						
NOx, nitrat, NO <sub>2</sub>		X	X	X		X				
Toksikler, kurşun, civa	X	X	X	X	X	X	X	X		
CO	X	X								
CO <sub>2</sub>	X	X	X	X	X	X	X		X	
Klorflorokarbon	X	X	X	X	X	X	X		X	
Buhar										
İkincil dış hava										
Asit aerosoller	X	X								
Asit depolanması			X	X	X	X	X			
Ozon (HCs, VOCs)	X		X	X			X			
İç hava										
Yüzey suyu										
Kimyasal	X	X	X		X	X	X			

Termal				X	X				X
Katı atık									
Nakil							X		X
Arazi kullanımı							X		X
Tehlikeli/PCBs	X	X		X	X		X		
Küllerdeki toksikler	X	X		X	X		X		
İnşaat/işletme									
Tesis:Arazi kullanımı			X	X			X		X
İletim: Arazi kullanımı			X	X			X		X
Patlama/kaza	X	X							X
Dökülme	X	X	X		X	X	X	X	X
İşletmeden çıkarmak							X	X	X
Yakıt									
Çıkarma	X	X	X	X	X	X	X	X	X
İşleme	X	X	X		X	X	X	X	X
Taşıma/Depolama	X	X	X		X	X	X	X	X

A:ölüm oranı; B:hastalık hızı; C:bitki örtüsü; D: ormanlar E:balıkçılık; F:sucul; G:karasal; H:yeraltısuyu; I:iklim değişikliği J:estetik

## Çevresel etkiler

- Açık ocak madenciliğinde toprak kaybı veya yeraltı maden sahalarında madencilik hasarı;
- Asit yağmurları;
- Madencilikten kaynaklanan sıvı atıklardan dolayı su kirliliği;
- Santralden gelen katı ve sıvı atıklardan kaynaklanan su kirliliği;
- Santralin çalışması sırasında çıkan kömür, petrol ve gaz yanmasından kirleten maddelerin emilmesi nedeniyle ormanların, ürünlerin ve hayvanların verimi ve karada ve sudaki vahşi hayvanların kaybedilmesi;
- Kül döküntüleri etrafından radyoaktivite yayılması;
- Tesis işletmeciliği, malzeme imalatı ve tesis yapımı sırasında çıkan CO<sub>2</sub> nedeniyle küresel ısınma;
- Yağ nakliyesi ve kazalar sırasındaki su kirliliği.

### 3.3 Küresel iklim değişikliği

**İklim:** İklim, geniş bir yelpazedeki zaman ve bölgeye göre tek bir yerdeki hava koşullarının ortalamasıdır. Sıcaklık, rüzgar, nem, havadaki basınç ve günün ve yılın seyrinde nasıl değiştiği bölgedeki iklimi belirleyen unsurlardır.

**İklim değişikliği:** İklim değişikliği, atmosferin bileşimini doğrudan veya dolaylı olarak değiştiren insan faaliyetlerinin bir sonucu olarak ve karşılaştırılabilir zaman periyodlarında doğal iklim değişikliği sonucunda olan değişikliktir.

**Küresel Isınma:** Küresel ısınma, son bir ila iki yüzyıl boyunca tartışılan Dünya yüzeyinin yakınındaki ortalama hava sıcaklıklarındaki artıştır.

Fosil yakıtların yoğun yanması ve atmosferdeki sera gazı, özellikle de karbon dioksitin artması ve bu nedenle dünyamızın ısınması, sera etkisi (küresel ısınma) olarak tanımlanmaktadır.

Gaz halindeki gazlar arasında karbondioksit, metan, karbon monoksit, hidrokarbonlar ve kloroflorokarbonlar bulunur. Küresel ısınmanın en büyük etkisinin kutuplardaki buzulların erozyona neden olacağı ve deniz su seviyesinin artacağı ve birçok ülkenin sel baskımına uğraması olacağı belirtilmektedir. Fosil yakıt tüketimi aynı oranda arttıkça, önümüzdeki 50 yıl içinde dünyamızın sıcaklığının 5 derece artacağı ve bunun felakete yol açacağı gösteriliyor. Buna ek olarak, sera etkisinden dolayı yeryüzünün sıcaklığının artmasıyla, denizler göl ve nehirlerden daha fazla buharlaşacak, bu nedenle daha fazla yağmur ve doğal sel baskını olacak.

### 3.3.1 İklim değişikliğinin nedenleri

**Volkanik aktivite:** Volkanik aktivite, büyük miktarlarda sülfür dioksit ve diğer aerosollerini stratosfere salabilir. Bu bileşikler atmosferik şeffaflığı ve dolayısıyla Dünya'nın yüzeyine ve troposferine ulaşan güneş radyasyonunu azaltır. Volkanik aktivite, su buharı, kül, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub> gibi gazların küresel iklimi değiştireceği şekilde yoğunlaşabilir. Buna ek olarak, volkanik kanallardaki magma, yerküre yüzeyinde karbon ile karşılaşır ve karbon dioksit salınır. Atmosferde karıştırılan bu CO<sub>2</sub>

iklim değişikliğinde büyük rol oynamaktadır. Volkanik patlamalar sonucunda atmosfere salınan maddelerde iklimi etkileyebilir.

**Tektonik aktivite:** Tektonik hareketler (yerkabuğunda gerçekleşen hareketler) ile yeryüzündeki oluşumların değişmesi okyanus ve hava akımlarının değişmesine ve büyük ölçekli iklim değişikliklerine neden olabilir. Tektonik aktivite, özellikle karbon dioksit konsantrasyonlarını etkiler.

**Sera gazları:** Sera gazları, sera etkisini destekleyen, atmosferde olan ve en fazla ısı tutma özelliğine sahip olan bileşiklerdir. Bu gazlar, Dünya'nın yüzeyinden çıkan kızılötesi ışınımı absorbe edebilir ve onu tekrar Dünya'nın yüzeyine geri döndürebilir ve böylece sera etkisi olarak bilinen fenomene katkıda bulunur. Bu şekilde, sera gazları atmosferdeki sıcaklığı artırır ve küresel ısınmaya ve dolayısıyla sera etkisiyle iklim değişikliğine neden olur. Günümüzde ana sera gazları olarak karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), kloroflorokarbonlar (CFC'ler) ve halonlar, metan (CH<sub>4</sub>), diazotmonoksit (N<sub>2</sub>O) ve ozon (O<sub>3</sub>) bilinir.

**Su buharı:** Dünya yüzeyinin ısınması ve alçak atmosfer, yüzeydeki suyun buharlaşma hızını artırır. Alçak atmosferde, daha yüksek su buharı konsantrasyonu yüksek miktarda uzun dalga radyasyonunu emer ve onu aşığıya doğru yayar.

**Carbon dioxide:** CO<sub>2</sub>, havadaki en fazla ısı tutan gazdır. Atmosferik CO<sub>2</sub> miktarı, yanardağ aktivitesine, organik

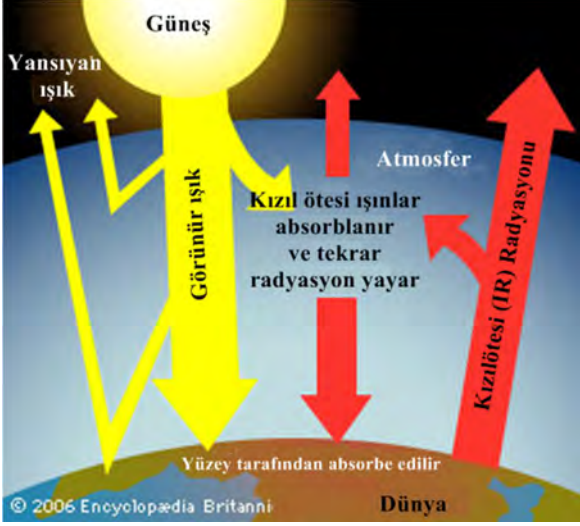


maddenin yanmasına ve doğal bozunmasına ve aerobik organizmaların solunumuna bağlıdır. Isıyı tutan CO<sub>2</sub> ve diğer gazların miktarındaki artış, atmosferik ısınmanın artmasına neden olur. Bunun buzulları erimesi ve okyanusların yükselmesi gibi ciddi sonuçlara yol açacak iklim değişikliklerine neden olabileceğinden endişe edilmektedir.

**Metan:** Metan (CH<sub>4</sub>) ikinci en önemli sera gazıdır. Çeşitli insan ve hayvan aktiviteleri ile atmosferde bulunur. Metan ısı tutucu özelliğe sahiptir. Atmosferde CO<sub>2</sub>'den çok daha kısa bir kalma süresine sahiptir.

**Yüzey seviyesi ozon ve diğer bileşikler:** Ozon miktarı atmosferdeki enlem ve yüksekliklere bağlı olarak değişir. Yüzey ozonu (O<sub>3</sub>), hava kirliliğinin bir sonucudur ve doğal olarak oluşan stratosferik O<sub>3</sub>'den ayırt edilmelidir. Stratosfer tabakasında sera etkisinden dolayı azalır ve yeryüzüne yakın bölgelerde artar. Kloroflorokarbon gazlarının kullanımı ozon konsantrasyonunu etkiler. Normalde, UVB radyasyonu atmosferin alt katmanlarına ulaşır ve bazıları toprak yüzeyine sıkışır. Yüzey sıcaklığı arttığında biyolojik olarak zararlı etkiler görülür. Atmosferdeki ozon konsantrasyonundaki artış, iklim değişikliği üzerinde bir etkiye sahiptir.

**Aerosoller:** Aerosoller, gelen güneş radyasyonunun bir bölümünü yansıtır ve absorbe eder. Aerosoller birkaç gün içinde atmosfere kolayca birikir ve yağmur ya da kar ya da havadan uzaklaşarak yayılır (bkz. Şekil 3.3).



**Şekil 3.3.** Sera etkisi [www.qa-international.com](http://www.qa-international.com)

Tablo 3.2. İklim değişikliği ile ilgili gelişmelerin zaman çizelgesini göstermektedir.

**Tablo 3.2.** İklim değişikliği ile ilgili gelişmelerin zaman çizelgesi ([www.britannica.com](http://www.britannica.com))

Yıl	Eylem
1896	Svante Arrhenius atmosferik CO <sub>2</sub> 'nin etkisinin ilk iklim değişikliği modelini oluşturur.
1920-1925	Büyük ölçekli petrol gelişiminin başlangıcı Texas ve Basra Körfezi petrol sahalarının açılması ile başlar.
1957	Roger Revelle ve Hans E. Suess, okyanuslar tarafından CO <sub>2</sub> emilimini inceleyen bir makalede

---

	"insan büyük bir jeofizik deney gerçekleştiriyor" yazar.
1960	Amerikan iklim bilimcisi Charles David Keeling tarafından geliştirilen eğri atmosferik CO <sub>2</sub> konsantrasyonunu izlemeye başlar.
1973	İlk petrol krizi.
1974	Klor kimyasallarının ozon tabakasının delinmesine karıştığına dair ilk kanıt yayınlanır.
1979	İkinci petrol krizi
1980	Keeling eğrisi: 1980 yılı CO <sub>2</sub> konsantrasyonu =337 ppm.
1990	İlk Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), gelecekteki ısınmanın muhtemel olduğunu işaret ederken geçmiş ısınmanın kalıplarını belirtir.
1992	Rio Birleşmiş Milletler konferansı, BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ni oluşturmaktadır.
1997	Kyoto Protokolü sanayileşmiş ülkelerden gelen sera gazı emisyonlarını sınırlamak amacıyla yapılmıştır.
2000	Keeling eğrisi: 2000 yılı CO <sub>2</sub> konsantrasyonu =367 ppm
2001	Üçüncü IPCC Raporunda, GHC emisyonlarından kaynaklanan ısınmanın muhtemel hale geldiği belirtilir.
2005	Kyoto Protokolü yürürlüğe girer. ABD dışında tüm büyük sanayileşmiş ülkeler imzalar.
2006	Çin, dünyanın en büyük GHG yayıncısı haline gelir.

---

---

2007	Dördüncü IPCC Raporu, küresel ısınmanın etkilerinin olduğunu kaydeder.
2011	Kanada, Kyoto Protokolünden çekilir.
2014	Keeling eğrisi: 2015 yılında CO2 konsantrasyonu = 400 ppm
2015	Paris İklim Anlaşması Kyoto Protokolünü değiştirerek yaklaşık 200 ülke tarafından imzalanır.
2016	Paris İklim Anlaşması yürürlüğe girer.

---

### 3.3.2 Küresel ısınmanın çevresel sonuçları

Küresel ısınma ve iklim değişikliği, ekosistemi ve dolayısıyla bitki, hayvan ve diğer yaşam biçimlerinin biyolojik çeşitliliğini etkileyen yeryüzü hava sıcaklıklarını değiştirme potansiyeline sahiptir. Tahminlere göre, 21. yüzyılın sonlarında Avrupa'da ortalama sıcaklık 2.3-6.0 °C artacak ve bu da büyük miktarda bitki ve hayvan türlerinin yokolmasına ve ciddi insan sağlığı problemlerine yol açacaktır (IPCC, 2007). Birçok bölgede yüzey ısınması, ağaçların erken yaprak üretimi, bitki örtüsünün erken yeşillenmesi, yumurtlama ve kuluçka zamanlamasının değişmesi, kuşların, balıkların ve diğer göç eden hayvanların mevsimsel göç şekillerinde kaymalar gibi kontrol dışı değişikliklere neden olabilir. Yüksek enlemlerinde ekosistemlerde, mevsimsel deniz buz patenlerindeki değişimler kutup ayısı ve yırtıcı gibi predatörleri tehdit eder; her iki tür de av faaliyetleri için kırılmış deniz buzuna güveniyor.

İklim değişikliğine bağlı olarak hava sistemleri değişecek su, hava, ürün kalitesi ve miktarı, ekosistem, tarım ve altyapı problemleri ortaya çıkacaktır. Küresel ısınmanın etkileri deniz seviyesinin yükselmesi, mevsimlerin değişmesi ve ekosistemlerin bozulmasıyla ters etki yapabilir. Bazı bölgelerde daha uzun, ciddi kuraklık ve çölleşme etkili olabilirken, kasırga şiddeti ve sıklığı, küresel ısınmaya bağlı olarak dünyanın bazı bölgelerinde artabilecektir. Sıcaklıkların kışın, ilkbaharın ilk gelişinde, ertelenmiş sonbaharda ve hayvan göç dönemlerinde artması beklenmektedir. Bu değişikliklere dayanamayan bitki ve hayvan türleri de azalabilir veya tamamen yok olabilir.

### **3.3.3 Küresel ısınmanın sosyoekonomik sonuçları**

Dağ buzullarında ve karda depolanan temiz su miktarının azalacağı ve böylece dünya nüfusunun yüzde 15'inden fazlasının tatlı sudan yararlanamayacağı öngörülmektedir. Ek olarak, sıcaklık, göller üzerindeki etkileri ve nehirlerde biyolojik faaliyetler yoluyla su kalitesi üzerinde olumsuz bir etki yapacak ve bu da içme ve çiftçilik için güvenli su kaynaklarına daha da az erişim sağlayacaktır. Örneğin, daha sıcak sular insanlara sağlık riskleri oluşturabilecek hoş olmayan alg patlamalarına neden olur.

## **3.4 Ozon tabakasının incelenmesi**

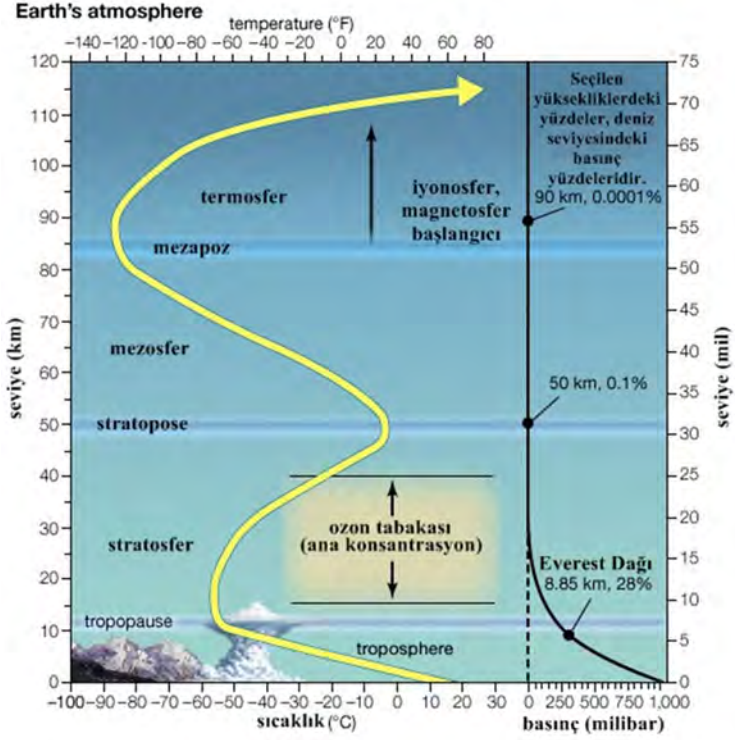
Ozon iki ayrı tektonik levha olan troposfer ve stratosferde en fazla bulunur. Stratosferdeki stratosfer ozonu doğal olarak Dünya yüzeyinden 10-45 km yukarıda bulunur ve atmosferdeki toplam ozonun% 90'ını

oluşturur (bkz. Şekil 3.4). Güneşten zararlı ultraviyole ışınımı tutması nedeniyle hayati önem taşımaktadır. İkincisi, insanlar tarafından üretilen ve yerden yaklaşık 10-15 km yukarıda olan ve atmosferdeki toplam ozonun% 10'unu oluşturan troposferik ozon (endüstriyel atıklar, egzoz gazı vb.). Troposferik ozon, küresel iklim değişikliğinde rol oynayan sera gazları arasında dördüncü sırada yer alır. Uzun dalga boyundaki radyasyon atmosferde kalır ve atmosferdeki sera etkisi artar. Küresel iklim değişikliğinde sera etkisine katkısı% 7'dir. İnsan sağlığını olumsuz etkiler. Atmosferdeki diğer moleküllerle reaksiyona giren ozon, bitki ve hayvanların canlı dokularına çeşitli zararlar verir. Kötü huylu ozonun kaynaklarından biri olan azot oksitler ( $NO_x$ ) ağırlıklı olarak motorlu taşıtlar (%49), enerji santralleri (%28), endüstriyel faaliyetler (%13) ve ticari faaliyetlerden (%5) oluşmaktadır. Stratosferdeki ozon, öncelikle oksijen molekülleri ( $O_2$ ) arasındaki kimyasal bağların yüksek enerjili güneş fotonları tarafından fotodisosiasyon denilen süreçle kırılması sonucunda oluşur. Fotodisosiasyon nedeniyle salınan tekli oksijen atomları daha sonra oksijen molekülleri ile birleşerek ozon oluştururlar.

Stratosferdeki ozonun özelliği, tüm canlıları, doğal kaynakları ve tarım ürünlerini olumsuz etkileyen ultraviyole (UV) ışınları emmesidir. Stratosferdeki ozon miktarı, ozon moleküllerini gezegenin etrafında hareket ettiren kimyasal işlemler, rüzgarlar ve diğer ulaşım süreçlerinin bir sonucu olarak doğal olarak yıl boyunca değişir. Ozon yoğunluğunun ultraviyole ışınları tutamayacak kadar düşük olması "ozon tabakası delinmesi" veya "ozon tabakasının tükenmesi" olarak

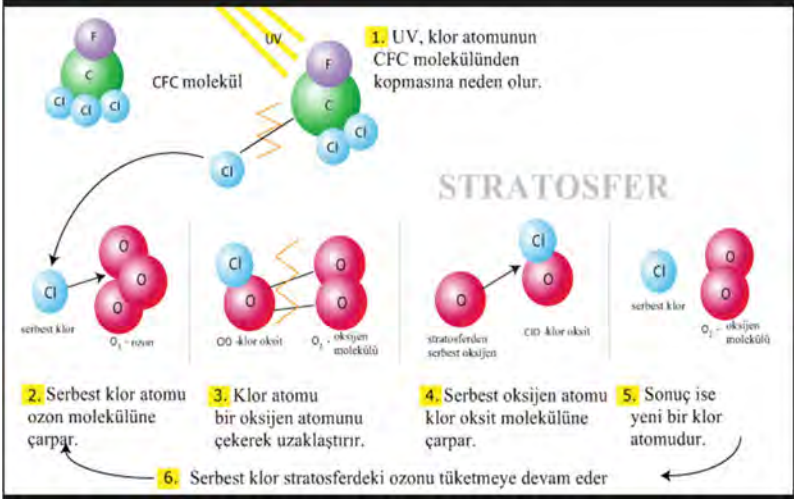
adlandırılır. Ozon tabakasının incelmesinin bir sonucu olarak; UV-b radyasyonu artmakta ve insanların başışıklık sistemleri zarar görerek görme bozukluklarına ve cilt kanserine neden olmaktadır.

İnsan faaliyetleri, on yıllar boyunca ozon tabakasını büyük ölçüde değiştirdi. Stratosferdeki klor ve brom miktarındaki artış, ozon tabakasının tükenmesini uyarır. Bu kimyasallar, UV radyasyonu ile kloroflorokarbonlardan (CFC'ler) ve diğer halokarbonlardan (karbon-halojen bileşiklerinden) sıyrıldıktan sonra tekli oksijen atomlarını ozon moleküllerinden sıyrarak ozonu yok eder. Tükenme o kadar geniş ki, bahar mevsimlerinin başlangıcında kutuplar üzerinde ozon delikleri oluşur. Daha sonra klor atomları ozon ile tepkimeye girerek tek bir klor atomunun binlerce ozon molekülünün oksijene dönüşmesine neden olan bir işlem başlatır (bkz. Şekil 3.5).



Şekil 3.4. Ozon tabakası (<https://www.google.com.tr/search?q=ozone+destruction+mechanism>)



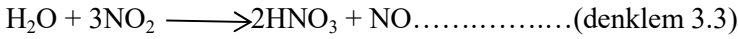
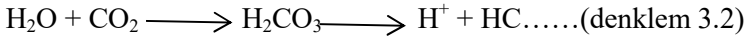
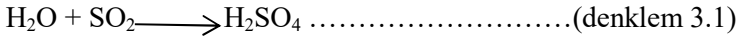


**Şekil 3.5.** Ozon tükenme mekanizması (<https://www.google.com.tr/search?q=ozone+destruction+mechanism>)

### 3.5 Asit yağmuru

Termik santrallerde, ısıtma ve sanayi kuruluşlarında kullanılan kömür atmosferik kül (kadmiyum, çelik, kurşun),  $CO_2$  ve  $SO_2$  yayar. Kömür ve petrolün tüketimi tüm dünyada artmaktadır. Artan sayıda araç, aynı zamanda, petrol tüketimi nedeniyle atmosferdeki karbon monoksit gazını da artırır. Volkanlar ayrıca atmosferdeki  $SO_2$  ve  $CO_2$  gibi gaz miktarını da artırır. Hava kirliliğine neden olan bu gazlar, atmosferdeki suyla reaksiyona girer ( $H_2O$ ). Denklemler 1 ve 2'de verilen reaksiyonlar ile sırasıyla  $H_2SO_4$  (sülfürik asit),  $HNO_3$  ve  $HCO_3$  (karbonik asit) gibi asidik bileşikler oluşur. Yağmursuyunun doğal asiditesini arttıran nitrik oksit (NO), yıldırımlar ile azot

ve oksijen reaksiyonu ile oluşur. Buna ek olarak, otomobil motorlarında yüksek sıcaklıkta hava yakılması meydana gelir ve santraller büyük miktarda NO gazı üretir. Havada NO, azot dioksit (NO<sub>2</sub>) 'ya yükseltilir ve su ile reaksiyona girerek nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) elde edilir (Denklem 3). Bu tür gazlar yağmur, kar veya sis gibi asidik özelliklere sahip olarak dünyaya ulaşır ve buna asit yağmuru denir.



Asit birikimi, kurak dönemlerde peyzajı etkileyebilecek asitli parçacıkların ve gazların kuru depolanmasını da içerir. Asit yağmurlarının hasarı ormanlarla sınırlı değildir, canlıları, demiryollarını, binaları, köprüleri ve tarihi kalıntıları da etkiler. Fosil yakıt yanma reaksiyonunun sonucu olarak atmosferik sera etkisine yol açan CO<sub>2</sub> emisyonu 1990'da 0.6 milyar ton/yıl, özellikle son 40 yıldaki önemli bir artışla 1998'de 5.5 milyar ton/yıla ulaştı.

Hava kirliliği, ışınların yerlere ulaşmasını ve atmosfere yayılmasını önleyerek iklim üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Asit yağmuru, yapraklarda klorofil bozunmasına neden olur ve bitkiyi sarı ve kuru hale getirir. Bilindiği gibi, bitkiler fotosentez sırasında CO<sub>2</sub> tüketirler. Asit yağmuru bitki örtüsünü kurutur öte yandan atmosferdeki CO<sub>2</sub> miktarını artırmak için ortamı ayarlar.

### 3.5.1 Asit yağmurunun çevresel etkileri

Atmosferik kirleticiler rüzgar akımlarıyla kolayca taşınır. Bu nedenle asit yağmuru, çok geniş bir alanı kirleticilerin üretildiği yerden bile uzakta etkileyebilir (bkz. Şekil 3.6). Asit yağmuru, çevresel etkileri ile bir takım inorganik ve biyokimyasal reaksiyonları tetiklediğinden, dünya çapında artan bir çevresel problemdir. Asit yağmuru tüm çevre için zararlıdır, ancak ormanlar ve tarım alanları en çok etkilenen bölgelerdir. Bu yağmurlar, toprak yapısında magnezyum ve kalsiyum gibi bitki büyümesi için önemli elementleri yıkar ve derine inmelerine neden olur. Sonuç olarak, ağaçlar ve diğer bitkiler topraktan mümkün olduğu kadar yararlanamazlar. Bu minerallerin topraktan kaybı ağaçları öldürebilir ve mahsullere zarar verebilir. Ayrıca toprakta alüminyumun çözünmesine ve ağaç köklerinin besleyicilerden yararlanmasına engel olur.

Asit yağmurları yapraklarda su dengesine neden olan sitoplazmanın asitleşmesine neden olur, bu da yaprakların stomalarından girer. Ağaçlar ve ıspanak gibi yapraklı sebzelerde,  $SO_2$  yaprak yüzeyini plastik bir kapakta kapatır ve fotosentezi engeller. Bunun sonucu olarak su kaybolur ve yaprak sonunda ölür. Buna ek olarak, ağacın üst kısımları zamanla zayıflar rüzgar perdesi görevini yapamaz. Böylece, ağaçların yeşil sürgünleri büyüyemez, kurur, dökülür, çiçek ve meyve veremez. Toprağa düşen asit yağmuru topraktaki pH dengesini bozduğunda toprak mikroorganizmaları bu durumdan olumsuz etkilenir ve bu nedenle faaliyetlerini sürdüremeyecekleri için hayatta kalamazlar (Kızıloğlu T., 1995).

Asit yağmurları havuzlara ve nehirlere düşer, sudaki asit dengesini bozar ve balıkları etkiler. Asitli ortamda balık artık yaşayamaz. Balıkların bu duruma etkisi de besin zinciri boyunca bizi etkiler.

Asit yağmuru yeraltı, yüzey ve içme sularına nüfuz eder, topraktaki ağır metallere etkileşir ve balıklara ve bitkilere tepki verir. Bu gıdalarla beslenmenin sonucu olarak, gastrit, ülser, kronik bronşit, astım ve amfizem gibi hastalıklar asit vücudun depolanmasına bağlı olarak insan vücudunda ortaya çıkar (Kızıloğlu T., 1995).



**Şekil 3.6.** Asit yağmurunun Great Smoky Dağ Ormanlarına etkisi <https://www.google.com.tr/search?q=Effect+of+acid+rain+on+Great+Smoky+Mountains>

Asit yağmuru içme suyumuzun kirlenmesine neden olur. İçme suyu olarak kullanılan küçük bir gölün pH sınırın

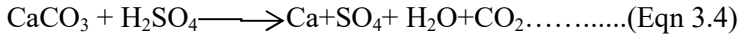
düşük olması ve asit yağmurunun düşmesi durumunda asit oranı artar ve içilmez olur. Bu nedenle, yağmurlar gelecekte temiz, içilebilir su kaynaklarının tükenmesine neden olabileceğinden, asit yağmurunun çevresel zararı göz ardı edilmemelidir.

Asit yağmuruna neden olan zararlı gazlar, nefes aldığımız havada oldukları için çeşitli solunum sistemi hastalıklarına neden olur. Asit yağmurları deriyle temasa girerse, cilt kanseri gibi rahatsızlıklara neden olabilir. Havadaki sülfat solunumla alınır ve bronşit, astım, kanser gibi çeşitli hastalıklara neden olur.

### **3.5.2 Asit yağmurunun taş binalara ve anıtlara etkisi**

Asit yağmurlarının aşındırıcı özellikleri vardır. Çevredeki binalar, heykeller ve hatta tarihi eserler, asit yağmuru ile temasa girdiklerinde erozyon nedeniyle tahrip olurlar. Asit yağmurundaki asit içeriği yüksekse, en sert kayalar bile aşınabilir. Kalsiyum karbonat formları olan mermer, kireç ve granit gibi taş işçiliği, tarihi eserler inşasında kullanılır. Mermer ve kireçtaşı, yalnızca kristal yapısında farklı olan kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) 'dan oluşur. Tarihi eserler mermer, kalker ve kalkerli kumtaşı gibi taşlardan yapılmıştır. Bunlar oldukça dayanıklı malzemeler olarak kabul edilmesine rağmen, mermer ve kireç taşından yapılmış binalar ve dış mekan anıtları artık asit yağmuru ile giderek aşınıyor. Kumtaşı içerisindeki kum parçacıkları kalkerli bir madde ile birlikte bulunması nedeniyle asit parçacıklarının yağış ve yağış etkisiyle kum parçacıklarının zamanla dökülmesi gözlenmiştir.

Asit yağmurunun ana bileşeni olan ile sülfürik asit ve kalsiyum karbonat arasındaki kimyasal reaksiyon (Denklem 4) ile CaCO<sub>3</sub>'ün çözünmesini sağlar. Bu iyonlar su akışında yıkanır (www.chemistry.wustl.edu)



Yağışın pH'sı, yağış süresi ve çevrenin sıcaklığı da, tarihi eserlerin asit yağmurdan etkilenmesinde önem taşımaktadır.

### Referanslar

IPCC (2007), Climate Change 2007: Synthesis report. Intergovernmental Panel on Climate Change, 4. Değerlendirme Raporu , ISBN 978-92-9169-143-2.

Kızıloğlu, T. (1995). Toprak Mikrobiyolojisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yay. no: 180, Erzurum.

Web sayfası (2017) veri çekilen sayfa <http://www.electricaleasy.com/2015/08/thermal-power-plant.html>

Web sayfası (2017) veri çekilen sayfa [www.britannica.com](http://www.britannica.com)

Web sayfası (2017) veri çekilen sayfa [www.qa-international.com](http://www.qa-international.com), created and produced by QA International

Web sayfası (2017) veri çekilen sayfa [www.chemistry.wustl.edu](http://www.chemistry.wustl.edu)

Web sayfası (2017) veri çekilen sayfa <https://www.google.com.tr/search?q=ozone+destruction+mechanism>

Web sayfası (2017) veri çekilen sayfa <https://www.google.com.tr/search?q=Effect+of+acid+rain+on+Great+Smoky+Mountains>

**BÖLÜM 3**  
**KONVANSİYONEL ENERJİ ÜRETİM**  
**SİSTEMLERİ VE ÇEVRESEL ETKİLERİ:**  
**TERMİK SANTRALLER**

Sorular ve cevaplar

**1. Hangisi termik santrallerin birincil yakıtlardan değildir?**

- a. petrol
- b. kömür
- c. doğal gaz
- d. biyogaz

**Cevap: d**

**2. Hangisi termik santrallerdeki enerji çevriminin doğru sıralamasıdır?**

- a. Kimyasal enerji – Mekanik enerji – Elektrik enerjisi
- b. Mekanik enerji – Kimyasal enerji – Elektrik enerjisi
- c. Rüzgar enerjisi – Mekanik enerji – Elektrik enerjisi
- d. Güneş enerjisi – Elektrik enerjisi – Mekanik enerji

**Cevap: a**

**3. Aşağıdakilerden hangisi termik güç üretiminin olumsuz etkilerinden değildir?**

- a. CO<sub>2</sub> emisyonu
- b. Megawat başına daha az alan ihtiyacı
- c. asit yağmuru
- d. su kirliliği

**Cevap: b**

**4. Ozon tabakasının incelmesinden hangi kimyasallar sorumludur?**

- a. sikloalkinler
- b. alkoller
- c. kloroflorokarbonlar
- d. polimerler

**Cevap: c**

**5. Atmosferdeki sera gazları, ısının uzaya kaçmasına engel olabilir ve dünya yüzeyinde çok fazla ısıya neden olarak aşağıdakilerden hangisine sebep olur?**

- a. yeni bir buz devri
- b. asit yağmuru
- c. volkanik patlamalar
- d. küresel ısınma

**Cevap: d**



## BÖLÜM 4

### NÜKLEER GÜÇ SANTRALLERİNİN EKOLOJİK ETKİLERİ

**Bölüm yazarları:** Feriha YILDIRIM ve A. Gamze Yücel  
IŞILDAR

Gazi Üniversitesi, Fen Bil. Ens. Çevre Bilimleri ABD,  
Teknikokullar 06500 Ankara  
e-mail: [ferihayildirim@gmail.com](mailto:ferihayildirim@gmail.com)

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Fen Bil. Ens. Çevre Bilimleri ABD,  
Teknikokullar 06500 Ankara  
e-mail: [akarakoc@gazi.edu.tr](mailto:akarakoc@gazi.edu.tr)

**Özet:** Günümüzde artan enerji talepleri, ülkelerin fosil yakıtları kullanmalarını sağlamakta ve ucuz ve kolay erişilebilir olmaktadır. Bununla birlikte, fosil yakıtların neden olduğu sera gazları (özellikle CO<sub>2</sub> emisyonları) iklim değişikliğini hızlandırmaktadır. Son 60 yıldır 31 ülkede nükleer güç reaktörleri (NGR) sayısı 441'e çıkmıştır. Bu nedenle, alternatif enerji kaynağı olarak son yıllarda nükleer güç reaktörleri sayısı artmıştır. Nükleer enerji, küresel ısınmayla ilgili artan bir endişe olduğu için elektrik enerjisi üretimi için potansiyel bir alternatif olarak yeniden canlanma yaşamaktadır. Bununla birlikte, son 60 yılda yaklaşık 100 nükleer kaza meydana geldi, Bunlardan bazıları çevre konusunda ciddi etkiye sahipti. Bu doğrultuda, nükleer santrallerin ekolojik etkileri bakımından değerlendirilmesi

gerekiyor. Bu bölümde; NGR'lerin avantajları ve dezavantajları kısaca verilmektedir. Tüm aşamaların (beşikten mezara kadar) ekolojik riskleri; uranyum madenciliği, zenginleştirme, nükleer yakıt çevrimi; reaktördeki prosesler, radyoaktif atıkların bertaraf edilmesi, reaktörün sökülmesi açısından tartışılacaktır. "Enerji verimliliği, iklim değişikliği, halk sağlığı, ekosistemler, biyoçeşitlilik, gelecek kuşaklar ve halkın katılımı" nükleer enerjiyi değerlendirmek için temel kriterler olarak alınırken, ekonomik, politik ve sosyal yönleri de göz önüne alınmıştır.

### **Öğrenme Hedefleri:**

Bu bölümün sonunda öğrenciler şunlar hakkında fikir sahibi olacaktır:

- NGR'lerin Avantajları,
- NGR'lerin dezavantajları,
- NGR'lerin riskli yönleri,
- Ekolojik yönlerden NGR'lerin değerlendirilmesi (iklim değişikliği, elde edilen enerji miktarı, ekonomik verimlilik, ekosistem, biyolojik çeşitlilik, güvenlik, toplum sağlığı, gelecek nesillerin hakları ve topluluğa katılım)

## **4.1 Giriş**

Günümüzde enerji arzının büyük bir kısmı fosil yakıtlara dayalı teknolojilerle üretilmektedir. Ancak fosil kaynakların yakın bir gelecekte (yaklaşık 150 yıl) tükenecek olması ve bunlardan çıkan sera gazlarının küresel iklim değişimine neden olması farklı enerji arayışlarını gerektirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artarken, bu alanlarda enerjinin sürekli olmaması, depolanamaması, yeterince verimli

olmaması gibi kısıtlar; “nükleer enerji”yi güçlü bir alternatif olarak gündemde tutmaktadır.

Nükleer; çekirdeksel, çekirdek ile ilgili anlamını ifade etmektedir (Collins-Metro, 1995). **Nükleer enerji**, atom parçacıklarının gösterdikleri zincirleme reaksiyonlar sonucu oluşan enerjidir. **Füzyon (birleşme)** ve **fizyon (parçalanma)** adı verilen iki temel reaksiyon sonucunda enerji açığa çıkar. Ağır radyoaktif maddelerin (**Uranyum**), nötron bombardımanına tutulması sonucu parçalanması (fizyon), ya da hafif radyoaktif maddelerin birleşmesi (füzyon) esnasında açığa çıkan bu enerji önemli ölçüde büyüktür. Nükleer enerji elde etmek için kullanılan santrallerde de temel prensip fizyon tepkimesi ile uranyum maddesinin parçalanması sonucu oluşan zincirleme reaksiyonlar ile elde edilen enerjinin kullanılmasıdır. (<http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/nukleer-alternatif-mi--nukleer-enerji-nedir-/4173#ad-image-0>)

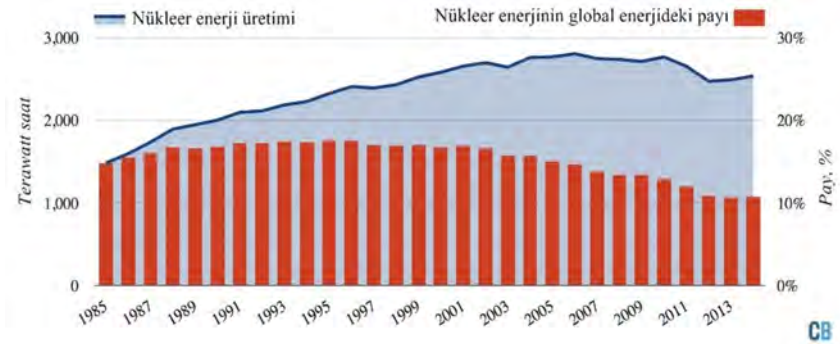


**Şekil 4.1.** Fizyon tepkimesi ve zincirleme reaksiyonlar

Terim dünyada ilk kez 2. Dünya Savaşı sırasında duyulmuştur. 6 Ağustos 1945 tarihinde Japonya'nın Hiroşima, 9 Ağustos 1945'de Nagazaki kentlerine atılan bombalarla ilgili çalışmaların başlangıcı 20. yy'ın başlangıcına kadar iner. Rutherford, Hans, Strassman,

Oppenheimer ve Einstein bu enerji kaynağı üzerinde ilk çalışan bilim adamları olmuşlardır (Karabulut, 1999).

Günümüzde dünya genelinde elektrik üretiminin %10,9'u nükleer santrallerden sağlanmaktadır. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın "Güç Reaktörü Bilgi Sistemi – Power Reactor Information System (PRIS)" verilerine göre 31 ülkede 441 nükleer reaktör işletme halindedir (15 Kasım 2015 itibarı ile). Çernobil faciasından 25 yıl sonra, küresel elektrik talebi iki katına çıkmasına rağmen, nükleer santral inşaatları azalmıştır (bkz. Şekil 4.2). Sonuç olarak, nükleerin toplam elektrik enerjisi payı 1996'da% 18 iken 2014'te %11'e düşmüştür. (<https://www.carbonbrief.org/mapped-the-worlds-nuclear-power-plants>).



**Şekil 4.2.** Küresel nükleer elektrik üretimi (mavi alan, sol eksen) ve nuclear's share of total world power generation (kırmızı barlar, sağ eksen). (BP Statistical Review of World Energy 2015 ve Carbon Brief analysis. Chart by Carbon Brief)

## Nükleer Enerjinin Avantajları

- Fosil yakıtların kullanılmaması ve sera gazı emisyonlarının olmaması,
- Kaynakları hızla tükenmekte olan fosil yakıtlara bağımlılığı azaltacak olması,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha verimli olması,
- Ülkelere stratejik ve politik güç sağlıyor olması (sadece enerji açısından değil, askeri amaçlar içinde kullanılabilir olması)
- Fosil yakıtlardaki fiyat değişimine göre ekonomik olarak daha durağan olması

## Nükleer Enerjinin Dezavantajları

- Kaza durumunda radyasyon riskinin yüksekliği ve insan dâhil tüm canlı türlerinde kuşaklar boyu sürecek olumsuz etkileri,
- Radyoaktif atıkların nihai bertarafı konusunda yaşanan büyük sorunlar
- Pahalı bir enerji olması,
- Kaynak ve teknoloji yönünden dışa bağımlılık yaratması,
- Yanlış yer seçimi durumunda olumsuz çevresel etkileri,
- -şletmeye alınma süresinin uzun, işletim ömrünün ise çok kısa olması

Nükleer enerji aslında **politik** bir tercihtir ve asıl tartışma siyasi bir tartışmadır. Ama nükleer felaketlerin yarattığı büyük insani trajediler nedeniyle tartışma **ahlaki** ve

**vicdani** bir yapıya da sahiptir (Caldicott, 2014) Dolayısıyla, nükleer enerjinin avantaj ve dezavantajlarını insan-doğa ilişkilerini içerecek şekilde **ekolojik** açıdan irdeleyerek daha bütüncül (holistik) bir bakış açısıyla değerlendirme yapmak önemli ve gereklidir.

Bu amaçla; öncelikle uranyum madenciliği, uranyum zenginleştirme, reaktörün işletilmesi, atıkların bertarafı, santralin sökümü gibi aşamalarda “**nükleer güç santrallerinin riskli yönleri**” incelenmiş, bunların yanısıra “**maliyet**” ve “**güvenlik**” konusu da yeniden sorgulanarak;

- Enerji verimliliği
- İklim değişimi
- İnsan sağlığı
- Ekosistemler ve biyoçeşitlilik
- Gelecek kuşaklar
- Halkın katılımı

konuları üzerinde ekolojik değerlendirmeler yapılmıştır. Bu değerlendirmeler, Avrupa Komisyonu tarafından hazırlanan *Extern-E Raporu*'nda (1995) belirtildiği gibi “daha akılcı enerji politikalarının üretilmesi için” araştırılması gerekli olan aşağıdaki maddelerle de uyum içindedir:

- Kullanılmış nükleer atıkların bertarafı ve geri kazanımına ilişkin risk analizi,
- Karbondioksit emisyonlarının karşılaştırılması,
- Radyolojik risk değerlendirmesi ve diğer ekonomik öngörülerini içerecek şekilde nükleer enerji risk faktörlerinin hesaplanması.

## **4.2 Nükleer Güç Santrallerinin Riskli Yönleri**

Nükleer güç santrallerinin güvenliği, dünyada bilim insanları arasında bile hala en çok tartışılan konulardan birisidir. Holistik bir bakış açısıyla olaya yaklaşabilmek için; bu santrallerin ekolojik değerlendirmesi yapılırken tüm aşamaların dikkate alınması ve risklerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle “uranyum aramaları, kullanılmış yakıtın depolanması, atık olarak işlem görmesi veya kullanılmış yakıtın yeniden işlenerek tekrar yakıt olarak kullanılması ve yeniden işlenmesi sonucu ortaya çıkan atıkların işleme tabi tutularak gömülmesi, reaktörün ömrünü tamamlaması ve sökülmesi aşamalarındaki risk faktörleri ve muhtemel çevresel (ekolojik) etkileri tartışılacaktır.

### **4.2.1 Uranyum madenciliği**

Uranyumu hammaddeye dönüştürebilmek için, uranyum ihtiva eden kayalar çıkarılarak parçalanır ve çeşitli fiziksel-kimyasal işlemlerden geçirilerek içinde uranyum elementi bulunan bir çözelti elde edilir. Daha sonra da bu çözelti uranatlar halinde çöktürülür. Bu işlemler sırasında iş makinelerinden çıkan az miktarda egzoz gazı çıkışı ve buna bağlı olarak “sera etkisi” mevcuttur. İlâveten çok az miktarda radyoaktivite yayılımı söz konusu olmaktadır.

### **4.2.2. Uranyum zenginleştirme**

Uranyum cevheri çıkarıldıktan sonra santralde kullanılabilmesi için “zenginleştirme” işlemine tabi tutulmaktadır. Ancak buradaki risk, zenginleştirme

sırasında “nükleer silah” yapımının mümkün olabilmesidir. Bu ise, bazı ülkelerin nükleer silahlanmaya özenmesine ve böylece nükleer silahların yaygınlaştırılmasına yol açabilmektedir (proliferasyon). Nükleer silahların kullanılması durumunda, sadece o bölgede değil çok daha geniş bir coğrafyaya yayılan ve çok uzun yıllar boyunca varlığını sürdüren radyoaktif parçacıklar oluşmaktadır.

#### **4.2.3.Reaktörün işletilmesi**

Dünyadaki tüm nükleer santraller genellikle fizyona dayalı olarak çalışır. Bu reaksiyon sonucu oluşan enerji daha sonra ısıya dönüştürülür. Bu ısı ile sistemdeki su kaynatılır ve buhar elde edilir. Elde edilen buhar yüksek basınç altında türbine gönderilir. Türbin dönme işlemini yaparken kendisine bağlı olan elektrik jeneratörünü de döndürünce enerji elde edilir. Tüm bu işlemler çok fazla mekanik parçası olan (50.000 civarında) ve bunların herbirinde fonksiyon bozulması (arıza) ihtimali olan bir sistemde gerçekleşmektedir. Bu ise radyasyon sızıntısını arttırıcı bir risk faktörüdür (Kurokawa vd., 2011). Örneğin soğutma sistemlerinin arızalanması ve bunun sonucunda fazla ısınma (çekirdek erimesi) nükleer santrallerde radyasyon yayılımına neden olabilecek en ciddi tehditlerden biridir.

Nükleer güç santralleri ile ilgili çeşitli tartışmalarda “kaza riski”, yüksek teknoloji ve emniyet tedbirleri nedeniyle düşük bulunmaktadır. Fakat bir kaza durumunda yaratacağı etkinin ise çok büyük olacağı belirtilmektedir (Erdösemeci, 2014). Nükleer santral



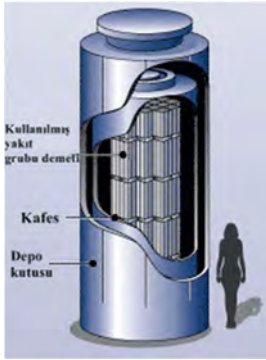
kazaları sonuçlarına göre bir skalaya tabi tutulduğunda 1'den (en hafif etkili) 7'ye (en ağır etkili “majör” kaza) kadar derecelendirilmektedir (IAEA and OECD/NEA, 2008). Ancak; “risk düşük” denildiği halde 60 yıllık kısa nükleer santral tarihinde bugüne kadar dünyada 99 nükleer santral kazası gerçekleşmiş olup, bunlardan 2 tanesi 7. seviyede “majör kaza”, 2 tanesi 6. seviyede “ciddi kaza”, 1 tanesi 5. seviyede “offside riskler” (tesis dışı riskleri olan kaza) niteliğindedir (Kurokawa et al, 2011). 2011'de Japonya'daki Fukuşima, 1986'da Ukrayna'da Çernobil, 1979'da Pensilvanya'da Three Mile Island bilinen en büyük ölçekli “çekirdek erimesi” kazalarıdır. 1952-2011 yılları arasında, 4 nükleer santralde büyük ölçekli çekirdek erimesi, 10 reaktörde ise daha küçük ölçekli erime olmuştur. Sovyet ordusuna ait 8 denizaltıda da (1961-1985) yine çekirdek erimesi ve radyasyon sızıntısı meydana gelmiştir. Japon hükümet işletmede olan 54 reaktörden 50 tanesini Fukuşima kazasından sonra kapatmıştır (ancak bu reaktörler yakında açılacağı varsayımıyla halen “işletmede” olarak listelenmektedir ve IAEA listelerinde de böyle görünmektedir). Benzer şekilde Almanya Fukuşima kazasından sonra 18 reaktöründen 8'ini hemen kapatmış ve geride kalanları da 2022'ye kadar kapatacağını ilan etmiştir. İtalya, ülkedeki 4 nükleer reaktörünü 1986'daki Çernobil kazasından sonra kapatırken, Avusturya yeni inşa edilmiş bir santralini hiç çalıştırmadan kapatmıştır.

#### **4.2.4. Atıkların bertarafı**

Radyoaktif atıklar sahip oldukları radyoaktiviteye göre düşük, orta ve yüksek seviyeli atıklar olarak

sınıflandırılırlar (IAEA, 1995). Nükleer güç reaktörlerinde oluşan atıklar 'yüksek seviyeli atıklar' olup, tüm radyoaktif atıkların hacimce % 3'ünü, radyoaktivite yönünden ise % 95'ini oluştururlar; buna ilaveten yarılanma ömürleri de son derece uzundur (örneğin Pu 239'un yarılanma ömrü 24 065 yıldır). Nükleer atık yönetimi iki aşamada gerçekleştirilebilir.

**a)Yeniden işleyerek hacminin ve radyoaktivitesinin azaltılıp, daha sonra depolanması:** Yeniden işleme oldukça pahalı bir teknoloji olup, bunun yanı sıra bir de güvenlik tehditi oluşturmaktadır. Örneğin 1GW'lık bir reaktör yılda 240 kg plutonyum üretmekte olup, bu miktar 20 nükleer silah için yeterlidir.



**Şekil 4.3** Beton veya çelik yapılara sahip dikey kutular (<https://www.nrc.gov/waste/spent-fuel-storage/diagram-typical-dry-cask-system.html>)

Bazı nükleer reaktörlerde, kullanılmış yakıt, Şekil 4.3 de gösterilen sistemlerde, reaktörün bulunduğu yerde depolanır. Kullanılmış yakıt soğutulduktan sonra, özel

kutulara yüklenir. Her bir kutu, montaj türüne bağlı olarak, yaklaşık 2-6 düzine harcanmış yakıt grubunu tutacak şekilde tasarlanmıştır. Suyu ve havası alınır. Kanister inert gazla doldurulur ve kapatılır (kaynaklı veya cıvatalı kapanır).



**Şekil 4.4** Yatay kutular (<https://www.nrc.gov/waste/spent-fuel-storage/diagram-typical-dry-cask-system.html>)

Bazı kutular neredeyse bir araba garajı büyüklüğündedirler ve gömme işlemi olmadan yüzeyde depolama yaparlar (bkz Şekil 4.4).

b) **Nihai depolama:** Nükleer güç santrali olan ülkelerde, üretim sonrası çıkan radyoaktif atıkların nihai depolanması için ulusal ve uluslararası bazı politikaların mevcut olması gerekmektedir.

Nükleer atıkların bertarafında en önemli konu, dünya yüzünde şu anda işletme aşamasında “yüksek düzeyli atık” kabul eden bir *nihai depolama tesisi* olmamasıdır; çünkü en az 250.000 yıl riskten uzak bölge olması zorunluluğu vardır (Altın ve Kaptan, 2006). Dünya

yüzünde işletmeye alınmaya en yakın “yüksek düzeyli atık” kabul edecek nihai atık tesisi, ABD’nin Nevada eyaletindeki Yucca Dağı’ndaki tesistir. Ancak 2009 yılında bu bölgedeki depolama işlemi durdurularak alternatif çözümler için bir komisyon oluşturulmuş ve bu soruna geçici bir çözüm olarak nükleer güç santrali sözleşmelerine, radyoaktif atıkların santral bünyesinde 20 yıl depolanması şartı getirilmiştir. Günümüzde yüksek seviyeli radyoaktif atıklar; Carlsbad-New Mexico’da, düşük seviyeli radyoaktif atıklar ise; Barnwell-South Carolina, Richland-Washington, Clive-Utah, Oak Ridge-Tennessee, bölgelerinde depolanmaktadır (World Nuclear Association, 2014).

Bu yaşananlar nükleer atıkların coğrafi olarak nereye gömüleceği konusunda emniyetli yer bulmanın ve bunları sızdırmayacak şekilde izole ederek gömmenin dünya ölçeğinde hala çözümlenememiş çok önemli bir problem olduğunu göstermektedir. Bu nedenle risk gelecek nesillere aktarılmaktadır.

Nükleer atıklar için yer bulmanın son derece zor olduğu bir dünyada ortaya çıkan bir başka sorun ise “*tehlikeli atıkların sınır dışı ihraç edilmesi*”dir. Gelişmiş ülkeler radyoaktif atıklarını, 3.Dünya ülkelerine göndermektedirler. Bu bölgelere gönderilen birçok atığın akibeti meçhul olup, hem o ülke için hem de dolaylı yoldan (ekosistemler bir bütündür) diğer ülkeler için tehlike saçmaya devam etmektedirler.

#### 4.2.5 Santralin sökümü

Nükleer güç santralleri genellikle 30-40 yıllık bir işletme için tasarlanırlar. Bu mrn uygun yönetim programları ve yeni teknolojik gelişmelerle en fazla 60 yıla kadar uzatılması mümkündür. Ömrünü tamamlayan nükleer santrallerin söküm maliyeti çok yüksek bedellere ulaabilmekte ve radyasyon sızıntı riski ortaya çıkmaktadır. Santralin ekonomik ömrü bittiğinde, parçaların sökümü ve bertarafının masrafı, toplam maliyetin %10-15'i kadar olmaktadır olmaktadır (rneğın Almanya'da 1200 MWe gücündeki standart bir santralin sökümü ve yeşil alana dönüştürülmesi 400 milyon Euro civarında olup bu ilk yatırım maliyetinin yaklaşık % 20'si kadardır. Fransa'da 900 MWe gücündeki bir nükleer santralin sklme maliyeti ilk yatırım maliyetinin %15'idir) (World Nuclear Association, 2014). Burada vurgulanması gereken nokta; bu masrafın önce iletmeciye, işletmeci tarafından da dolaylı olarak halka yansıtılmasıdır.

#### 4.2.6 Maliyet

Nükleer enerji sistemlerinin maliyeti Şimdiye kadar politikacılar ve aratırcılar tarafından hep olduğundan az gösterilmiş ve *“toplum ve evre üzerindeki etkilerin maliyeti”* ya hiç hesaba katılmamış ya da göz ardı edilmiştir. Çok uzun bir inşaat süresi olan nükleer santrallerin tüm ömrü boyunca harcama giderleri %60 üretim, %20 yakıt ve %20 bakım onarım Őeklinindedir. Bir fabrikanın ömrü boyunca ne kadar elektrik ürettiğinin maliyeti içinde; ilk yatırım, yakıt, bakım onarım, atık

bertarafı, ömrü tamamlanınca devreden çıkarma gibi hususlar ön plana çıkmaktadır. Ancak aşağıdaki maliyetler adeta gizli kalmakta ve hesaplara katılmamaktadır;

- Diğer enerji sistemleri ile karşılaştırılması ve AR-GE çalışmalarını içeren maliyetler,
- Nükleer atıklar ve devreden çıkarma ile ilgili uzun dönemde ortaya çıkacak sorunların maliyeti,
- Güç santralının yapılacağı arazinin değer kaybı, turizm gelirlerinin kaybı,
- Nükleer kazalardan sonra ortaya çıkan radyasyonun insan, toplum ve doğal çevre üzerindeki etkilerinin maliyeti (Örneğin radyasyona bağlı hastalıkların tedavi giderleri, işgücü kaybı, üretimde düşüş, tarımsal alanların ve ekosistemlerin tahribi, içme suyu kaynaklarının kirlenmesi gibi harcamalar vardır.

Bunlara ilaveten; çok yüksek ilk yatırım maliyeti, uzun inşaat süresi (10-12 yıl), santral ömrünün çok kısa olması (50-60 yıl) gibi olumsuz özelliklerin mevcudiyeti de unutulmamalıdır. Maliyetin büyüklüğü ve kuşaklar boyunca radyasyona maruz kalma ihtimali düşünüldüğünde, bu kadar kısa ömrü olan bir enerji santralının verimliliğinin ve güvenilirliğinin yeniden sorgulanması gerekmektedir (Extern-E, 1995).

#### **4.2.7. Savaşta Hedef Olarak Nükleer Santraller ve Terör**

Ülkeler birbirleriyle savaşa girerlerse, diğer ülkeyi uzaktan vurmak için (eğer varsa) nükleer güç santrallerini hedef seçebilirler. Ayrıca, nükleer güç santralleri, eğer

güvenlik açığı oluşursa, ulusal ve uluslararası teröre ve sabotaja açık bir hedef haline de gelebilir.

Nükleer enerjinin avantajları bölümünde de açıklandığı gibi, fosil yakıtla çalışan santrallerin aksine, nükleer reaktörler çalışırken hava kirliliği veya karbon dioksit üretmez. Ancak; bununla birlikte, uranyum cevheri madenciliği ve arıtılması ve reaktör yakıtının hazırlanması işlemleri büyük miktarda enerji gerektirmektedir. Nükleer enerji santralleri, büyük miktarda metal ve beton da üretmektedir. Eğer fosil yakıtlar uranyum cevheri madenciliği ve arıtılması için kullanılıyorsa ya da nükleer santrali kurarken fosil yakıtlar kullanılıyorsa, bu sırada çıkan emisyonlara rağmen, nükleer santrallerin iklim değişikliğine neden olmadığını söylemek mümkün müdür? Tartışılır..

### **4.3 Ekolojik Yönden Nükleer Güç Santrallerinin Değerlendirilmesi**

Bir yanda etkileri birebir hissedilmeye başlanan küresel ısınma problemi ve giderek artan enerji ihtiyacı, diğer yanda ise nükleer güç santrallerinin taşıdığı büyük riskler (her ne kadar az olduğu iddia edilse de) bir ikilem yaratmakta olup, çevre etiği açısından “hangi değerlerin” bizim için daha önemli olduğunun tartışılmasını ve karara bağlanmasını gerektirmektedir. Buradan hareketle, Tablo1 oluşturulmuş ve etik açıdan temel olarak (ahlaki evren) **iklim değişikliği, elde edilen enerji miktarı, ekonomik verimlilik, ekosistem ve biyoçeşitlilik, atıklar, güvenlik, halk sağlığı, gelecek kuşakların hakları, halkın katılımı** gibi değerler ele alınarak, bunların ekolojik açısından nasıl etkilenebileceği (politik,

ekonomik ve sosyolojik boyutlarına da vurgu yapılarak) değerlendirilmiştir.

**Tablo 4.1** Nükleer güç santrallerinin özelliklerinin ekolojik açıdan değerlendirilmesi

<b>Ahlaki Evren</b>	<b>Ekolojik Açıdan Değerlendirme</b>
<b>İklim Değişimi</b>	<p>-Sera gazı emisyonu olmadığından, iklim değişikliğine katkısı yoktur ve mevcut santraller sera gazı salınımında %17 azalma sağlar.</p> <p>-Ancak dünyada daha fazla enerji ihtiyacı vardır ve bunun sağlanabilmesi için çok daha fazla sayıda nükleer santrale ihtiyaç olup, ekosistemler için her biri ayrı bir risk demektir.</p> <p>-Nükleer santraller yapılmaya devam etse bile, iklim değişimine neden olan diğer önemli bileşenler (egzoz gazları, orman ve otlak yangınları) azaltılmadıkça küresel ısınma sorunu çözülmeyecektir.</p>
<b>Elde Edilen Enerji Miktarı</b>	Enerji verimliliği yüksek ancak, risk faktörleri nedeniyle tercih edilebilir değil.
<b>Ekonomik Verimlilik</b>	Ekolojik değerlerin ikincil plana atılmasına ve zarar görmesine neden olur (ekoloji-ekonomi çatışması)
<b>Ekosistem ve Biyo-çeşitlilik</b>	-Ekosistem hizmetleri sekteye uğrayabilir (orman, su kaynakları, gıda kaynakları, hayvancılık vb)



	<p>Kaza durumunda;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Radyoaktif partiküller hava, rüzgar, su ile dağılarak (dispersiyon) farklı bölgelere ve hatta kıtalara taşınımı</li> <li>-Besin zincirinde radyoaktivite birikimi</li> <li>-İnsan dahil tüm canlı türlerinde kalıcı genetik deformasyon</li> </ul>
<b>Atıklar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Atıklardaki radyasyon son derece yüksek ve uzun yıllar boyunca (yüzbinlerce yıl) radyoaktivite devam etmekte.</li> <li>-Yüksek radyoaktif nitelikteki atıkların izolasyonu son derece pahalı olduğundan ekosistemler için güvenlik açığı oluşabilir.</li> <li>-Ekosistemler ve canlı türleri için güvenli olan (yüzbinlerce yıl süresince sızdırmaz) yer bulmak) yok denecek kadar az olduğundan güvenlik açığı var.</li> <li>-Ayrıca depremler ve tektonik hareketlerle şimdi güvenli sayılan yerin gelecekte riskli hale gelmesi mümkün.</li> </ul>
<b>Güvenlik</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Çok güvenli olduğu belirtilen yeni nesil nükleer santrallerde bile “insani hatalar” devreye girebilmekte</li> <li>-Büyük doğal afetler en güvenli nükleer santralleri bile tehdit etmekte</li> </ul>
<b>Halk Sağlığı</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Yeryüzündeki canlı türlerinden biri olan ve ekosistem bütünlüğünün bir parçası olan insanın doğayla uyumlu ve sağlıklı yaşaması önemlidir.</li> </ul>

	-Yeryüzündeki genetik mirasın önemli bir parçasını taşıyan insan neslinin genlerinin radyoaktiviteden etkilenip zarar görmemesi gerekir
<b>Gelecek Kuşaklar</b>	-Hem canlı türlerinin hem de insan türünün gelecek kuşaklarını etkileyebilecek genetik değişimler ve ekosistem bozulmaları riski ekolojik açıdan ihmal edilemez!
<b>Halkın Katılımı</b>	-Özellikle yerli halkların kendi bölgeleri üzerinde ya da yakınında kurulan santraller, hem alan tahribatını hem de geleneksel (ekolojik) yaşam tarzının bozulması riskini taşır. -Bir kaza durumunda halkların geleneksel yaşam biçimleri, toprak-su ortamları gibi yaşam alanları radyasyon riski nedeniyle bozulma tehdidi altındadır.

Nükleer güç santrallerinin özellikle de **yeni gelişmekte olan ülkelerde** kurulmasına ve işletilmesine karar verilirken, yapılan fayda-maliyet analizlerinin bilimsel kanıtlara dayanması, bu teknolojinin potansiyel etkilerinin (ekolojik yönden) tahlillerinin doğru yapılabilmesi son derece önemlidir. Çünkü, daha kırılgan ekonomik yapılara sahip olan bu ülkelerin bir nükleer kaza durumunda kendilerini toparlayabilmeleri çok daha zordur.

Nükleer güç santrallerini savunanların, ön plana çıkardıkları en önemli avantaj; *küresel iklim değişimine* olan olumlu katkıları ve enerji verimlilikleri olup, ayrıca bu santrallerin gitgide teknolojik olarak daha mükemmelleştirildiğini, kaza riskinin yok denecek kadar

az olduğunu savunmaktadırlar (Gamson and Modigliani, 1989) (Yıldırım, 2007). İklim değişimin canlı türleri ve ekosistemler üzerindeki ağır baskısı düşünüldüğünde bu özellikler olumlu gibi görünmektedir. Pacala and Socolow (2004) 'un çalışmasına göre sera gazı salımını azaltmak için nükleer enerji seçenek olabilir ve 2050'ye kadar küresel karbondioksit salınımını sabit tutmak için (azaltmak için değil) 700 GW'lık enerji üretecek sayıda nükleer güç santraline ihtiyaç var. Ancak, Caldicott (2014)'a göre dünya ölçeğinde 2050 yılı itibarıyla, fosil kökenli enerjinin yalnızca % 10'unun nükleer enerjiden sağlanması planlansa bile, yaklaşık 1000 tane yeni nükleer santralin kurulması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bu ise önümüzdeki 36 yıl boyunca her yıl 28 yeni nükleer santralin işleme açılması anlamına gelmektedir. Eğer karbondioksit salınımını sabit tutmayı değil de nükleer enerji yoluyla yarıya düşürme hedeflenirse, reaktör sayısının 1400'e çıkmasına ihtiyaç vardır. Bu kadar çok yeni nükleer santral ise binlerce ton yeni atığın yanı sıra, yine binlerce ton plütonyum (nükleer silah hammaddesi olarak) üretecektir.

Nükleer güç santrallerinde kullanılan *yakıtın zenginleştirilmesi* aşamasında kullanılan elektrik enerjisinin %83'ü nükleer olmayan enerji yoluyla karşılanmaktadır. Uranyum madeninin çıkartılması ve taşınması için gereken enerjiler de hesaba katıldığında bu oran daha da yükselmektedir. Yani, nükleer güç santrallerinin kurulumu ve işletimi sırasında karbon ve diğer enerji kaynakları da bir miktar kullanılmak zorundadır. Bunlara ilaveten, küresel iklim değişimine neden olan diğer faktörler (özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki egzoz gazları, orman ve otlak yangınları vb)

engellenmedikçe nükleer santral sayısının artması bu soruna çözüm olmayacak, tam tersi daha ciddi sorunlara davetiye çıkaracaktır .

Nükleer santral tartışmalarında bir başka eksiklikte (radyoaktif atıkların bertarafına ilişkin kararlar alınırken, risk analizi ve modellemeler yapılırken birçok fiziksel faktör dikkate alınmasına rağmen) “sosyal” boyutun yeterince dikkate alınmamasıdır.

## **Referanslar**

Altın, S., & Kaptan, H.Y. (2006). Radyoaktif atıkların oluşumu, etkileri ve yönetimi. In Proceedings of 12. Mühendislik Dekanlar Konseyi 2.Ulusal Mühendislik Kongresi, Zonguldak.

Caldicott, H. (2014). Nuclear power is not the answer. New York, U.S.A.: The New Press.

Dreicer, M., Tort, V., & Manen, P. (1995). ExternE: Externalities of energy Vol 5 Nuclear (EUR--16524-EN). International Atomic Energy Agency (IAEA).

Erdöşemeci, F. (2014). Nükleer güç santrallerinin çevre etiği açısından irdelenmesi (Unpublished M.Sc. Thesis). Gazi University, Ankara.

Gamson, W. & Modigliani, A. (1989). Media discourse and public opinion on nuclear power: A constructionist approach. American Journal of Sociology. 95(1), 1-37.

IAEA (1995). The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal of Long-Lived Radioactive Wastes” Annex I.

IAEA and OECD/NEA (2008). INES (The International Nuclear and Radiological Event Scale) User's Manuel.

Karabulut, Y. (1999). Enerji kaynakları, Ankara, Turkey: Ankara Üniversitesi Basımevi.

Kurokawa, G., S. Iyengar, D. Macer, K. Uejima, N. Chaipraditkul, A. Dorjderem, S. Gardini, C. Liuying, C. Kuppuswamy, J. Rajan and S. Rao (2011). Ethics of Nuclear Energy Technology (ECCAP WG12 Report). Ethics and Climate Change in Asia and Pacific (ECCAP) Project, Draft 6.

Pacala, S. & Socolow, R. (2004). Stabilization wedges: solving the climate problem for the next 50 years with current technologies. Science. 305(5686), 968-972.

Yıldırım, M., & Örnek, İ. (2007). Ultimate choice for energy: The nuclear energy. Gaziantep University Journal of Social Sciences. 6(1), 32-44.

Web page (2017), retrieved from <http://www.electricalport.com/technical-pole-section/is-nuclear-alternative-what-is-nuclear-energy-/4173#ad-image-0>.

Web page (2017), retrieved from <https://www.carbonbrief.org/mapped-the-worlds-nuclear-power-plants>

Web page (2017), retrieved from <https://www.nrc.gov/waste/spent-fuel-storage/diagram-typical-dry-cask-system.html>)

Web page (2017), retrieved from <http://www.world-nuclear.org/>.

**BÖLÜM 4**  
**NÜKLEER SANTRALLERİN EKOLOJİK**  
**ETKİLERİ**

Sorular ve Cevaplar

**1) Nükleer güç santralleri için iklimle ilişkili yaşam döngüsü emisyonları aşağıdakilerden hangisi esnasında oluşur?**

- a) inşaat
- b) madencilik ve yakıt üretiminde
- c) kurulum
- d) bakım
- e) işletmeden çıkarma

**Cevap: b**

**2) Aşağıdakilerden hangisi, nükleer güç santrallerin risklerinin bir parçası olarak kabul edilmeyen gizli maliyetlerden biri DEĞİLDİR?**

- a) Araştırma ve geliştirme çalışmaları
- b) Uzun vadede nükleer atık ve deaktivasyonun bir parçası olarak ortaya çıkabilecek sorunların maliyeti
- c) arazinin değerinde kayıp
- d) parçalarına ayırma
- e) radyasyonun insanlar, toplum ve doğal çevre üzerindeki nükleer bir kaza sonucu yaratabileceği maliyet

**Cevap: d**

**3) Hangisi fosil yakıt ve yenilenebilir enerji kaynağı değildir?**

- a) rüzgar
- b) nükleer
- c) jeotermal
- d) hidrolik
- e) yukarıdakilerin hepsi

**Cevap: b**

**4) Hangisi nükleer enerjinin ekolojik olarak değerlendirilmesinde sorgulanmalıdır?**

- a) enerji verimliliği
- b) iklim değişikliği
- c) insan sağlığı
- d) halkın katılımı
- e) yukarıdakilerin hepsi

**Cevap: e**

**5) Aşağıdakilerden hangi yolla radyasyonun hasar derecesi ve cinsi değişir?**

- a) radyasyonun cinsi
- b) maruz kalma müddeti
- c) radyasyonun miktarı
- d) ışınlanmış hücreler
- e) yukarıdakilerin hepsi

**Cevap: e**





## BÖLÜM 5

### GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ VE ÇEVRE ETKİLERİ

**Bölüm yazarları:** Uta ZAEHRINGER<sup>1</sup> ve Krishna STHAPIT<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Renewables Academy AG, Berlin, Germany

e-mail: [zaehringer@renac.de](mailto:zaehringer@renac.de)

<sup>2</sup> Renewables Academy AG, Berlin, Germany

e-mail: [sthapit@renac.de](mailto:sthapit@renac.de)

**Özet:** Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde ve yüzeyinde hidrojen atomlarının nükleer fisyon ve füzyonuyla güneş tarafından yayılan termal enerjidir. Güneş enerjisinin kullanımı doğrudan (ör., Güneş termik veya fotovoltaik) veya dolaylı (ör. Rüzgar, hidrojen veya biyoenerji) olarak sınıflandırılabilir. Bu bölümde yalnızca doğrudan kullanım: güneş enerjisi ve güneş fotovoltaik teknolojileri ele alınacaktır. Bölümün ilk kısmı teknolojik yönleri ve güneş enerjisi uygulamalarının bileşenlerine odaklanmaktadır. Geleneksel enerji santrallerine kıyasla yenilenebilir enerji teknolojilerinden üretilen enerji daha az sera gazı emisyonu ve diğer çevresel etkilere sahiptir. Bununla birlikte, değer zincirleri veya güneş enerjisi projeleri boyunca bazı çevresel etkiler bulunmaktadır. Bunlardan bazıları bu bölümün ikinci bölümünde anlatılmıştır.

## Öğrenme Hedefleri

- Okuyuculara çeşitli güneş enerjisi teknolojileri hakkında bilgi verilecektir.
- Okuyucular güneş enerjisi teknolojilerinin yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerini değerlendirebilecektir.

### 5.1. Güneş enerjisi sistemlerinde enerji üretiminin teknolojik yönleri

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde ve yüzeyinde hidrojen atomlarının nükleer fisyon ve füzyonuyla güneş tarafından yayılan termal enerjidir. Güneş dünyayı bildiğimiz kadarıyla hayata geçiren muazzam miktarda enerji sağlar. Bu gelen enerji atmosferdeki ve yerkürenin ve okyanusların yüzeyindeki parçacıklar ve moleküller kümeleri tarafından yansıtılır, dağılır, absorbe edilir ve tekrar ışınlanır. Bu da rüzgar, okyanusal akım, buharlaşma, yoğuşma (yağmur) ve yeryüzünün sıcaklığının düzenlenmesine neden olur. Bitkiler ve ağaçlar, ışık enerjisini, biyokütle üreten fotosentez işlemi vasıtasıyla kimyasal enerjiye dönüştürürler. Bu, dolaylı güneş enerjisi kullanımı kategorisine girer.

Güneş enerjisinin kullanımı doğrudan (ör., Güneş termik veya fotovoltak) veya dolaylı (ör. Rüzgar, hidrojen veya biyoenerji) olarak sınıflandırılabilir. Bu bölüm sadece doğrudan kullanımı kapsayacaktır.

Güneş enerjisinin doğrudan kullanımı için teknolojiler şunlardır:

Güneş enerjili termal sistemler, özel haneler, oteller, hastaneler veya endüstriyel prosesler gibi geniş bir tüketici kitlesine sıcak su üretmek için güneş enerjisi kullanmaktadır. Ayrıca, alan ısıtma veya soğutma uygulamalarında da kullanılabilirler.

Konsantre Güneş Enerjisi (CSP) tesisleri, güneş enerjisini ayna yoluyla konsantre ederek, elektrik üretmek için buhar türbinleri çekmek için buhar üretmek için kullanılan yüksek sıcaklıkları üretir. Bu elektrik üretimi için bir güneş enerjisi teknolojisidir.

Fotovoltaik (PV) sistemler, güneş enerjisini doğrudan fotoelektrik etki yoluyla elektrik enerjisine dönüştürür.

### **5.1.1.Solar termal**

Güneş radyasyonunun ısınmaya veya termal enerjiye dönüşümü "solar termal" olarak adlandırılır. solar termal, tüm farklı güneş enerjisi türlerinden en yüksek verimliliğe sahiptir. Bu termal enerji ev sıcak suyu (DHW) sağlanması, alan ısıtması, termal prosesler (proses ısısı) veya soğutma için kullanılabilir.

#### **5.1.1.1. Solar termal sistemin bileşenleri**

##### **Emici**

Her solar termal sisteminin kalbi emicidir. Çok iletken bir metal tabaka, tercihen bakırdan yapılır. Ekonomik nedenlerle alüminyum maliyeti bakırdan daha düşük olduğu için giderek artan bir şekilde kullanılmaktadır ve iyi bir iletken konumundadır. Yüzey, ışığı ısıya dönüştüren seçici, radyasyon emici tabaka ile kaplanır.

Bu ısı daha sonra bir ısı transfer sıvısının dolaştırıldığı kanallara iletir. Isı, sıvıya konveksiyon vasıtasıyla aktarılır ve sıcak sıvı ya kullanıldığı veya depolandığı yere taşınır. Isı transfer sıvısı genellikle su ya da su ve antifriz karışımıdır, ancak hava da kullanılabilir (hava kollektör cihazlarda olduğu gibi) (bkz. Şekil 5.1).

## **Kollektör**

Sıcak su (sıcak su) temini, yerden ısıtma veya proses ısısı gibi yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulursa, ısı kaybını önlemek için emici kapatılarak yalıtılmalıdır.

Düz plakalı ve boşaltılan boru olarak iki tip kolektör vardır. Düz plaka kollektöründe, emiciden birkaç santimetre yukarıda bir cam kapak takılır ve güneş radyasyonuna izin verir ancak konveksiyon ısı kayıplarını (sera etkisi) azaltır. Böylece ışık cam örtüsüne nüfuz eder ve emicide ısıya dönüştürülür. İletim ve konveksiyon kayıplarını en aza indirmek ve ısıyı içeride tutmak için mineral lif veya köpük yalıtımı kollektörün arka ve yanlarına takılmıştır.

Boşaltılmış tüp kollektörler, tüpler içindeki vakumun iyi yalıtım özelliklerinden dolayı yüksek bir verimliliğe sahiptir. Boşaltılan basit bir tüp tipi, boşaltılmış bir cam tüpten oluşur ve bu tüp içine seçici bir kaplama ile bir emici şerit yerleştirilir. Eşeksenli bir boru (boru içinde bir boru), emici şeridin alt tarafının uzunluğu boyunca uzanır. Eşeksenli soğurucu borunun içinde, ısı transfer sıvısı iç boruya akar ve dış boruya geri dönerek ısıyı absorbe edici şeritten alır. Cam tüp, metal bir kapak ile

kapatılmıştır. Eşeksenli emici boru bu kapağa girer ve bir başlık borusuna açılır. Bu doğrudan akış kollektörüdür.

## **Termal depolar**

Güneş ışınlama seviyelerinin talebi karşılayacak kadar yüksek olmadığı, örneğin gece veya kışın olduğu zamanlar vardır. Diğer zamanlarda, çok fazla güneş ışınlaması var. Her iki durum da güneş termik sisteminde termal bir deponun olmasını ister. Su genellikle termal depo aracı olarak çeşitli nedenlerle kullanılır: çok yüksek özgül ısı kapasitesine sahiptir, sağlık riski taşımaz ve neredeyse her yerde bulunur.

Sıcak su temini için iç sıcak su (DHW) depoları kullanılır. Bunlar, örneğin, musluklar veya duşlardan atılmış içilebilir su içerir.

Yerden ısıtma veya proses ısısı uygulamaları için depolar tampon depolar olarak adlandırılır. Bunlar kapalı devre etrafında dolaşan ve tüketilmeyen proses suyu içerir.

Kombi depoları, entegre bir DHW deposu (tank deposu) veya entegre bir DHW ısıtma bobinine sahip tampon depolardır.

Deponun kendisi, uygulamaya bağlı olarak çelik, emaye çelik, paslanmaz çelik veya bakırdan üretilmiştir. Basınçsız (veya açık havalı) silindirler giderek plastik, plastik film veya cam elyaf takviyeli plastikten üretilmektedir.

Deponun çevresindeki ısı yalıtımı, termal kayıpları olabildiğince azaltmak ve böylece toplam sistem verimliliğini arttırmak için çok önemlidir.

## **Pompa**

Zorlamalı dolaşımli sistemlerde, ısı transfer sıvısını sistemin etrafında hareket ettirmek için pompalar kullanılır. Geleneksel bir ısıtma sisteminde olduğu gibi aynı pompa kullanılabilir. Ancak güneş enerjili termik sistemler için pompa özellikleri biraz farklıdır. Geleneksel ısıtma sistemlerinde, yüksek akış hızı, düşük basınç kaybı pompası gereklidir. Güneş termik sistemleri için yüksek basınç kaybı, düşük akış hızı pompası, yani farklı bir performans eğrisine sahip bir pompa gereklidir.

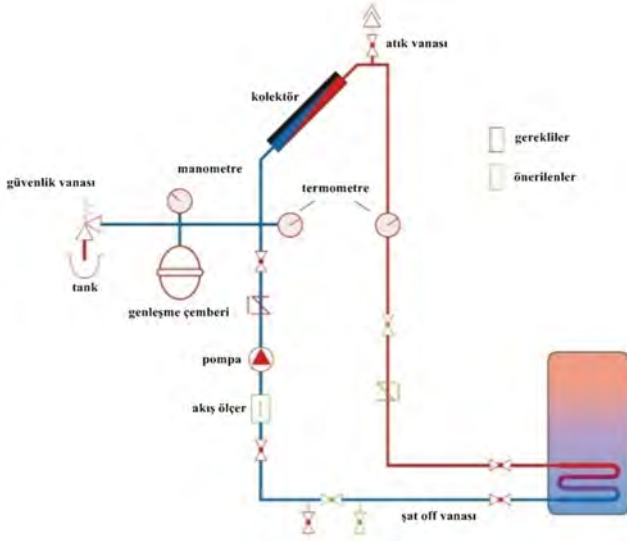
## **Genleşme tankı**

Kapalı sistemlerde bir genleşme kabı, değişen sıvı sıcaklığına bağlı olarak gerçekleşen sıvı genleşmesini alır. Geleneksel ısıtma sistemleri için genleşme kapları prensip olarak güneş termal sistemlerinde kullanılabilir. Bununla birlikte, antifriz kullanılıyorsa, genleşme kabı zarının buna dirençli olması gerekir. Ek olarak, durgunluk dönemlerinde membranın yüksek sıcaklıklara maruz kalmasını önlemek için tedbirler alınmalıdır.

## **Diğer bileşenler**

Sıvı, ısıtıldığında genişler ve yüksek basınç üretebilir. Bu nedenle, sistem basıncının güvensiz seviyelere çıkması durumunda basıncı tahliye etmek için kapalı bir sisteme bir güvenlik vanası eklenmelidir. Böyle bir basınç artışı, örneğin, genleşme teknesi gibi başka bir sistem bileşeni

bozulduğunda ortaya çıkabilir. Emniyet vanası, geleneksel bir sızdırmaz sistemde olduğu gibi boyutlandırılmıştır.



**Şekil 5.1.** Solar termal sistem bileşenleri, Zorlamalı dolaşimli sistem (Kaynak: RENAC)

### 5.1.2. Konsantre güneş enerjisi (CSP)

Konsantre Güneş Enerjisi (CSP) teknolojisi, genellikle 290 - 1000°C aralığında yüksek sıcaklıklara ulaşmak için güneş radyasyonunu yoğunlaştırmaktadır. Bu termal enerji doğrudan proses ısısı uygulamalarında kullanılır veya buhar türbinleri vasıtasıyla elektrikle dönüştürülür.

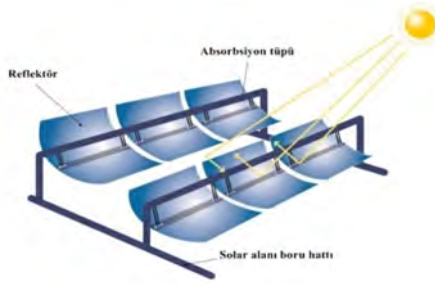
CSP doğrudan güneş radyasyonunun çok yüksek seviyelerini gerektirir; bu nedenle dünya çapında uygulanacak coğrafi yerler sınırlıdır. Parabolik oluk,

güneş kulesi (veya güç kulesi), Lineer Fresnel reflektör ve parabolik çanak CSP' nin ana tiplerinden dördüdür.

### 5.1.2.1. Solar CSP'nin bileşenleri

#### Parabolik oluk kolektörleri

Güneş radyasyonu, parabolik oluktan oluk boyunca uzanan boşaltılan bir tüp alıcısına yansır (bkz. Şekil 5.2). Parabolik oluklar yer seviyesinden yaklaşık 8 m yüksekliğe monte edilmiştir. Kuzeyden güneye doğru hizalanırlar. Boşaltılmış tüp alıcısı, konsantre güneş radyasyonu ile ısıtılan bir ısı transfer sıvısı içerir. Isı aktarma sıvısı, geleneksel bir buhar güç santralinde bir ısı değiştiriciye ısı iletir. Isı değiştiricinin diğer tarafındaki su, elektrik üretmek için buhar türbinini çalıştıran aşırı ısıtılmış buhara dönüştürülür. Uygulamaya bağlı olarak farklı ısı transfer akışkanları kullanılır.



Şekil 5.2. Parabolik bir oluk kolektörünün planı (Kaynak: RENAC)

#### Güneş kulesi (veya güç kulesi veya merkezi alıcı)

Güneş radyasyonu, yüzlerce, hatta binlerce helyostattan (büyük çelik reflektörler) güneş kulesi üstündeki merkezi



bir alıcıya yansır. Bu teknoloji 'nokta odaklı' olarak kategorize edilmiştir. Helyostatların her biri çift motorlu iki eksenli izleme sistemi ile donatılmıştır. Helyostatlar ya merkezi alıcının çevresine (genellikle 100 MW kapasiteli daha büyük tesisler için) ya da kuzey alan konfigürasyonunda (tipik olarak 20 MW kapasiteli daha küçük tesisler için) düzenlenmiştir (bkz. Şekil 5.3).

Kulenin merkezi alıcısına yansıyan güneş radyasyonu, suyu buhar türbinini çalıştırmak ve elektrik üretmek için kullanılan aşırı ısınmış buhar haline dönüştürür.

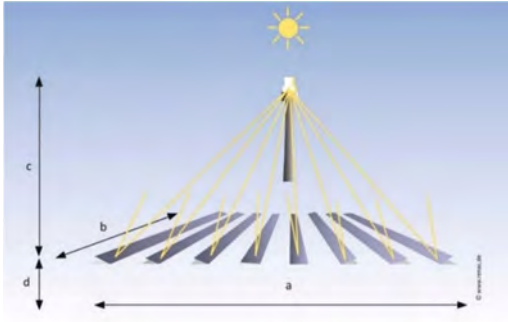


**Şekil 5.3.** Solar kulenin çalışması (Kaynak: RENAC)

### **Lineer fresnel**

Lineer Fresnel Reflektörler (LFR'ler) güneş radyasyonunu yansıtan uzun, aynalı şeritlerle parabolik olukların şeklini yansıtıcının uzunluğu boyunca uzanan aşağı doğru bakan ve sabit bir alıcı tüpüne yaklaştırır (bkz. Şekil 5.4). Reflektör şeritleri, alıcı tüp sabit bir konumda kalırken güneşi doğudan batıya doğru izler. Alıcı tüpü çevreleyen ikincil bir reflektör, tüp üzerine geri döndürülmüş herhangi bir odaklanmamış radyasyonu yansıtır.

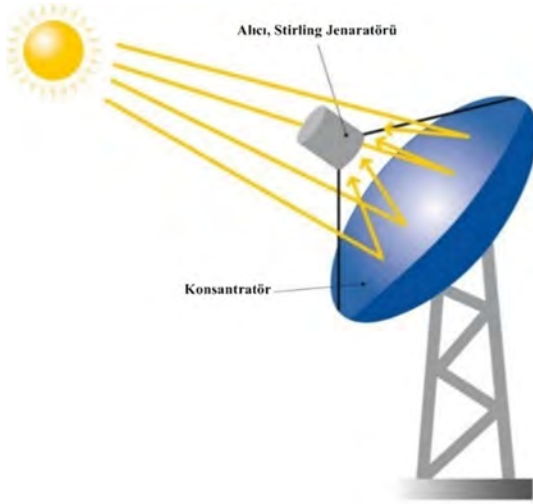
LFR sistemleri, alıcıların içinden geçen suyu doğrudan 270°C'de (Doğrudan Buhar Üretimi - DSG) buhar üretmek için ısıtır ve böylece sentetik ısı transfer akışkanlarına ve ısı değiştiricilere olan ihtiyacı ortadan kaldırır. Aynaların daha düşük imalat ve montaj maliyeti ile birlikte, LFR sistemleri parabolik oluk sistemlerine göre daha ucuza mal olmaktadır.



**Şekil 5.4.** Lineer bir Fresnel kolektörün çalışması (Kaynak: RENAC)

## Çanak

Çanak reflektörü, güneş radyasyonunu çanağın odak noktasındaki bir alıcının üzerine yoğunlaştırır ("odak noktası" teknolojisi). Alıcı yaklaşık 750°C'ye ısıtılır ve çanakta doğrudan elektrik üretmek için alıcıya bağlı küçük bir piston, Stirling motoru veya mikro türbini çalıştırır (bkz. Şekil 5.5). Çanak gün boyunca güneşi izler. Çanak boyutları tipik olarak 5-25kW arasında değişir. Yüksek güneş yoğunluğu ve çalışma sıcaklıkları, çanak sistemlerinin %30'a varan oranda güneş-elektrik dönüşüm verimliliği elde etmesini sağlar.



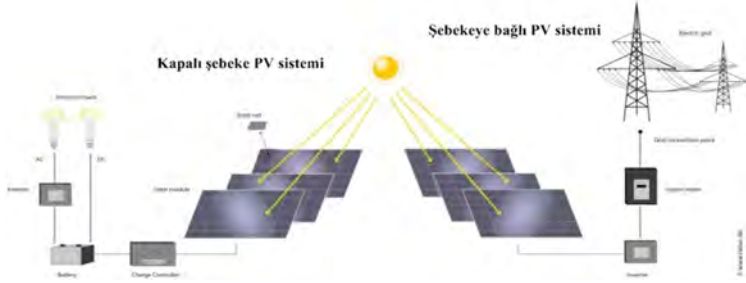
**Şekil 5.5.** Çanak kolektörünün çalışması. Çanak gün boyunca güneşi izler. (Kaynak: RENAC)

### 5.1.3. Solar PV

PV sistemleri için iki temel sistem topolojisi vardır: şebekeye bağlı sistemler ve şebekeden bağımsız sistemler. Şebekeye bağlı PV sistemleri, güç üretimlerini merkezi bir elektrik şebekesine gönderir. Şebekeye bağlı sistemler, PV enerji santralleri ve ev ya da sanayi enerji arzı ile büyük ölçekli (şebeke-ölçekli) enerji üretiminde uygulanabilir.

Şebekeden bağımsız PV sistemleri, şebeke bağlantısının olmadığı birçok alanda, örneğin sulama veya insan tüketimi için su pompalama, kırsal alanlardaki veya gelişmekte olan ülkelerdeki hane halkı için güneş Ev Sistemleri (SHS), iletişim antenleri ve telemetri istasyonları vb. gibi birçok alanda uygulanabilir.

Şekil 5.6, hem şebekeden bağımsız hem de şebekeye bağlı sistemlerde temel bileşenlerin bazılarını gösteren basit bir şemayı göstermektedir.



**Şekil 5.6.** Şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı PV sistemlerine genel bakış

## Solar hücreler

Monokristalin ve çok kristalli c-Si hücreleri wafer esaslı olup kalınlıkları 100 ila 250  $\mu\text{m}$  aralığında, boyutları ise 4 ila 6 inç arasında değişir. Waferler silikondan eritilerek farklı yöntemlerle elde edilir, bloklar halinde yoğunlaştırılır ve daha sonra bir tel testere ile kesilir. Çok yüksek saflığa duyulan ihtiyaç nedeniyle, üretim prosesi esnasında çok fazla enerji tüketilmektedir, çünkü kusurları gidermek için yüksek sıcaklık işlemleri gereklidir. Hem ön hem de arka taraftaki elektrik temas noktaları, serigrafı ile kaplanır.

İnce film solar hücreler (amorf Si, kadmiyum tellür, bakır indiyum galyum selenit solar hücre [CIGS]) bir cam parçasına sıkıştırılır. Daha sonra yüzey bir lazer ile hazırlanır ve elektrik kontakları biriktirilir. İnce film imalatı için tüketilen enerji c-Si güneş pillerinden çok

daha düşüktür, çünkü birikim düşük sıcaklık işlemidir. Ayrıca, imalat prosesi c-Si'den daha hızlı ve daha ucuzdur, ancak teknolojilerin verimliliği c-Si'den daha düşüktür.

### **5.1.3.1. Solar PV sistemlerinin ana bileşenleri**

#### **Solar modüller**

Solar modüller, modülün arzulanan bir nihai güç çıkışı elde etmek için seri ve paralel bağlanmış birkaç güneş pilinden oluşur. Kristal modüllerdeki güneş pillerinin sayısı tipik olarak 36 ile 72 hücre arasında değişir. Güneş pilleri elektrikle bağlanır ve buhar geçirmez kapsülleme malzemesinin (genellikle Etilen Vinil Asetat veya EVA'dan yapılmış) iki çok ince şeffaf katman arasında sandviç haline getirilir ve daha sonra yansıtıcı bir arka tabakanın (genellikle polivinil floridden yapılmış) üstüne yerleştirilir ve daha sonra alüminyum bir çerçevede cam bir kapak ile kapatılır.

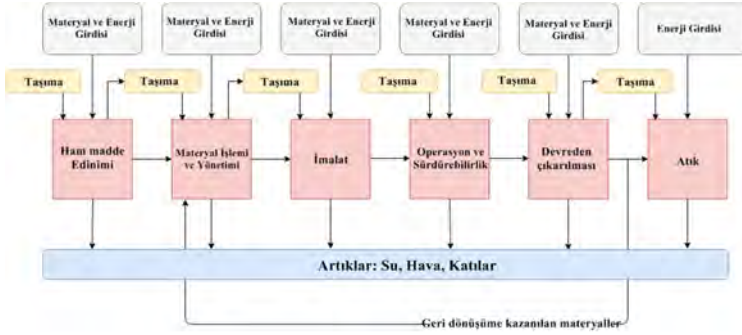
#### **İnvertörler**

İnvertörler, doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) dönüştürür ve gerilimi ve frekansı düzenler. Esas olarak iki tür invertör bulunur: Tek ve üç fazlı invertörler. Tek fazlı invertörler, bir güç iletim hattının bir fazına AC verirken, üç fazlı invertörler, bir güç iletim hattının üç fazına AC gönderirler. Tipik olarak 5 kWp'nin altındaki küçük sistemler, genellikle tek fazlı invertörler kullanır çünkü bir hat, bir PV sistemi tarafından iletilen gücü emmek için yeterlidir.

## 5.2. Güneş enerjisi sistemlerinin çevresel etkileri

Geleneksel enerji santrallerine kıyasla, yenilenebilir enerji teknolojilerinden (RET) üretilen enerji çok daha az sera gazı emisyonuna sahiptir. Öte yandan eğer bir RET'in tüm yaşam döngüsü göz önüne alınırsa, çevre üzerindeki etkileri gözlenemez.

Şekil 5.7 yenilenebilir enerji projelerinin yaşam döngüsündeki girdileri ve çıktıları göstermektedir.



Şekil 5.7. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin genel yaşam döngüsü (Corona, Cerrajero, López, & San Miguel, 2016) (Fthenakis & Kim, 2011); kendi gösterimleri

Bir ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca toplam çevresel etkisini belirlemek için kullanılan bir yöntem yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) olarak bilinir. LCA, çevresel etkilerin kapsamını temsil etmek için Çevresel Etki Değerlendirmelerinde (ÇED) bir araç olarak kullanılır.

ÇED, bir öneriden kaynaklanabilecek olası çevresel etkileri değerlendirmek için yapılan bir çalışmadır. ÇED ve LCA'da etkiler emisyonların niteliğine ve türüne göre kategorize edilir. Kategoriler, ülkeye ve kurumlara bağlı olarak değişebilir. Bu bölümde, etkiler kategorize edilmez. Genel potansiyel etkiler ve farklı literatürden gelen yaygın etkiler, Bölüm 5 ve Bölüm 6'da sunulmaktadır.

Yaşam döngüsünün ilk iki safhası hammadde edinimi ve imalatıdır. Hammaddelerin çıkarılması sırasında, çevre üzerindeki etkiler dizisi görülür. Etkilerin kapsamında farklı faktörler rol oynar. Etkenler, çıkarılacak hammadde sanatı, alanın ekstraksiyonu veya ekolojisi için kullanılan teknoloji olabilir. Benzer şekilde, malzeme işleme ve üretim aşaması sırasında malzemenin doğasına bağlı olarak farklı etkiler farklı boyutlarda ortaya çıkar.

Örneğin, saf demirin cevherlerden<sup>1</sup> ekstraksiyonu sırasında ayırma işlemi için farklı teknolojiler kullanılır. Kullanılan teknolojilere bağlı olarak doğrudan veya dolaylı olarak çevreye zarar verebilecek çeşitli tür ve miktarda atık üretilmektedir. Üretim sürecinde, çıkarılan hammadde yeni ürün veya ürün bileşenlerini şekillendirmek için kullanılır. Nihayetinde sera gazı emisyonlarına ve atık üretimine katkıda bulunan farklı enerji yoğunluklu teknolojiler kullanılır. Değer zincirindeki (aşamalar) farklı etkiler aşağıdaki tablolarda her bir teknolojinin bölümlerinde yer almaktadır. ÇED, sadece inşaat, işletme ve hizmetten çıkarma aşamalarının

---

<sup>1</sup> Cevher, metaller de dahil olmak üzere önemli elementleri olan mineralleri içeren bir tür kayadır.

etkilerini incelediğinden, yalnızca bu üç aşamadan gelen etkilere ilişkin ayrıntılar üzerinde duracağız. Bu etkiler aşağıdaki teknolojilere göre tartışılacaktır.

### 5.2.1. Solar termalin çevresel etkileri

Küçük ölçekli güneş enerjisi teknolojisi, çoğunlukla ev kullanımına yönelik su ısıtmak için kullanılır ve çoğunlukla bir yerleşim binasının çatısına monte edilir.

"Enerji sektöründen çevresel etkiler" araştırmasına göre, işletme aşamasında iki özel çevresel etki söz konusudur:

**Görünür etkiler:** Binaların çatılarında bulunması gereken güneş panelleri binaların estetik görüntüsünü bozar. Ayrıca sistemdek cam aynalardan güneş ışınlarının yansımaları rahatsızlık yaratır.

Atık üretimi: Solar termal sistemlere bağlı olarak farklı soğutma sıvıları kullanılır. Bu sıvılar su tabanlı olabildiği gibi antifrizli veya don önleyici kimyasallar da içerebilir. Bu tür sıvılara glikol, nitratlar, nitritler, kromatlar, sülfidler ve sülfatlar örnek olarak verilebilir. Daha da karmaşık komplekslere ise aromatik alkoller, yağlar, kloroflorokarbonlar (CFCs) örnek gösterilebilir ve bunlar çok daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirler. Bu sıvıların atıkları suyu kirletir ve mutlaka dikkatli bir şekilde uzaklaştırılmalı, uygulama sırasında da kaçaklara dikkat edilmelidir. Aşağıdaki tabloda küçük ölçekli solar enerjili termik sistemlerin kullanılmasından kaynaklanabilecek olası çevresel etkiler listelenmiştir.



Tablo 5.1. Isınma amaçlı kullanımda küçük ölçekli solar termal teknolojilerin neden olabileceği çevresel etkiler

Ham madde etkileri	İmalat	Kurulum	Operasyon	Ömrünü tamamlamış sistem
Biyçeşitlilik kaybı	Su sıkıntısı	Atık üretimi	Göresel etkiler	Atık üretimi
Habitat kaybı	Atık üretimi	Hava kirliliği	Atık üretimi	Hava kirliliği
Toksik-atıklar				
Atık üretimi				
Doğal kaynakların azalması				
CO <sub>2</sub> ve diğer GHG gaz emisyonları				
Gürültü Kirliliği (operasyonel faz hariç)				

### 5.2.2. Yoğunlaştırılmış solar güç sistemlerinin (CSP) çevresel etkileri

CSP tesislerinin yaratabileceği çevresel etkiler Tablo 5.2’de listelenmektedir (Wu ve ark., 2014).

Tablo 5.2. Yoğun üretim sistemlerinin yaratabileceği çevresel etkiler

Ham madde etkileri	İmalat	Kurulum	Operasyon	Ömrünü tamamlamış sistem
Biyçeşitlilik kaybı Habitat kaybı Toksik-atıklar Atık üretimi Doğal kaynakların azalması	Su sıkıntısı ve kirlilik Atık üretimi	Biyçeşitlilik kaybı Erozyon Su ve toprak kirliliği Hava kirliliği	Yüksek su kullanımı Göresel etkiler Toprak ısısının düşmesi Atık üretimi	Toz atıklar Atık üretimi
CO <sub>2</sub> ve diğer GHG gaz emisyonları				
Gürültü Kirliliği				

- **Su tüketimi:** CSP fotovoltaik ve rüzgar enerjisi tesislerine kıyasla birim üretilen elektrik başına en yüksek miktarda su tüketimine neden olan bir sistemdir. CSP tesislerinde elektrik jeneratörlerindeki buharı soğutabilmek için yaş teknoloji kullanılmakta ve kuru hava soğutmalı sisteme kıyasla fazla su kullanılmaktadır. Su sadece soğutma amacı ile değil, çoğu CSP tesisleri yüksek solar radyasyonları için

yarı kurak alanlarda kurulduğundan ve bu alanlarda da toz partiküllerinin yoğunluğundan dolayı toz ile kaplanan aynaların temizliğinde de kullanılmaktadır. Suyun kaybının azaltılabilmesi için etkin su toplama ve yeniden kullanma sistemlerinin tesise ilave edilmesi gereklidir.

- **Toprak ısısının düşmesi:** CSP tesislerinde, ayna panellerindeki gölgeler ve değiştirilmiş hava akışı nedeniyle, Wu ve arkadaşları toprak sıcaklık değişimlerinin 0.5-4 °C arasında değiştiğini ifade etmektedirler. Bu derecede sıcaklık değişimleri, CSP tesislerinin kurulduğu bölgelerde yetişen doğal ekinlerin etkilenmesine neden olur. Toprak sıcaklık koşullarına hassas olan bu bitkiler için bu durum önemli bir hal alır.
- **Atık üretimi:** SCP tesislerinin işletilmesi sırasında tehlike arz eden ya da tehlikeli olmasa da kirliliğe neden olabilecek atıklar ortaya çıkmaktadır. ACWA POWER'ın bir çalışmasında CSP tesislerinin spesifik çevresel ve sosyal etkileri olduğu belirtilmekte, operasyon sırasında ortaya çıkan atık yağ, yağlı çamur, kimyasallar, makinelerinin genel bakımından kaynaklanan solventler, kullanılan kimyasal ve yakıtlar, potansiyel saçılmalar ve sızıntılar vb. gibi tehlikeli atıkların tesisin atıksularında ya da atık yağlarında bulunacağına işaret edilmektedir. Bu

atıklar uygun şekilde atılmalı, aksi halde insan sağlığına ve çevreye zarar verebilir

### 5.2.2.1. Fotovoltaik

Tablo 5.3. Fotovoltaiklerin ömürleri süresince yarattığı çevresel etkiler (Hernandez, et al., 2014).

Ham madde etkileri	İmalat	Kurulum	Operasyon	Ömrünü tamamlamış sistem
Biyçeşitlilik kaybı Habitat kaybı Atık üretimi Doğal kaynakların azalması	Water stress and pollution Atık üretimi	Biyçeşitlilik kaybı Erozyon Su ve toprak kirliliği Arazi kullanımı ve dokunun değişimi Taşınım hareketi ile yerkaşu hareketleri	Bölgesel hidroloji ve mikroklimanın değişimi Arazi yüzeylerinde sıcaklık ve atmosferik sınır koşullarının değişime yönelik görsel etkiler	Toz atıklar Atık üretimi
Ulaşımın araçlarla sağlanma zorunluluğundan ötürü ortamdaki CO <sub>2</sub> ve diğer GHG gaz emisyonları				
Gürültü kirliliği				

Fotovoltaik sistemlerinin ömürleri süresince çeşitli çevresel etkiler yarattığı bilinmekte ve bunlar Tablo 5.3'de listelenmektedir.

- **Biyoçeşitlilik kaybı, erozyon kullanılan arazi ve çevresindeki değişimler :** Yararlanılabilir ölçekli fotovoltaik sistemleri genelde daha büyük bir alan gerektirir ve bu nedenle alandaki bitki örtüsü kaldırılarak tesisin kurulumu için toprak derecelendirilir. Dolayısıyla bu tür faaliyetler, habitat kaybına, toprak erozyonuna, parçalanmaya ve biyoçeşitlilikte kayba yol açmaktadır.
- **İletim hatlarının ve koridorlarının ekolojik etkileri:** Merkezi bir bölge için yetebilecek fotovoltaik sistemleri iletim hatları ve koridorları ile şebekeye bağlanmak için inşa edilmelidir. Bu yapılar geniş enerji ve malzeme kullanımını gerekli kılar. Sistemin tesisi için ormandaki tahribat da önemli etkilerden biridir.
- **Atık üretimi:** Fotovoltaik sistemi yaşam döngüsünün her aşamasında bazı atıklar üretilir. Örneğin, hizmetten çıkarma aşamasında, PV sistemlerinin dikkatle geri dönüştürülmesi önemlidir. PV panelleri, kadmiyum, arsenik ve silika tozu gibi toksik materyalleri içerir. Uzun süre solunan silika tozu, kronik obstrüktif akciğer

hastalığına neden olabilir (COPD) (Hnizdo & Vallathan, 2003).

- **Sera Gazı Caz Emisyonu:** Bir PV sisteminin ömrü boyunca hammadde temini sırasında veya işletme ve bakım aşamasında GHG emisyonları kaçınılmazdır. Emisyonlara, ayrıca ihtiyaç duyulan nakliye araçlarında kullanılan enerjiden GHG emisyonları da katkıda bulunur.
- **Su tüketimi:** PV sistemlerinin verimliliğini korumak için, işletme ve bakım aşamasında su, panellerde biriken tozun temizlenmesi ve toz bulutlarının sorunlu olduğu yerlerde baskılanması için kullanılır. Suyun az olduğu yarı kurak alanlarda, yüksek miktarda su tüketimi çevredeki her canlı için stres yaratabilir.

Tablo 5.4 elde edilen birim elektrik başına tüketilen su miktarını iki kısımda listelemektedir. CSP ve rüzgar ile karşılaştırıldığında PV'nin üretilen TjH elektrik başına daha az su harcadığını görebiliriz.

Tablo 5.4. Farklı enerji kaynaklarından elde edilen birim elektrik başına su ayak izi (WF). Parantez içindeki değerler ortalama değerleri temsil eder (Mekonnen, Gerbens-Leenes, & Hoekstra, 2015).

<b>Enerji Kaynağı</b>	<b>İmalat</b>	<b>Operasyon</b>	<b>Toplam</b>
	WF (m <sup>3</sup> TJh <sup>-1</sup> )	WF (m <sup>3</sup> TJh <sup>-1</sup> )	WF (m <sup>3</sup> TJh <sup>-1</sup> )
Yoğunlaştırılmış solar enerji	84 – 179 (169)	34 – 2000 (559)	118 - 2180
Fotovoltaikler	5.3 – 221 (86)	1.1 – 82 (19)	6.4 - 303
Rüzgar	0.10 – 9.5(1)	0.1 – 2.1 (0.2)	0.2 - 12

## Özet

Her üç solar teknolojiden de inşaat aşamasına kadar hizmet dışı bırakma ya da sadece belirli safha için farklı etkiler tartışıldı. Bu, çevreyi etkileyen faktörler ve yenilenebilir enerji projelerinin uygulanması sırasında dikkate alınması gereken etkilerin azaltılmasını veya olabildiğince düşük olmasını sağlayabilecek tedbirler hakkında genel bir fikir vermektedir. Çevre üzerindeki etkileri arasında pek çok benzerlik ve farklılıklar vardır (bkz. Şekil 5.8). Sonuçta, mümkün olduğunca düşük etkili güneş enerjisi teknolojilerinin tasarımını araştırmak, proje geliştiricisinin sorumluluğundadır.

Şekil 5.8'de, üç elektrik üretim teknolojisi CSP, Fotovoltaik ve Rüzgar arasındaki yaşam döngüsünde, hammadde satınalma işleminden başlayarak üç etki kategorisindeki çevresel etkilerin karşılaştırması sunulmaktadır. Bu şekil teknolojinin türüne göre ve o teknolojiye kullanılan materyal ve sistemin türüne göre çevre üzerinde farklı etkilerin olduğuna dair bir bakış sağlar. Örneğin, çatıya monte edilmiş bakır indiyum galyum selenid (CIGS) PV ve yere monte edilen CIGS PV üç farklı etki kategorisinde farklı etki derecesine sahiptir. Yalnızca bu üç kategoriye ilişkin teknolojileri karşılaştırdığımızda, rüzgar enerjisi teknolojisinin en az etkisinin olduğunu görebiliyoruz. Bölüm 6'da rüzgar enerjisi teknolojisi ve çevresel etkileri daha ayrıntılı olarak tartışılacaktır.

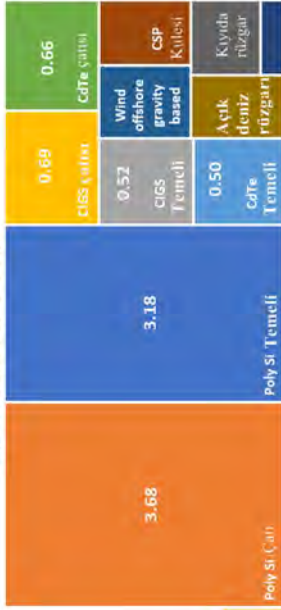


**Seragazi gaz emisyonu g CO<sub>2</sub> eq. per kWh**

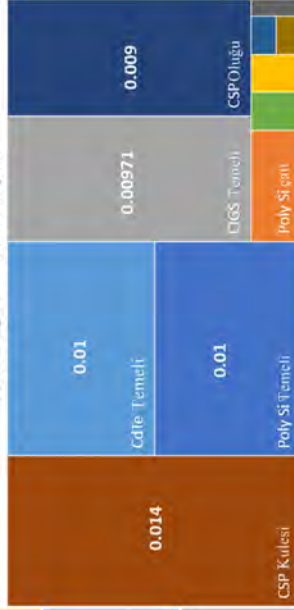
- Poly Si Temeli
- CIGS Temeli
- CdTe Temeli
- CSP Oluğu
- Kiyıda rüzgar
- Açıkdenizde gravite temelli rüzgar
- Poly Si çatı
- CIGS çatı
- CdTe çatı
- CSP Kule
- Açıkdeniz rüzgar
- Açıkdenizde gravite temelli rüzgar



**Ekotoksiste g 1,4-DCB eq. per kWh**



**Arazi işgali m<sup>2</sup>kWsa başına**



Şekil 5.8. Fotovoltaik, Konsantr Güneş Enerjisi ve Rüzgar Enerjisi'nin üretilen elektrik enerjisi kWh başına sağladığı çevresel etkiler (Polikristal Silisyum (Poli Si), Bakır indyum Galyum Selenid (CIGS), Kadmiyum Tellür (CdTe) (Hertwich ve diğ., 2014) eşi. = eşdeğer, CFC = Klorofluorokarbon, DCB = Diklorobenzen, m2a = metrekare yıl; kendi gösterimleri)

## Referanslar

- ACWA Power. (2015). *Specific Environment and Social Impact Assessment*. Ouarzazate Morocco. Retrieved July 14, 2017, from <http://documents.worldbank.org/curated/en/618461468274482428/pdf/E44890V90P131200Box391417B00PUBLIC0.pdf>
- Corona, B., Cerrajero, E., López, D., & San Miguel, G. (2016, June 29). Full environmental life cycle cost analysis of concentrating solar power technology: Contribution of externalities to overall energy costs. *Elsevier*, 135, pp. 758 - 768. doi:10.1016/j.solener.2016.06.059
- Fthenakis, V., & Kim, H. (2011, February 23). Photovoltaics: Life-cycle analyses. *Solar Energy*, 85, pp. 1609 - 1628. doi:10.1016/j.solener.2009.10.002
- Hernandez, R. R., Easter, S. B., Murphy-Mariscal, M. L., Maestre, F. T., Tavassoli, M., Allen, E. B., . . . Allen, M. F. (2014, August 11). Environmental Impacts of utility-scale solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, pp. 766 - 779. doi:10.1016/j.rser.2013.08.041
- Hnizdo, E., & Vallathan, V. (2003, April 1). Chronic obstructive pulmonary disease due to occupational exposure to silica dust: a review of epidemiological and pathological evidence. *Occupational and Environmental Medicine*, 60, pp. 237 - 243. doi:10.1136/oem.60.4.237
- Mekonnen, M., Gerbens-Leenes, P., & Hoekstra, A. (2015, March 9). The consumptive water footprint (WF) of electricity and heat: a global assessment. *Environmental Science: Water Research and Technology*, 1, pp. 285 - 297. doi:10.1039/c5ew00026b

Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N., & Gekas, V. (2005). Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy Policy*(33), pp. 289 - 296. doi:10.1016/S0301-4215(03)00241-6

Wu, Z., Hou, A., Chang, C., Huang, X., Shi, D., & Wang, Z. (2014). Environmental impacts of large-scale CSP plants in northwestern China. *Environmental Science Processes & Impacts*, 16, pp. 2432 - 2441. doi:10.1039/C4EM00235K

**BÖLÜM 5**  
**GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ VE ÇEVRE**  
**ETKİLERİ**

Sorular ve Cevaplar

**1. Güneş aşağıdaki yenilenebilir enerji kaynaklarının kaynağıdır:**

- a. Güneş enerjisi
- b. Rüzgar enerjisi
- c. Jeotermal enerjisi
- d. Gelgit enerjisi
- e. Biyo enerji

**Cevap: a, b, e**

Doğruysa geribildirim: Doğru

Yanlışsa geribildirim: Yanlış

Güneş aşağıdaki yenilenebilir enerji kaynaklarının kaynağıdır:

Güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve biyo enerji

Jeotermal enerjinin kaynağı yerkürenin

çekirdeğidir

Gelgit enerjisinin kaynağı

Kısmen Doğruysa geribildirim: Kısmen Doğru

Güneş aşağıdaki yenilenebilir enerji kaynaklarının kaynağıdır:

Güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve biyo enerji

Jeotermal enerjinin kaynağı yerkürenin

çekirdeğidir

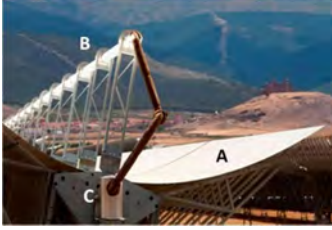
Gelgit enerjisinin kaynağı

**2. Solar termal sistemler hangileri için kullanılabilir?**

- a. Evsel sıcak su üretimi
- b. Çelik üretimi
- c. Havalandırma
- d. Aydınlatma
- e. Alan ısıtması
- f. Proses ısısı
- g. Havuz ısıtması
- h. Mekanik enerji

**Cevap: a, c, e, f, g**

**3. Parabolik oluk figürüne bakın ve soldaki eşyaları sağdaki öğelerle eşleştirin.**



- a. Parabolik oluk reflektörü
- b. Emici tüp
- c. İzleme motoru

Doğruysa geribildirim: Doğru

Yanlışsa geribildirim: Yanlış

- a. Parabolik oluk reflektörü
- b. Emici tüp
- c. İzleme motoru

Kısmen Doğruysa geribildirim: Kısmen Doğru

**4. Izgaraya bağlı bir PV sisteminde, üretilen enerji merkezi bir elektrik Şebekesine beslenir.**

- a. Doğru
- b. Yanlış

**Cevap: a**

Doğruysa geribildirim: Doğru

Yanlışsa geribildirim: Yanlış

Izgaraya bağlı bir PV sisteminde, üretilen enerji merkezi bir elektrik Şebekesine beslenir.

**5. Yenilenebilir enerji projelerinin yaşam döngüsü için aşağıdaki öğeleri doğru sırada düzenleyin**

- a. Hammadde Edinimi
- b. Malzeme İŞleme ve İmalat
- c. İŐaat
- d. Operasyon ve bakım
- e. Söküm
- f. Tasfiye

## BÖLÜM 6

### RÜZGAR ENERJİSİ

**Bölüm yazarı :** Uta ZAEHRINGER

Renewables Academy AG, Schönhauser Allee 10-11, 10119  
Berlin-Almanya

e-mail: zaehringer@renac.de

**Özet:** Güneş enerjisinin kullanımı doğrudan (örneğin güneş enerjisi veya fotovoltaik) veya dolaylı (örneğin rüzgar, hidrojen veya biyoenerji) olarak sınıflandırılabilir. Bu bölüm güneş enerjisinin dolaylı kullanımından biriyle ilgilenmektedir: İlk bölümde rüzgar enerjisinin kullanımına ilişkin fiziksel ve teknolojik temeller ana hatlarıyla belirtilmiştir.

Bir rüzgar santralının su ayak izi, bir PV ve CSP tesisine kıyasla daha az olmasına rağmen, ikinci bölümde özetlenen, rüzgar enerjisi projelerinin inşası, işletilmesi ve işletmeden çıkarma gibi çeşitli çevresel etkileri bulunmaktadır.

#### **Öğrenme hedefleri:**

Bu bölümün sonunda öğrenci şunları yapabilecektir:

- Okuyuculara rüzgar enerjisi teknolojisi hakkında bilgi verebilir.
- Okuyucular, rüzgar enerjisinin yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerini değerlendirebilir.

## 6.1 Rüzgar enerjisi

Rüzgar enerjisi üretmek için rüzgar türbini kullanılır. Rüzgar türbinleri kendisini zaten açıkladığı gibi, enerji kaynağı olarak rüzgar kullanmaktadır. Rüzgar enerjisi güneşten kaynaklanır. Güneş radyasyonu yeryüzüne düşer ve ekvator ile kutuplar arasındaki sıcaklık farkı, dünyayı dolaşan termal akımları veya rüzgarları harekete geçirir. Atmosfer sürekli olarak "rüzgar" üreten büyük bir termal makinedir.

Hava kütlesi düşük ve yüksek basınç alanları arasında akar. Şimdiye kadar, rüzgar endüstrisi tarafından zeminden yaklaşık 200 m yüksekliğe kadar rüzgar "hasat edilebilir". Rüzgar türbinleri, 3 m / s ila 35 m / s rüzgar hızlarında elektrik üretebilir. Bazı özel olarak tasarlanmış rüzgar türbinleri daha düşük veya daha yüksek rüzgar hızlarında bile çalışabilir. Kasırgalar, tayfunlar, fırtınalar çok kullanışlı değildir, çünkü bunlar çok kuvvetlidir ve rüzgar türbinine ciddi hasarlar verebilir.

Rüzgar genellikle hızını ve yönünü değiştirir. Hızlı dalgalanmalara bora ve rüzgarsızlık denir. Bora rüzgâr hızında ani bir artış, rüzgarsızlık ise rüzgar hızındaki ani düşüşlerdir. Bu karışıklık ve sükunet türbülanslardan kaynaklanır.

Rüzgar türbinleri, güçlü fırtınalara dayanacak, kutup veya tropikal hava şartları altında, denize kıyıda veya çöllerde çalışacak şekilde inşa edilebilir. Özel amaçlı çok geniş bir yelpazede farklı tasarımlar mevcuttur.



## 6.2 Rüzgar türbini bileşenleri

### Genel tasarım

Rüzgar türbinleri dikey veya yatay bir eksen, bir kanat yaklaşık 20 rotor bıçak ağzı, bazı vat gücüne kadar bazı megawatt'a kadar küçük kapasiteli, dişli kutusu olsun olmasın, doğru akım veya alternatif akım jeneratörü ile tasarlanmıştır. Üç kanatlı yatay rüzgâr türbinleri en başarılı olanlar olmasına rağmen, genel bir tasarım mevcut değildir. Bu türbinler ile rotor kanatları rüzgarla karşı karşıya iken, rüzgar türbinleriyle motor yeri rüzgara dönüktür.

Rüzgar enerji sisteminin başlıca bileşenleri şunlardır:

- Rotor kanatları
- Kaporta ve kontrol
- Jeneratör ve elektronikler
- Kule bileşenleri

Şekil 6.1, bir rüzgar türbininin bileşenlerini ve Tablo 6.1'de, bileşende kullanılan malzemelere genel bakış verilmektedir. Takip eden bölümde, bileşenlerle ilgili ayrıntılı bilgiler açıklanmaktadır.

### 6.2.1 Rotor kanatları

Rotor kanatları rüzgarı "yakalar" ve hareket enerjisini gövdenin döndürülmesinde kullanır (bkz. Şekil 6.1). Merkez, enerjiyi rotor pervanelerinden jeneratöre yönlendirir. Rüzgar türbinleri bir şanzımana sahipse, gövde yavaş dönen şanzıman şaftına bağlanır ve enerjiyi rüzgardan rotasyon enerjisine dönüştürür.

Türbin doğrudan bir tahrik sistemine sahipse, gövde doğrudan enerjiyi halka jeneratörüne iletir. Her üretici kendi rotor kanadı kavramlarına sahiptir ve yenilikçi tasarımlar üzerine araştırma yapmaktadır; oldukça farklı birçok varyasyon vardır. Genel olarak, tüm modern rotor kanatları, uçağın kanatlarına benzer şekilde inşa edilir (Dünya Rüzgar Enerjisi Birliği, 2011).



Şekil 6.1. Rüzgar enerji türbini bileşenleri (RENAC, 2017)

**Tablo 6.1.** Rüzgar türbini bileşenlerinde kullanılan malzemeler

<b>Bileşen</b>	<b>Malzeme</b>
Temel	Beton, çelik
Kule	Çelik, beton
Aktarma organları	Dökme demir, çelik gresi
Jenertör	Dökme demir, bakır, elektronik
Elektronikler	Kablo, kumanda panosu
Motor yeri	Metal, fiber bileşenler
Rotor kanatları	Fiber bileşenler, çekirdek

Rüzgar türbini rotor kanatları, uçaklar veya kuşlar ile aynı "asansör" prensibini kullanır: Kanadın şekli nedeniyle kanadın altındaki hava akışı üst tarafından daha yavaştır. Bu nedenle basınca karşı başka bir yol vardır. Kanatın üstünde basınç kanat altından daha düşüktür. Bu, bir basınç farkına (kaldırma etkisi) yol açar. Bu kuvvetler rotoru döndürür.

Üç kanatlı rotorun büyük rüzgar türbinleri tarafından enerji üretimi için en verimli rotor olduğu bulunmuştur. Üç rotor kanadı, kütleinin daha iyi dağılımını sağlar ve bu da rotasyonu daha pürüzsüz hale getirir ve ayrıca "daha sakin" bir görünüm sağlar. Rotor bıçakları ağırlıklı olarak

fiberglas, karbon elyafları, ahşap ve metal ile güçlendirilmiş sentetik maddelerden (yıldırımından korunma, vb.) oluşur. Tabakalar genellikle epoksi reçine ile yapıştırılır. Alüminyum ve çelik alaşımları daha ağırdır ve malzeme yorgunluğundan muzdariptir. Bu nedenle, bu malzemeler genellikle sadece çok küçük rüzgar türbinleri için kullanılır. (Dünya Rüzgar Enerjisi Birliği, 2011)

### **6.2.2 Kaporta**

Kaporta tüm türbin makinelerini tutar. Rüzgar yönünü izlemek için döndürülebilmesi gerektiği için, kuleye rulmanlar vasıtasıyla bağlanır. Nacelle, yatak takımları ile rotor mili, dişli kutusu (doğrudan tahrik türbinleri yok), fren (ler), kuplaj, jeneratör, güç elektroniği, soğutma / ısıtma ve küçük vinç bileşenlerinden oluşan aktarma organlarını içerir.

Kaportadaki düzenlemelerin ayrıntıları üreticiden üreticiye değişir.

### **6.2.3 Rüzgar türbini kuleleri**

Rüzgar türbini kuleleri beton, metal, ahşap veya bu malzemelerin birleşiminden yapılır. Çoğu büyük rüzgar türbinleri, kesit halinde imal edilen boru şeklinde çelik kulelerle inşa edilmiştir. Çelik kuleler, beton kuleler, kafes kule, melez kuleler ve gergili boru kuleleri rüzgar kuleleri türleridir.

Çelik kuleler genellikle iki ila dört parçadan oluşurlar. Her biri, her iki ucunda da flanşlı, 20 - 30 metre uzunluğa sahiptir. Rüzgar santrali mevkiinde birlikte cıvatalanırlar.

Beton kule, rüzgar santrali sahasında birlikte sabitlenmiş özel olarak geliştirilmiş bölümler kullanılarak yapılabilir. Kule bölümleri tamamen ön döküm tesisinde imal edilmektedir. Ayrıca, kule, tırmanma kalıbıyla (mahalinde beton olarak anılacaktır) mahalinde tamamen inşa edilmiş olabilir.

Kafes kule yapımı yöntemi, malzemenin yalnızca yapının içine kuvvet verilmesi gereken noktalarda kullanılması prensibine dayanır. Bu yöntemi kullanarak, kulenin ağırlığını azaltmak mümkündür.

Hibrid kuleler, ön bastırılmış beton bölmeli kuleyle üstteki boru şekilli çelik kısımları birleştirir. Avantajı, özellikle büyük çaplı çelik kulelerin taşınmasının sorunlu olduğu ve beton bölümlerin yerel olarak üretilebildiği ülkelerde sıradan kamyonlar vasıtasıyla parçaların kolayca taşınabilmesidir.

Gergili boru kuleleri sadece küçük rüzgar türbinleri için kullanılır. Bunlar hafiftir ve bir vinç olmadan kurulabilirler.

### **6.3 Rüzgar enerjisi kullanımının çevresel etkileri**

Bir rüzgar enerjisi santralinde, inşaat, işletme ve işletmeden çıkarma aşamalarında çeşitli çevresel etkiler oluşur. Tablo 6.2, bir rüzgar enerjisi tesisi tarafından olası çevresel etkileri ortaya koymaktadır. Örneğin, bir rüzgar santralinin su ayak izi, PV ve CSP Tesisi ile

karşılaştırıldığında daha azdır. Rüzgar santralinin işletilmesi esasındaki etkiler ilerleyen bölümlerde tartışılacaktır.

**Tablo 6.2.** Rüzgar enerji santralinden kaynaklanan çevresel etkiler E (Hernandez, et al., 2014 and Saidur, Rahim, Islam, & Solangi, 2011).

<b>Hammadde edinme</b>	<b>Üretim</b>	<b>İnşaat</b>	<b>İşletim</b>	<b>İşletmeden çıkarma</b>
Biyolojik çeşitlilik kaybı	Su stresi ve kirlilik	Biyolojik çeşitlilik kaybı	Vahşi yaşam etkileri	Toz oluşumu
Habitat kaybı	Atık üretimi	Su, toprak kirliliği	Görsel etki	Atık oluşumu
Toksik atıksu		Nakliye dolayısıyla toprak hareketleri		
Atık üretimi				
Doğal kaynakların tüketimi				
CO <sub>2</sub> ve diğer GHG gaz emisyonları				
Gürültü kirliliği				

### **6.3.1 Vahşi yaşam etkisi**

Rüzgar santrallerinin kuş türlerine olan etkileri gösteren pek çok çalışma bulunmaktadır (H Kunz ve diğerleri,

2007) (Drewitt & Langston, 2006) (Saidur, Rahim, İslam ve Solangi, 2011). Avcılıktan öldürülen kuş sayısıyla karşılaştırıldığında, rüzgar çiftliği nedeniyle ölenlerin sayısı azdır. Fakat yine de rüzgar santralinden gelen bu tür etkiler tesisin yer seçiminin mümkün olduğunca en küçük etkiye sahip olması için önceden doğru bir çalışma ile önlenabilir. S. Mariò ve diğerleri (2010) tarafından yapılan bir çalışmada "Köprü kuzeybatısında dağ ekosistemlerinde rüzgar santralleri kurulmasına tepki olarak omurgalı türlerin zenginliği eğilimlerinin öngörülmesi" başlıklı yazıda, kötü hava koşullarında veya sisli gecelerde rüzgar santrallerinden çıkan ışıkların kuşları çekip rüzgar türbini bıçakları ile çarpıştıklarını açıkladı (Santos ve diğerleri, 2010). Rüzgâr santralinde kulenin tasarımı da kuşların ölüm oranı faktörlerinden biridir. Daha düşük gövde yükseklikleri, daha kısa rotor çapları olan daha eski türbinler bıçakların yüksek RPM'de dönmesine ve dolayısıyla kuş ölüm hızı için daha yüksek savunmasızlığa neden olmaktadır (Magoha, 2002).

### **6.3.2 Görsel etkiler**

Rüzgar enerjisi teknolojilerine, renklerine, boyutlarına, konut mesafelerine ve gölgeli titreşime bağlı olarak bir rüzgar santralinin etkileri değişebilir (Ladenburg, Denizde rüzgar çiftliklerinin görsel etki değerlendirmesi ve önceki deneyim, 2009). Görsel darbeyi azaltmak için, rüzgar türbinleri tabanda yeşil renkte olup üstte yavaş yavaş açık gri renkte boyanmıştır. Gölge titreşimi, hareketli bıçakla veya rüzgar türbini gövdesi üzerindeki güneş ışınlarının yansımalarıyla oluşur; bu da disko etkisi

olarak adlandırılır (Saidur, Rahim, Islam, & Solangi, 2011).

Bu etki uzun sürmez ve yalnızca aşağıda verilen belirli kombine koşullarda oluşur.

- güneş düşük bir açı ile parlıyor ve
- türbin doğrudan güneş ile etkilenen mülk arasında bulunur ve
- rüzgar hızı türbinin rüzgar hızında kesilir (türbin kanatlarının hareket ettiğinden emin olmak için). (İrlanda Çevre, Miras ve Yerel Yönetim Dairesi, 2006)

Gölge titreşimi dikkatli alan seçimi, tasarım ve planlamadan etkilenebilir.

### **6.3.3 Gürültü etkileri**

Bir rüzgar türbininden salınan gürültü aerodinamik veya mekanik tip olarak kategorize edilebilir. Dişli kutusu, elektrik jeneratörü ve yataklardaki hareketlerden kaynaklanan ses, bir türbinin bıçaklarının üzerinden geçen hava akışının aerodinamik olarak geliştirdiği mekanik tür ve seslerdir. Bu tür sesler türbinin boyu, rüzgar yönü ile değişir ve yakınlardaki sakinleri rahatsız edebilir. Gürültü darbeleri, bir rüzgar santralının yakınlardaki arazi değerinin düşürülmesinin nedenlerinden biri olarak da görülüyor. Çalışma esnasındaki mekanik sesler, izolasyon perdeleri ve titreşim önleyici destek tabanları kullanılarak azaltılabilir. Aerodinamik gürültü, bıçakları hareket sırasında minimum gürültünün yaratılmasıyla en aza indirilebilecek şekilde tasarlanabilir (Saidur, Rahim, Islam, & Solangi, 2011) (Gauld, 2007). Pansiyon, hastane, yerleşim alanları gibi gürültüye duyarlı noktalarda halkın



kabulünü sağlamak için rüzgar çiftliği düzeninin dikkatli bir şekilde planlanması gereklidir. Örneğin, Almanya olarak bilinen Bavyera olarak bilinen bir ülkede, rüzgar santrallerinden kaynaklanacak herhangi bir etkiden kaçınmak için bir rüzgar türbini ve yerleşim alanları arasındaki mesafenin rüzgar türbininin 10 katına çıktığı bir kural uygulanmıştır.

## References

Drewitt, A., & Langston, R. (2006). Assessing the impacts of wind farms on birds. *International journal of avian science*, 148, pp. 29 - 42.

Gauld, R. (2007). *Wind developments: Ecological, technical and social impact considerations*. Orkney Sustainable Energy Ltd.

H Kunz, T., Arnett, E. B., Erickson, W. P., Hoar, A. R., Johnson, G. D., Larkin, R. P., Tuttle, M. D. (2007). Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(6), pp. 315 - 324.

İrlanda Çevre, Miras ve Yerel Yönetim Dairesi, 2006 (2006).

Ladenburg, J. (2009). Visual impact assessment of offshore wind farms and prior experience. *Applied Energy*, 86, pp. 380-387.

Ladenburg, J. (2009). Visual impact assessment of offshore wind farms and prior experience. *Applied Energy*, 86, pp. 380-387. doi:10.1016/j.apenergy.2008.05.005

Magotha, P. W. (2002). Footprints in the wind?: environmental impacts of wind power development. *Fuel and Energy Abstracts*, 3(5), pp. 30-33. doi:10.1016/S1471-0846(02)80083-X.

Mário S, B. R. (2010). Predicting the trends of vertebrate species richness as a response to wind farms installation in mountain ecosystems of northwest Portugal. *Ecological Indicators*, 10, pp. 192 - 205.

Renewables Academy (RENAC) AG. (2017). Environmental and social standards in renewable energy (PV, wind and biomass) project finance. Berlin, Germany.

Saidur, R., Rahim, N., Islam, M., & Solangi, K. (2011). Environmental impact of wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5), pp. 2423 - 2430. doi:10.1016/j.rser.2011.02.024

Dünya Enerji Birliği, (2011).

## **BÖLÜM 6**

### **RÜZGAR ENERJİSİ**

Sorular ve Cevaplar

#### **1. Rüzgar nereden gelir?**

- a) Rüzgar enerjisi, ayın dünya etrafındaki hareketinden kaynaklanır
- b) Rüzgar enerjisi, dünyanın manyetik alanından ve anomalilerinden kaynaklanır. Jeo-manyetik alanın manyetik akı çizgileri, yerel bulutları dünyanın yüzeyinden kutup eksenine göre farklı açılarda hızlandırır.
- c) Rüzgar enerjisi dünyanın magmasından kaynaklanır. Eğer yeryüzünün içinden yükselen magma yeraltı suyu ile temasa geçerse, birçok buhar patlamasını tetikler ve bulutları ve düşük basınçlı alanları oluşturur.
- d) Rüzgar enerjisi güneş ışınımından kaynaklanır. Ekvator ve kutuplar arasındaki sıcaklık farkı, dünyanın etrafında dolaşan termal akımları (veya rüzgarları) harekete geçirir.
- e) Atmosfer, sürekli olarak rüzgar “üreten” büyük bir termal makinedir.

**Cevap: d ve e**

**2. Aşağıdaki parametrelerden hangisi geleneksel bir rüzgar türbininin rotor kanatlarını döndürmeyi sağlar?**

- a) Rotorun alt tarafındaki hava akımı ve üst taraf arasındaki basınç farkı.
- b) Rotorun alt tarafındaki hava akımı ve üst taraf arasındaki sıcaklık farkı.
- c) Rotor kanadının aşağı tarafındaki hava akışı ve üst taraf arasındaki yön farkı.
- d) Hiçbiri

**Cevap: a**

**3. Rüzgar çiftliği planlama aşamasının üç adımını en üstteki ilk adımdan başlayarak en altta son adımla biten, doğru sıraya koyun.**

- a) Beklenen enerji verimi ve ekonomik uygulanabilirliği içeren saha analizi
- b) Seçilen sitenin fizibilitesi hakkında ilk araştırmalar
- c) Gerçek planlama prosedürü (sözleşmeler, inşaat süreci vb.içeren)

4. Bir rüzgar çiftliği planlanırken dikkat edilmesi gereken ilgili yönleri (solda) detaylı bilgilerle (sağda) eşleştirin.

Şebeke bağlantısı	Uygun güç bağlantı noktasına olan mesafe
Siteye erişim	Büyük makinelerin nakliyesi için yolların yeterliliği
Arazi kullanımı	Rüzgar çiftliği olarak kullanılacak yerin mülkiyeti
Çevre	Gürültü, gölge titreşimi ve doğal miras üzerindeki etkisi

5. Rüzgar enerjisi rakipleri, rüzgar çiftçilerine karşı çıkmak için bir sebep olarak genellikle gölge titremesinden olası sağlık etkilerini belirtmektedir. Genel olarak, gölge titremesi aşağıdakilerden hangisinden etkilenebilir?

- Hiç
- Dikkatli arazi seçimi, tasarım ve planlama
- Ses rüzgârı düzenleyici düzenlemeler, örneğin rüzgar türbinleri ve meskenler arasındaki minimum mesafe

**Cevap: b ve c**



## BÖLÜM 7

### DALGA, GELGİT VE HİDROJEN ENERJİSİ

Bölüm yazarı: Aleksandra Sretenovic

Makine Mühendisliği Bölümü, Belgrade Üniversitesi, Belgrad, Sırbistan.

e-mail: [asretenovic@mas.bg.ac.rs](mailto:asretenovic@mas.bg.ac.rs)

**Özet:** Bu bölüm dalga ve gel-git enerjisinin elektrik üretimi için kullanımını içermektedir. Bu teknolojiyi kullanmanın olasılıkları ve limitasyonları tartışılacaktır. Gel-git türbinleri, gel-git barajları ve dalga yakalama cihazlarını kapsayan teknolojik gelişmeler kullanılan ekipmanlarla birlikte sunulmaktadır. Dalga ve gel-git enerji eldesinin çevresel etkileri de tartışılmaktadır.

Endüstriyel hidrojen gazı üretimi ve bunun çevre üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Hidrojen üretildiğinde neredeyse mükemmel bir enerji taşıyıcısıdır. Yakıt

hücrelerinde elektrik ve ısı üretmek için kullanılabilir. Hidrojen gazı depolaması, taşınması ve kullanımına yönelik teknolojiler sunulmaktadır. Hidrojen gazı uygulamasının güvenilirliği ve ekonomik yönü tartışılmıştır.

Öğrenme çıktıları:

Bu bölüm ile birlikte;

- Dalga ve gelgit potansiyellerini yenilenebilir enerji kaynağı olarak anlarlar
- Bu enerji kaynaklarının çevresel etkilerini kavrarlar
- Avantajları ve dezavantajlarına yönelik soru işaretlerini kritik edebilirler.
- Hidrojenin enerji kaynağı olarak kullanımı konusunda tartışabilirler.
- Hidrojen üretiminde kullanılan teknolojileri avantajları ve dezavantajları ile irdeleyebilirler.
- Hidrojen üretiminin ve enerji olarak kullanımının çevresel etkilerini görürler.

## **7.1. Dalga ve gelgitlerin elektrik üretiminde potansiyelleri**

'Islak Yenilenebilirler' terimi, açık deniz rüzgar enerjisi alanındaki gelişmelerin yanı sıra gelgit barajları / çitler, gelgit akımı ve dalga enerji düzenleri için yaygın olarak kullanılmaktadır (Frid ve ark., 2012). Bu enerji kaynaklarının kullanılması, önemli miktarda sahil şeridi olan ülkeler için özellikle öne çıkmaktadır. Dünya Enerji Konseyi, okyanuslardaki yenilenebilir enerjinin %0.1 'i



kadarının elektriğe dönüştürülebildiği bir durumun, dünyanın ihtiyaç duyduğu enerji talebinin beş kattan fazla karşılanabileceğini ifade ettiğini söylemektedir (Council, 2016). Dünyada tahminen yaklaşık 3000 GW'lık gelgit enerjisi potansiyeli mevcutken, 2002-2007 Dünya Offshore Yenilenebilir Enerji Raporu (Esteban & Leary, 2012)'na göre, enerji üretimi içerisinde alabildiği pay % 3'ten daha azdır. Maalesef, bu okyanus enerji kaynağının yalnızca küçük bir kısmı mevcut teknolojiler ile ekonomik olarak değerlendirilebilir. Avrupa'da gelgit enerji kaynağının %48 kadarının İngiltere, %42 kadarının Fransa ve %8 kadarının İrlanda'da olduğu belirtilmektedir. Dalga enerjisi potansiyelinin yaklaşık 1000-10000GW kadar olduğu tahminiyle bu değer dünya elektrik ihtiyacına eşit miktarda olduğu belirtilmektedir. Gel-git akımlarının enerji kaynağı olarak önemli avantajı dalgaların (veya rüzgarın) öngörülebilirliğidir, çünkü gelgitler haftalar veya yıllar öncesinde doğru olarak tahmin edilebilir.

## **Gel-git**

Gelgit enerjisini bu kadar ilginç kılan husus gelgitlerin düzeni ve içerdikleri yüksek miktardaki potansiyel enerjisidir (Pelc& Fujita, 2002). Gelgit, güneşin, ayın ve yerkürenin etkileriyle, dünya ve ayın birbirlerine karşı rotasyonları ile okyanus yüzeyinin düzenli olarak yükselmesi ve alçalması olayıdır. Ayın dünyaya daha yakın olduğu göz önüne alınırsa, ayın yerçekiminin güneşe kıyasla 2.2 kat daha fazla olduğu görülür. Gelgitler sahile kıyısı olan, dar kanallar arasından su akışına izin veren kıyı şeridi bölgelerde söz konusudur.

Bu akımlar iki yönlüdür; sahil şeridi boyunca yönlenecek akışlar ki bu med/taşkın akımı, ve sahilten geri çekilme cezir/alçalma akımı. Gelgit enerjisi potansiyel ve kinetik enerji bileşenlerinden oluşur. Dolayısıyla, gelgit gücünü kullanan tesisler iki şekilde kategorize edilebilirler: potansiyel enerjiyi kullanan gelgit barajları ve kinetik enerjiyi kullanabilen gelgit akım türbinleri.

### **Gelgit barajları**

Gelgit barajı, havzanın girişinde bir gelgit deposu oluşturacak şekilde düşük yükselteli baraj duvarının ("baraj") inşasını içeren bir yapıdır ve böylece gelgit gücü üretimi mümkün olmaktadır (Şekil 7.1). Bu baraj, genişliği boyunca yerleştirilen denizsu akışını yönlendiren "suyolu kapakları" olarak isimlendirilen sualtı tünelleri içermektedir. Bu tüneller içerisinde sabit su türbinleri mevcut olup bunlar sudaki kinetik enerjiyi gelgit elektriğine çevirirler. Hidroelektrik santrallerindeki üretim gibi gelgit barajlarında da enerji üretiminde temel hususlar mevcuttur. Fark, gelgit akımları iki yönlü akış sergilerler ki her bir su akışında enerji elde edilebilir.

Gelgit mesafesi denizin yüksek ve düşük seviyeleri arasındaki farktır (<http://www.alternative-energy-tutorials.com.html>). Gelgitin dikey düzlemde yüksek ve düşük seviyelerde hareketi göz önüne alındığında, potansiyel enerjinin depolanabileceği bir yükseklik farkı yaratılmış olur. Bu yük, barajın iki tarafında su seviyesi farkı yaratılmasına neden olur ve su bu sırada türbinlerden geçerken elektrik üretilmiş olur. 3 farklı gelgit enerji barajı şeması mevcuttur:

- Taşkın üretimi: Gel sırasında suyun gelgit rezarvaruarına alınarak gelgit gücünün üretilmesi

- Çekilme üretimi: Git sırasında suyun rezervuarlardan boşalması sırasında elde edilen güç.
- İki yönlü üretim: Her iki durumda da su akışı sırasında gücün kullanılması durumudur.



Şekil 7.1. Gelgit barajı ("<http://www.alternative-energy-tutorials.com.html>)

Çekilmeye dayalı üretim sisteminde (gel) taşkın sırasında, kapı girişleri açılır, su taşkınının gelgit barajında su rezervlerini doldurması sağlanır. Yüksek seviyede ise baraj kapakları kapatılarak toplanan su hapsedilir. Yeterince yükseklik farkı yakalandığında bu kez türbin kapakları açılır ve toplanan suyun türbinler üzerinden akması sağlanır. Elektrik üretimi hidrostatik yükün düşmesine kadar devam eder. Kapaklar yeniden açılarak yine rezervlerin su ile dolması sağlanır. Bu operasyonel yöntem (çekilme üretimi) en fazla gücün üretildiği yöntemdir. Aynı zamanda taşkın esnasında da güç üretimi söz konusu olabilir. Her iki gel-git akışları ikili moda sahip cihazlarla değerlendirilebilir. İlk gelgit

barajları 1966 yılında Fransa'da La Rance adlı tesisin devreye alınması ile kullanıldığı bilinmektedir ve günümüzde hala kullanılmaktadır (Esteban&Leary, 2012). Günümüzde, bu sistemlerin uygulamaları konusunda en ciddi yatırımı yapan ülke Kuzey Kore'dir. Diğer ülkelere ciddi inşaat yatırımları gereksinimi, yaratabilecekleri potansiyel çevresel problemleri gerekçeleriyle hala bu sistemlerin ekonomik değerlendirmelerini yapmaktadır. 2008 yılında Pelamis Projesi (Portekizde) ve SeaGen (Kuzey İrlanda'da)projeleri ile gelgit enerjisinin ticari hale gelmesi bu sistemlerin daha yeni üretime başlamış olması nedeniyle daha çok yenidir.

Gelgit barajı inşaatı yüksek miktarlarda materyal ihtiyacı duyar ve yüksek miktarlarda suyun barajlara alımını gerekli kılar (Rourke, Boyle & Reynolds, 2010). Bu barajların en önemli problemi çevresel etkileridir. Barajın tüm havza veya koy içerisinde inşaatı, doğal gelgit akımlarını, sualtı hayatını, su kalitesini ve tortu hareketini etkileyebilir. Gelgit barajları balıkların ve diğer deniz canlılarının göç yollarını etkileyebilir. Çekilme üretiminde havzanın yüksek miktarda su içermesinin gerekliliği nedeniyle bu problem önemli değildir.

## **Gelgit Türbinleri**

Gelgit akımı türbinleri gelgit sırasındaki akıdaki kinetik enerjiyi kullanarak elektrik üretir (Rourke ve ark., 2010). Gelgit akım üreteçleri su altındaki rüzgar çiftliklerine benzediğinden, ilk bakışta rüzgar enerjisi teknolojileri ile

benzermiş gibi görülebilir. Ancak, hava ve su arasındaki yoğunluk ve hızları farkından ötürü işletilmeleri sırasında çeşitli operasyonel farklılıklar mevcuttur. Sahil kenarı rüzgar gücü jeneratörleri fırtınalar ya da deniz tarafından tahrip edilirken, deniz seviyesinin altına sabitlenerek yerleştirilen gelgit türbinleri bu durumdan etkilenmezler. Suyun altına gömülü türbinleri düşündüğünüzde, bunların rüzgar türbinlerine kıyasla çok daha fazla kuvvet ve moment etkisi altında kaldığını görebilirsiniz. Elektrik üretmedikleri esnada, ve belli periyotlarda bu sistemler bu şartlara dayanıklı olarak üretilmeli, her iki durumda da (taşkın ve çekilme) elektrik üretebilmelidirler.

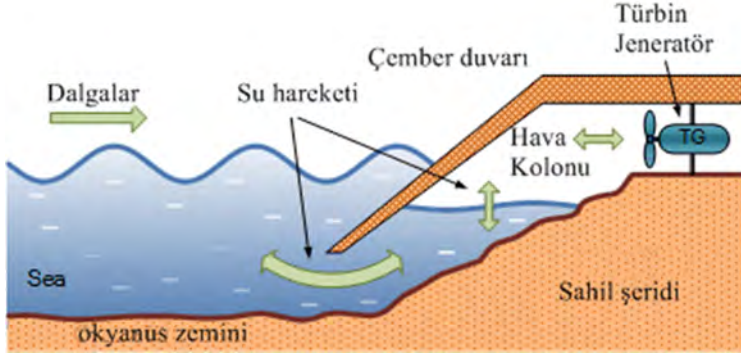
Gelgit enerjisini alabilmek için iki genel metot söz konusudur:

- Yatay merkezli gelgit akımı türbinleri. Türbin bıçakları yatay ekseninde hareket ederken aynı zamanda su akışı yönünde hareket etmiş olurlar.
- Dikey merkezli gelgit akımı türbinleri. Bu türbinlerde ise bıçaklar su akışına dik olarak hareket ettirilirlir.

Temel gelgit akımlarının olduğu bölgeler: Kuzey Buz Denizi, İngiliz Kanalı, İrlanda Denizi, Meksika Körfezi, Amazon, Macellan Boğazı, Cebelitarık vb.

## **Dalga enerjisi değerlendirmesi**

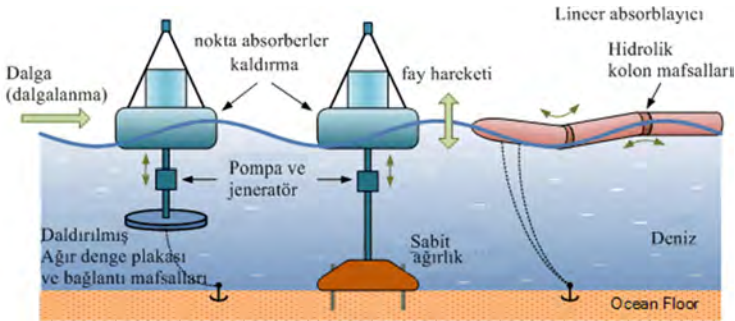
Dalga enerjisi için en önemli dezavantaj enerji kaynağıdır. Çünkü bu rüzgara bağlı olup genellikle gelişigüzel çoğu zaman sezona bağlı bir durumdur (Antonio, 2010). 1970lerdeki petrol krizi, dalgalardan enerji üretimi konusunu öne çıkarmıştır. Dalga enerjisi soğurumu ciddi teorik güçlükler içeren karmaşık hidrodinamik bir prosestir. Dolayısıyla, dalga enerjisi üzerine ilk çalışmalar ve makaleler genellikle teoriktir. 1991’de Avrupa Komisyonu dalga enerjisini araştırma geliştirme programına dahil etmiş, ve ilk proje geliştirilmeye başlamıştır. Şu anda, çok çeşitli dalga enerjisi yakalama teknolojileri mevcut olup, dalgalardan bu enerjinin soğurulmasına farklı yöntemler önermektedir. Tespit edilen teknoloji aynı zamanda deniz derinliğine ve lokasyona (açıkta, sahile yakın, sahil şeridi) da bağlıdır. İlk prototip kolay kurulumu ve bakıma sahip bir kıyı şeridi tipi bir cihazdı ve cihaz derin su bağlantıları ve uzun su altı elektrik kabloları gerektirmeyen bir sisteme sahipti. Tipik ilk üretim cihazı hava türbinli titreşimli su kolonudur. Titreşimli su kolonu su kolonu, su yüzeyinin altından açılan kısmen batık bir yapıdan oluşur (Şekil 7.2). Dalgalar tarafından su hareketi ile üretilen titreşim havayı elektrik üretmek üzere kullanılan türbinlere yönlenebilir.



**Şekil 7.2.** Titreşimli su kolonu ([http://www.alternative – energy-tutorials.com.html](http://www.alternative-energy-tutorials.com.html))

Titreşimli su sütununda kullanılan rüzgar türbini jeneratörünün türü, etkinliğinin ana unsurudur. Çemberdeki hava, suyun düşey (yukarı ve aşağı) hareketi nedeniyle sürekli hareket yönünü değiştirerek türbin aracılığıyla emme ve üfleme etkisine neden olur. Bu problemin üstesinden gelmek için, bu sistemlerde kullanılan rüzgar türbini türüne Wells Türbini denir. Wells türbini, sütundaki hava akışının yönü ne olursa olsun aynı yönde dönme özelliğine sahiptir. Kinetik enerji tersine çevrilen hava akışından çıkarılır ve bir elektrik indüksiyon jeneratörü kullanır. Bu teknoloji GHG üretmez, doğal rüzgar enerjisinin kullanılması ile yenilebilir ve kirletmeyen bir enerji kaynağı oluşturur. Kıyı şeridindeki sistemin avantajı, ana hareketli parçanın yani türbinin arazide olması nedeniyle onarım veya bakım için kolaylıkla çıkarılabilmesidir. Dezavantajı, salınımlı dalga kolonlarının çıktılarının, mevsime göre gün geçtikçe değişen dalga enerjisinin seviyesine bağlı olmasıdır.

Açıktaki cihazlar ise su yüzeyinde yüzen salınım ve titreşim yapan açık derin denizlerde bulunan ve en yüksek enerjiyi üretebilen sistemlerdir ( Şekil 7.3). En basit dalga yakalama cihazları, sabit çerçeveye (deniz dibine veya altına sabitlenmiş yapıya karşı) tepki veren şamandıradan oluşmaktadır. Dalgaların atılması, bir emici ve reaksiyon noktası arasında görelî bir harekete neden olur. Lineer emici (dalga zayıflatıcısı) su yüzeyinde yüzer, okyanus zeminine bağlanmış olup, böylece gelen dalgalara dik olarak salınabilir. Dalgalar, yılan görünümlü bu enerji yakalayıcı uzun cihazın üzerinden geçerken, uzun silindirik gövdenin dalgaların salınımları ile önce aşağıya sarkmasına ve sonrasında dalga ile birlikte yukarıya doğru kıvrılmasına neden olurlar. Cihazın gövdesi üzerindeki bağlantılar esnek olup, hidrolik gücün yarattığı basıya dayanmak zorundadır. Hidrolik mengene, jeneratörü çalıştıran bir hidrolik motor için yağın dolaşmasını sağlayarak elektrik üretir.

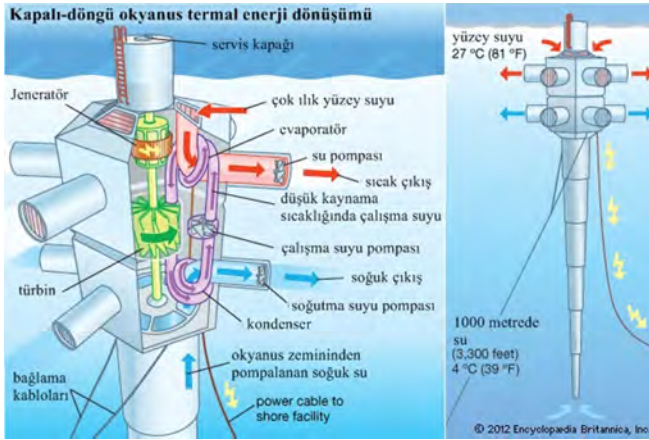


Şekil 7.3. Dalga yakalama aleti ([http://www.alternative – energy-tutorials.com.html](http://www.alternative-energy-tutorials.com.html))



## Diğer okyanus enerjisi potansiyelleri

Okynus termal enerji dönüşümü (OTEC) Şekil 7.4' de görülmektedir. Sistem, okyanuslarda zaten bulunan doğal termal farkı kullanarak enerji üretir. Su yüzeyinde ılık yüzeyde süregelen buharlaşmadan ötürü depolanmış ısı, derin denizlerde 1000 m gibi derinlerde soğuk ortamla birlikte bir sıcaklık gradienti oluşturur (Pelc & Fujita, 2002). Bu proseste amonyak gibi Rankin döngüsünde buharlaşıp kondanse olabilen alternatif bir akışkan kullanılır. Genellikle, buharlaşmış amonyaktaki enerji, elektrik şebekesi için elektrik enerjisi üretmek üzere çeviren bir türbinle yakalanır. OTEC ile büyük ısı farklarına sahip yerlerde, bir ısı motoruyla enerji çıkartmak mümkündür. Toplamda, okyanusun termal yapısını etkilemeksizin OTEC tarafından yaklaşık olarak 10TW'lık bir gücün, şu anki küresel enerji talebine eşdeğer miktarın üretilebileceği hesaplanmaktadır.



Şekil 7.4. Okyanus termal enerji dönüşümü

Tuzluluk oranları, ozmotik işlem yoluyla enerji çekilmesi için de kullanılabilir. Deniz biyokütlesi yetiştiriciliği, elektrik üretimi için yenilenebilir yakıtlar da dahil olmak üzere birçok faydalı ürün verebilir. Bununla birlikte, teknoloji sınırlamaları ve ekonomik faktörler nedeniyle ozmotik ve termal enerji gelişmeleri sınırlıdır.

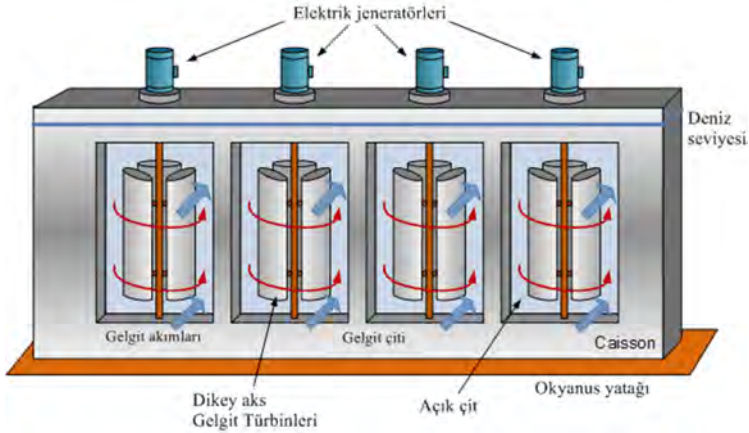
## **7.2. Dalga ve gel-git enerjisinin çevresel etkileri**

Bugüne kadar, gelgit çitleri ve dalga enerjisi yakalama cihazları sadece birkaç deneysel model olarak kullanıldığından çevresel etkileri tahminleri çok sınırlı kalmış ancak ampirik verilere dayanmaktadır.

Gelgit barajlarının sulak alanlarda kuşların beslenme ya da yavrulama/üreme alanlarında inşaa edilmesinin önemli çevresel etkilere neden olduğu düşünülebilir. Bu etkiler üç ana kategoriye ayrılabilir: 1) habitat ve türler üzerindeki etkileri, 2) üreme ve iyileştirme üzerindeki doğrudan etkileri ve 3) su kolonu süreçleri ve hidrolojide etkileri. Gelgit baraj, türlerin üremesi, göçünü ve tesisin hem yukarı hem de altındaki habitatları etkiler. Dalga enerjisi toplayıcısı konfigürasyonlarına bağlı olarak, enerji sisteminin hareketli parçalarının neden olduğu deniz yaşam alanlarını da değiştirebilir (Frid ve ark., 2012).

Barajın yaşam döngüsünün 100 yıldan fazla olduğu göz önüne alındığında, bu etkiler uzun vadede ve dikkatli bir şekilde araştırılmalıdır. Gelgit rejimleri ve su tutulumundaki değişiklikler, kuş toplulukları ve bentik yaşama ortamı üzerinde etkiler gösterir. Eğer bölge balık göç rotasında (somon, yılan balığı, gölgelik)

bulunuyorsa, bölgesel yaşam alanının bir miktar kaybı kaçınılmaz olsa da balıklar için ihtiyaç duydukları göç geçişini sağlamak gereklidir . Baraj, ara yüzlerdeki akış debilerinde, daha yavaş akımlarda, azalan tuzluluk derecelerinde ve değişen alt su özelliklerinde de değişimlere neden olur. Yakın zamandaki gelişmeler, gelgit akışlarının çok daha hızlı şekilde değerlendirildiği, kanalın tamamına yayılmış türbinlerden oluşan sistemleri getirmiştir (Şekil 7.5).



**Şekil 7.5.** Gelgit çitleri (<http://www.alternative-energy-tutorials.com>)

Türbinler kanalda balık, su ve tortu geçişine izin verecek şekilde tasarlanmıştır. Haliç ağzında bulunan gelgit tesisleri, büyük barajlarla aynı çevre sorunlarına neden olur. Haliçler nedeniyle tuzlu suyun akışı değişebileceği gibi, gelgit bitkileri bu hassas ortamların hidrolojisini ve tuzluluğunu da etkileyebilir. Haliç birçok deniz

organizması için bir gelişme ortamı ve aynı zamanda da haliç organizmaları için benzersiz ve yeri doldurulamayan bir yaşam alanı olarak hizmet etmektedir. Büyük gelgitler ve bu yolla ortama gelen bitkilerin ortama hakim olması ile bu yaşam alanının değiştirilmesinden kaçınılmalıdır. La Rance'deki gelgit tesisi inşası safhasında, haliç 2-3 yıl boyunca okyanusa tamamen kapatılmış ve haliçin yeni bir ekolojik dengeye ulaşması için bu süre çok uzun olmuştur. Dolayısıyla gelecekte, herhangi bir yeni gelgit barajının inşasında okyanustan tamamen uzaklaşmamalıdır. Bu tesisler, detaylı çevresel değerlendirmeler yapılarak, deniz ekosistemi üzerinde en ufak bir etkiye sahip olana kadar önlemler alınarak inşa edilmelidir. Gelgit çitler ve gelgit türbinleri muhtemelen çevre açısından daha ılımlıdır. Gelgit çitler, göç yolları üzerinde balıkların ve deniz vahşi hayatının bu kanallardan geçişmesini zorlaştıran durumlar yaratması olumsuz bir çevresel etki olarak değerlendirilebilir. Deniz memelileri ve daha büyük hayvanları uzak tutacak bir çit ya da deniz memelileri tespit edildiğinde sistemi kapatan bir sonar sensörü sistemi ilavesi ile bu problem önlenebilir. Gelgit türbinleri en çevreci güç üretici seçeneği olabilir. Çünkü bunlar, kanalları veya nehir ağzlarını tıkmıyorlar, balık göçünü kesmiyorlar veya hidrolojiyi değiştirmiyorlar. Gelgit türbinleri ve çitleri, okyanus üzerinde büyük bir etki yaratmadan önemli miktarda üretim kapasitesi sunabilirken, gelgit barajları ise deniz ekosistemine zarar verebilmektedir. Gelgit enerji projeleri, büyük göç kanallarının açık kalacağı şekilde yerleştirilmeli ve inşa edilmelidir. Türbinler yavaş yavaş dönerek balık ölüm hızını en aza indirmeli ve besin maddeleri ve tortu

taşınımları büyük ölçüde etkilenmemelidir. Dalga enerji dönüştürücüler, doğal yüksek değişkenliğine bağlı olarak, bentik topluluk (makrofarunal biyokütle, yoğunluklar, tür zenginliği ve biyoçeşitlilik) üzerinde düşük miktarda doğrudan etkilere sahiptir.

### **7.3 Hidrojen enerjisi**

Hidrojen çevremizdeki en bol elementtir, ancak metan (CH<sub>4</sub>), su (H<sub>2</sub>O) ve amonyak (NH<sub>3</sub>) gibi bileşikler oluşturarak daima diğer elementlerle bağlanır. Serbestçe bulunamaması kullanılması için öncelikle ayrılmasını gerekli kılar ve bu durum da bir enerji kaynağı olarak bu kaynağın değerinde önemli rol oynar. Bu ayırım işlemi, ciddi miktarlarda enerji gereksinimine sahip olup bu gereksinim genellikle fosil kaynaklar ya da sürdürülebilir enerji kaynaklarından temin edilir. Hidrojen, çok sık olarak “geleceğin yakıtı” olarak ifade edilmekte ve sergilediği birçok avantaj bu ismi hak etmesini sağlamaktadır (Tabak, 2009). Çabuk yanar, birim kütlesi başına yüksek miktarda ısı açığa çıkarır. Hidrojen ayrıca yakıt pili/hücreleri olarak güç üretimi sistemlerinde kullanılmaktadır. Teorik olarak, hidrojen kullanımında olan ve hidrojen kaynağı olan suda bulunur ve bu nedenle yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Birçok araştırmacı, hidrojenin sergilediği avantajlardan dolayı fosil yakıtların yerini alacak alternatif enerjinin hidrojen olacağını kabul eder. Bununla birlikte, şu anda pratik kullanımında önemli engeller mevcuttur:

- Üretimi ve nakliyesi maliyetlidir.
- Otomotiv yakıtı olarak, depolanması için çok fazla yer ve geniş bir alana ihtiyaç duyulması, otomobil tasarımları ve dolayısıyla sürücüler için problemidir.
- Yakıt hücreleri şimdiye kadar çok pahalı sistemlerle üretilebilmekte, ve dolayısı ile pratik uygulamalarda önemli bir engel teşkil etmektedir.

Mevcut enerji politikalarında hidrojen teknolojilerini bu kadar ilginç kılan iki husus: özellikle yenilenebilir enerjiler için kesikli enerji kaynağı olması ve taşımacılık için fosil yakıtların yerini alabilecek olmasıdır (Leveque ve ark., 2010). Genel olarak bakılırsa fosil yakıt esaslı hidrojen üretim teknolojileri günümüzde çok gelişmiştir, ancak yaygın sanayi üretimini gerçekleştirmek için önemli gelişmeler yapmak gereklidir. Fosil yakıtları kullanan sürdürülebilir büyük ölçekli hidrojen üretimi, karbon tutma ve depolama teknolojisini gerektirir (CCS). Doğalgazın hidrojen üretimi için kullanılması, Avrupa'da arz güvenliğinde bazı sorunlara neden olabilir. Ekonomik yönü de göz önüne alan bu gerçekler, kömürün hidrojen üretiminin daha iyi bir alternatif olduğuna işaret etmektedir.

Bilim adamları, gelecekte yenilenebilir hidrojen gelişimini etkileyebilecek bazı konulara değinmişlerdir. Etkin bir elektrik şebekesinde enerji kayıpları yaklaşık % 10 iken hidrojen, depolama ve taşıma ortamı olarak kullanılırsa bu kayıplar %75-80 'e ulaşır. Bundan dolayı, bu verimsiz elektrik-hidrojen-elektrik yolu, sürdürülebilir bir enerji geleceği ile çok örtüşemiyor. İkincisi, hidrojen,

diğer yenilenebilir enerji kaynakları için depolama ortamı olarak kullanılırsa, hidrojenin yalnızca aşırı elektrik üretimi durumunda düşünülmesi gerektiği anlamına oluşur. Bu durum, hidrojenin etkin bir şekilde üretilmesinden ziyade yenilenebilir enerji kaynaklarının öncelikli olduğu anlamı getirir. Bununla birlikte, bu tür çok düşük ve oldukça düzensiz hidrojen üretimi, elektrolizörlerin verimliliği üzerinde zararlı bir etkiye sahiptir. Üçüncüsü, hidrojen üretimi için yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekliliği de mevcut olmayabilir. Büyük miktarda ekinlerin toprağın gübrenmesinde kullanıldığı durum göz önüne alındığında büyükütlenin çok daha farklı ve öncelikli amaçlarla kullanıldığı görülebilir. Büyük ölçekli hidroelektrik santrallerin çevresel etkilerinin önemine işaret edildiğinden bu santrellerle elektrik üretilmesi de önerilemez. Gerekli altyapı gelişiminin, özellikle de düşük üretim kapasiteleri düşünüldüğünde sistemlerin ekonomik açıdan da tartışılması gereklidir. Hidrojen ile yenilenebilir maddeler arasındaki bağa tamamen dönmek yerine diğer hidrojen üretim teknolojilerini keşfetmek ve hidrojen ile diğer enerji taşıyıcıları arasındaki etkileşimi dikkatlice araştırmak gereklidir. Hidrojen üretimi ve taşınması için mevcut teknolojilerin büyük maliyeti, yatırımın karşılanabilmesi hususunda büyük soru işaretleri doğurmaktadır. Şu anda hidrojen kullanımı, çevre etkilerinin düşürülmesi gereken bölgesel kullanımlarla, güvenilir elektrik üretiminin gerekli olduğu yakıt

hücrelerinin uygulamaları ile sınırlıdır. Bu uygulamalar, yine de yakıt hücresi teknolojilerinde önemli gelişmeler sağlamıştır.

Taşımacılıkta hidrojenin kullanımı birçok kişi tarafından hidrojen ekonomisi açısından bir gerekçe olarak görülüyor. Şu anda, araç kullanımına uygun olan düşük ısılı yakıt hücreleri € 8,000 / kW civarındadır. Bu rakamın, sektörde rekabetçi olabilmesi için maliyetin iki kat düşürülmesi gerektiği tahmin edilmektedir. Halihazırda otomobil üreticileri tarafından geliştirilen ikili yakıt (hidrojen ve benzinli) motorlar, çok daha düşük seviyelerde organik bileşikler ve diğer kirletici emisyonlar üretirler.

### **7.3.1. Hidrojen üretim teknolojileri**

Hidrojen üretiminde kullanılan teknolojiler kabaca 3 ana kategoriye ayrılabilir: elektrolitik, termokimyasal ve biyolojik hidrojen üretimi. Şekil 7.6 da bu teknolojilerin genel görüntüsü ve potansiyel kaynakları özetlenmektedir. Hidrojenin hayvansal atıklardan elde edilmesi düşük verimlilikte bir teknoloji olup kimi zaman hidrojen elde etmek için daha fazla enerji harcanmasını gerekli kılmaktadır.



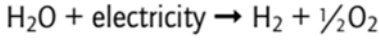


**Şekil 7.6.** Hidrojen üretimi için canlı kaynakları ve üretim teknolojileri (IEA,2006).

Hidrojen sudan, biyokütleden, doğal gazdan veya kömürden (gazlaştırıldıktan sonra) üretilebilir (Turner, 2004). Bugün, metan buharı oluşumuna dayanan sistemle doğal gazdan hidrojen üretimi gerçekleştirilmektedir.

### **Su elektrolizi**

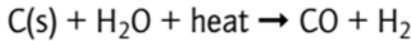
Suyun elektrolizi iyi bilinen, ticari olarak uygulanabilen ve çok temiz bir hidrojen üretimi teknolojisidir. Aşağıdaki denklikte verildiği üzere, bu işlem suda bulunan hidrojen atomlarının elektrik enerjisi kullanılarak ayrılması işlemidir.



Bu işlemin avantajı, fosil yakıtlardan veya biyokütleden hidrojen üretimine kıyasla çok daha basit altyapı ile bir operasyonun mümkün kılınmasıdır. Bu teknoloji ekonomik olarak uygulanabilir hale gelmek için, elektrolitik ekipmanın önemli ölçüde daha ucuza ve daha verimli hale gelmesi veya elektrik fiyatı gaz veya kömür fiyatlarına kıyasla daha avantajlı hale gelmesi gereklidir. Gerekli olan elektrik enerjisinin yüksek sıcaklıklarda düşmesi, yüksek sıcaklık seviyesinde ısının bulunduğu yerler için yüksek sıcaklıklı elektroliz sistemlerinin tercih edilmesini sağlar.

### **Kömürden üretimleri**

Kömürün bulunabilirliği yüksek olduğundan gazlaştırma işlemi ile önemli miktarda hidrojen ve elektrik üreten bir kaynak olabilir. Ayrıca, nispeten düşük maliyeti nedeniyle, çoğu zaman ekonomik olarak büyük miktarlarda hidrojen üretmek için en iyi kaynak olarak gösterilir. Karbonun, karbon monoksit ve hidrojen haline dönüştürülmesi işlemi için tipik bir reaksiyon gereklidir;



CO ayrıca CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>'ye dönüştürülür. Bununla birlikte, tüm fosil yakıtların hidrojen üretim teknolojilerinde

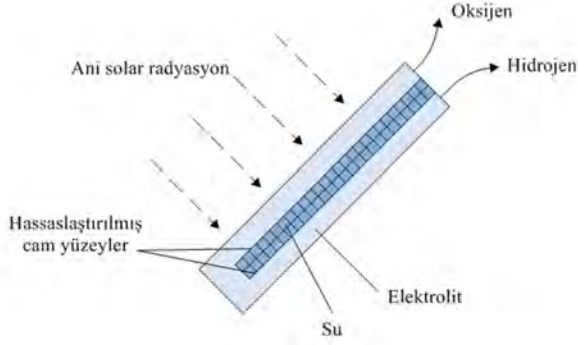
yanması ile oluşan yan ürün, CO<sub>2</sub>'in sekustrasyonu için gereken enerji kömür tüketimini arttırmaktadır.

Güneş, rüzgar, nükleer ve jeotermal enerjiyi kullanarak hidrojen üretimi, suyun elektrolizini, ısıyı kullanarak termal kimyasal döngüleri ve biyokütle işlemeyi içerir. Biyokütle, metanol, etanol, biyodizel ve piroliz yağı da dahil olmak üzere taşınabilir ve yerinde hidrojen üretmek için kullanılabilen bir dizi sıvı yakıtı kolayca dönüştürülebilir. Biyokütle sürdürülebilir olsa da, gereken miktarda hidrojen sağlayamaz.

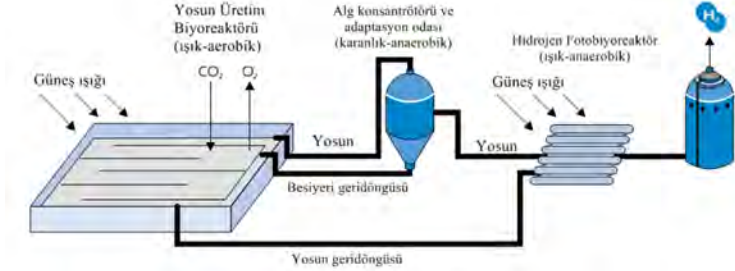
### **Termokimyasal su ayrıştırması**

Suyun doğrudan termal ayrıştırılması 2000 °C' den yüksek sıcaklık gerektirdiğinden ve ayrıştırılan ürünlerin (hidrojen ve oksijen atomları) hızla ortamda yeniden birleştiğinden, bilim adamları daha düşük sıcaklıkta gerçekleşebilen ve sadece hidrojen veya oksijen üretebilecek farklı termal kimyasal döngüleri araştırmaktadır. En yaygın yöntemlerden biri, 850 °C' de sülfürik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ve 450 °C' de hidrojen iyodür (HI) kullanılması üzerinedir. Bununla birlikte, HI ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çalışma koşulları altında istenen kararlılığı karşılayabilecek malzeme özelliklerinin elde edilmesi gereklidir. Ancak, güvenlik gerekçeleri reaktörün işletmeden uzak olması ve buna bağlı olarak da oldukça uzun ısı transferi hattı gereklidir. Bu tür kimyasal

döngüyü sağlayabilmek için solar termal sistemler de kullanılabilir. Elektrik üretiminde kullanılan her bir teknoloji elektroliz ile hidrojen üretimi prensibini içermektedir. Solar ve rüzgarın sahip olduğu potansiyel güç, gelecekte bu güçlerin çok daha yaygın olarak kullanılacağını işaret etmektedir. Ticari olarak kullanılan elektroliz sistemleri %60-73 verimle çalışmakta olup, bu değer az bulunmakta ve enerji üretiminde verimin düşük olmasında tartışılan en önemli konu olmaktadır. Her ne kadar verimlilik önemli bir konu olsa da, yeni teknolojilerin enerji üretiminde kullanımına bir engel olmamalıdır. Suyu ayrıştırabilmek için gereken enerji ısı ve elektrik enerjisinin birlikte kullanımı ile sağlanır. Ulaşım için gereken hidrojen enerjisini üretmek için çok fazla su kullanıma ihtiyaç yoktur. 230 milyon aracın yakıt pilli hale dönüştürülerek hidrojen ihtiyacının karşılanması için yılda 100 milyon galon suya ihtiyaç duyulur. Gelecekte fotobiyolojik, fotoelektrokimyasal vb. gibi yaklaşımlarla sürdürülebilir hidrojen üretim teknolojileri mümkün olabilecektir (Şekil 7.7). Bu sistemler, güneş ışığı ve sudan direkt olarak hidrojen üretebilecekler ve sistemlerin yatırım maliyetlerini düşürebilecekleri gibi solardan hidrojene dönüşümde yüksek verimler elde edilebilecektir. Fakat, gün ışığını toplayabilmek için hala geniş yüzey alanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sistemler yüksek saflıkta su yerine denizsularının kullanımını mümkün kılacaktır (Şekil 7.8).



Şekil 7.7. Foto-elektrolik hücrenin prensibi (IEA, 2006).



Şekil 7.8. Foto-biyolojik hidrojen üretimi prensibi (IEA, 2006).

### 7.3.2 Çevresel etkiler

Hidrojenin araçların özellikle fosil yakıtlar yerine kullanılmalarıyla atmosferdeki CO<sub>2</sub> miktarını düşürebilir. Ululararası Enerji Ajansının 2011' deki raporuna göre fosil yakıtların ulaşımında özellikle arabalar ve kamyonlarda kullanılması nedeni ile dünyadaki CO<sub>2</sub>

emisyununun %23'üne neden olduğu belirtilmiştir. 2035'de karayolu taşımacılığı hacminin %40 artacağı tahmin edilmektedir. Ulusal Bilimsel Akademi birimi 2020 yılında 2 milyon aracın hidrojen kullanacağını 2030'da ise bu rakamın 25 milyona ulaşacağını öngörmektedir. Bu durum, 2035'e kadar hafif ticari araçlarda %20, 2050'lere kadar ise %60 GHG emisyonunu düşürebileceğine işaret eder. Yakıt pillerinin kendileri CO2 emisyonuna neden olmasa da, bu araçların tamamen "yeşil" olduğunu söylemek mümkün değildir; çünkü hidrojen üretim teknolojileri GHG emisyonlarına neden olmaktadır. İki kabul gören metod; doğal gaz buharı reformasyonu ve kömür gazlaştırması tekniklerinin her ikisi de özümleme aşamasında CO2 emisyonuna neden olmaktadır. Ancak, fosil yakıtların çevreye bıraktığı emisyonlar dikkate alınacak olursa, hidrojen yakıtlarının çok çok daha az GHG yarattığı göz ardı edilemez.

Son dönemlerde yayımlanan çalışmalar, fosil yakıtlarla çalışmakta olan araçların, doğal gazdan elde edilen hidrojeni kullanan yakıt hücrelerine sahip araçlarla yer değiştirmesi sonucu GHG emisyonunda %60 düşüş olacağına işaret etmektedirler. Elbette, bu değer hidrojen üretimi için daha düşük karbon-yoğunluklu teknolojinin kullanımı ile artacaktır. Hidrojen yenilenebilir kaynaklardan elektroliz tekniği ile üretildiğinde, hemen hemen hiç ya da çok az GHG emisyonu söz konusu

olacağından bu yakıtın enerji kaynağı olarak en önemli çevre dostu kaynak olduğu görülecektir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilebildiğinde hidrojenin, geleneksel petrol, gazoline, biyoyakıt veya hibrit sistemler ile çalıştırılan araçlara kıyasla toplam GHG gazları emisyonu çok daha düşük değerlerde kalacaktır. Bilim adamları, CO<sub>2</sub> emisyonlarının düşürülebilmesi için karbon yakalama ve hapsedme (CCS) teknolojileri üzerinde çalışmaktadır. Bu teknik ile karbon yakalanacak, transfer edilecek ve depolanarak havaya salınımları engellenebilecektir. CCS ile, hidrojen üretimi sürecinde oluşan CO<sub>2</sub> depolama alanlarına transfer edilebilecek, yerçekirdeğinin derinliklerine bırakılarak tekrar yüzeye çıkması engellenecek ve küresel ısınmaya etkileri ortadan kaldırılmış olacaktır. Bu teknolojilerin kullanılması hidrojen üretimini tamamen çevre dostu yapacaktır. CCS sisteminin kömür gazlaştırması prosesinde kullanılması hidrojen üretiminde tercih edilecek bir durumdur. Bu işlem sırasında, kömür diğer elementlerin haricinde hidrojen içeren gaz formuna dönüştürülmektedir. Sonrasında hidrojen çeşitli adımlarla ekstrakte edilmektedir. Katı kömür yakıtı ile işletilen tesislere kıyasla, CCS sistemine sahip hidrojen ile çalışan tesislerde CO<sub>2</sub> salımı %90'lara kadar düşürülebilir. Ancak, bazı bilim adamları hidrojenin şuan için çok da temiz bir enerji kaynağı olmadığını söylemektedir. Ayrıca, hidrojen üretimi sürecinde GHG emisyonunun yanı sıra hidrojenin kendisinin atmosfer için zararları

olduğunu ifade etmektedirler. Atmosfere kaçak olmadan hidrojeni üretmek, depolamak ve transfer etmek mümkün değildir. Daha fazla hidrojen kullanılırsa, kaçak hidrojenler atmosferde birikir, ozon tabakasını etkiler ve sonuçta küresel ısınmaya neden olur. Bilim insanları bu nedenlerle daha çevre dostu hidrojen üretimi sistemleri üzerine çalışmalar yürütmektedirler. Şimdiye kadar, bu çalışmalar laboratuvarlarda ya da bilgisayar modellemelerinde kalmıştır. Örneğin, rüzgar ya da solar kaynakların kullanılmasıyla elektroliz ile üretilen hidrojen prosesinde, sıfıra yakın GHG emisyon üretimi teoride kalmaktadır. Sonuçta bugün üretilen hidrojenin henüz %5' inden daha azının üretiminde bu teknoloji kullanılmaktadır. Bu durum yakın gelecekte durumun değişmeyeceği anlamını taşımaz. Çünkü, sıfır emisyonlu hidrojen üretim tesisi işletimine yönelik henüz ticari boyutlarda bir demonstrasyon yapılamamaktadır.

### **Referanslar**

Antonio, F de O. (2010). Wave energy utilization: A review of the technologies. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14(3), 899-918.

Council, World Energy. (2016). World Energy Resources 2016.



Esteban, Miguel, & Leary, David. (2012). Current developments and future prospects of offshore wind and ocean energy. *Applied Energy*, 90(1), 128-136.

Frid, Chris, Andonegi, Eider, Depestele, Jochen, Judd, Adrian, Rihan, Dominic, Rogers, Stuart I, & Kenchington, Ellen. (2012). The environmental interactions of tidal and wave energy generation devices. *Environmental Impact Assessment Review*, 32(1), 133-139.

International Energy Agency (IEA), (2006), Hydrogen Production and Storage

Web page (2017) retrieved from <http://www.alternative-energy-tutorials.com/wave-energy/wave-energy-devices.html>

Leveque, Francois, Glachant, Jean-Michel, Barquin, Julian, von Hirschhausen, Christian, Holz, Franziska, & Nuttall, William J. (2010). *Security of Energy Supply in Europe. Natural Gas, Nuclear and Hydrogen*: Edward Elgar.

Pelc, Robin, & Fujita, Rod M. (2002). Renewable energy from the ocean. *Marine Policy*, 26(6), 471-479.

Rourke, Fergal O, Boyle, Fergal, & Reynolds, Anthony. (2010). Tidal energy update 2009. *Applied Energy*, 87(2), 398-409.

Tabak, John. (2009). *Natural gas and hydrogen*: Infobase Publishing.

**BÖLÜM 7**  
**DALGA, GELGİT VE HİDROJEN ENERJİSİ**  
Sorular ve Cevaplar

1. **En büyük çevresel etkiye sahip olan gelgit enerji sistemi:**
  - a) Gelgit barajı
  - b) Gelgit türbini
  - c) Gelgit çit**Cevap: a**
  
2. **Okyanus enerjisinin kinetik bileşenini kullanan enerji sistemleri şunlardır:**
  - a) Gelgit barajı
  - b) Gelgit çit
  - c) Gelgit akım türbinleri**Cevap: c**
  
3. **Elektrik üretimi için salınan su sütunu şunları kullanır:**
  - a) Rüzgar türbini jeneratörü üzerinden hava kanalı
  - b) Gelgit potansiyel enerjisi
  - c) Kinetik dalga enerjisi**Cevap: a**

**4. Geleceğin yenilenebilir enerji kaynağı olarak gelgitin en çekici özellikleri:**

- a) Teknoloji, çok sayıda projede iyi geliştirilmiş ve kanıtlanmıştır
- b) Gelgitler önceden tahmin edilebilir
- c) Teknoloji ucuz ve yaygındır
- d) Gelgitlerde yakalanan enerji miktarı çok büyüktür.
- e) Tesis çevreyi değiştirmez

**Cevap: b ve d**

**5. Bu ifadelerden hangisi yanlıştır?**

- a) Hidrojen kolayca yanar ve birim kütle başına çok miktarda ısı açığa çıkarır
- b) Hidrojen doğada serbestçe bulunabilir
- c) Hidrojenin üretilmesi ve taşınması pahalıdır

**Cevap: a ve c**

**6. Hidrojen üretimi için en çok kullanılan teknoloji:**

- a) Su elektrolizi
- b) Kömürün gazlaştırılması
- c) Termokimyasal su bölünmesi
- d) Foto-biyolojik hidrojen üretimi

**Cevap: b**

**7. Bu ifadelerden hangisi doğrudur?**

- a) Hidrojen üretimi hiçbir sera gazı açığa çıkarmaz
- b) Hidrojen yakıt hücresi araçları, sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltır
- c) Serbest kalan hidrojen atmosfere zarar verebilir
- d) Hidrojen sıfıra yakın sera gazı emisyonu ile üretilemez.

**Cevap: b ve c**

## BÖLÜM 8

### JEOTERMAL ENERJİ

**Bölüm yazarı: Aleksandra SRETENOVIC**

Mühendislik Fakültesi, Belgrad Üniversitesi, Belgrad, Sırbistan.

e-mail: [asretenovic@mas.bg.ac.rs](mailto:asretenovic@mas.bg.ac.rs)

**Özet:** Jeotermal enerji çok önemli bir potansiyele sahip olup yerkürenin sürekli olarak ısı yaydığı göz önüne alındığında dünyanın her yerinde bulunabilir durumdadır. Farklı sıcaklık seviyeleri nedeniyle jeotermal enerji, enerji üretimi ve diğer çeşitli ısı taleplerini karşılamak için kullanılabilir. Isı kaynakları suda (düşük, orta veya yüksek sıcaklık seviyeleri) veya toprakta (sıcak kayalar) bulunur. Su kaynaklarından gelen yüksek sıcaklıktaki su (veya buhar) elektrik üretimi için, ılımlı sıcaklıktaki su doğrudan ısıtma veya endüstriyel amaçlar için kullanılabilirken, düşük sıcaklıklı su ve topraktan gelen ısı çoğunlukla ısı pompaları için bir ısı kaynağı olarak kullanılır. Bazı yaygın olarak kullanılan veya gelecek vaat eden teknik çözümler açıklanmaktadır. Jeotermal enerji kullanımının çevresel etkileri tartışılmaktadır.

#### **Öğrenme Hedefleri:**

Bu bölüm kavrandığında öğrenci şunları yapabilir:

- Jeotermal enerjinin potansiyellerini ve kullanılabilirliğini anlar

- Jeotermal enerji uygulamalarının olası çevresel etkilerini anlar ve tartışır
- Jeotermal enerjinin olası kullanım uygulamaları ile ilgili soruları eleştirerek tartışır

Jeotermal enerji 4.5 milyar yıl önce gezegenin oluşumundan gelen doğal ısının (yaklaşık% 40) yanı sıra doğal olarak oluşan radyoaktif izotopların radyoaktif bozunumundan kaynaklanan ısıyı (kalan% 60) gösterir (Glassley, 2014). Yerkabuğundaki termal enerji kayalarda, kırıklarında ve gözeneklerinde farklı sıcaklık seviyelerinde doğal sıvı içinde bulunur (Leveque ve ark., 2010). Tarihte sıcak jeotermal sıvılar pişirme ve banyo için kullanılmıştır ancak 20. yüzyılın başında bu yenilenebilir enerji kaynağı, elektrik enerjisi üretimi gibi daha geniş endüstriyel ve ticari uygulamalar bulmuştur. Yerkabuğundaki ortalama ısı akışı yaklaşık  $59 \text{ mW} / \text{m}^2$  dir. Kıtasal alanların çoğunda, ısı akışı iki temel süreçten kaynaklanmaktadır: yerkürenin manto ve çekirdeğinden gelen ısı konveksiyonu ve iletimi ve kabuktaki radyoaktif elementlerin (uranyum, toryum ve potasyum izotopları) bozunması sonucu oluşan ısı. Volkanik veya tektonik faaliyet gösteren bölgelerde daha yüksek ısı akışı kaydedilmesi insanların jeotermal enerjiyi yalnızca İzlanda, Yeni Zelanda, Japonya, Yellowstone Milli Parkı (yakın volkanizm) gibi yerlerle ilişkilendirmesinin nedenidir. Diğer birçok bölgede de jeotermal enerji kaynağını kullanma fırsatı olduğu sıklıkla ihmal edilmektedir.

Elektrik üretmek için, sıcaklığın yüksek seviyelerde ( $150^\circ \text{C}$  ila  $200^\circ \text{C}$  aralığında) bulunabileceği derinliklere kadar delinmesi gerekir. Diğer ısıtma uygulamaları için

100° C ila 150° C gibi daha düşük sıcaklıklara ulaşmak yeterlidir. Jeotermal ısı doğrudan ve dolaylı olarak binaların ısıtılması ve soğutulması, ısıtma, havalandırma, klima ve soğutma (HVAC) için elektrik talebinin azaltılması için kullanılabilir (Glassley, 2014). 50° C' nin altındaki sıcaklıklarda bile jeotermal enerji çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Jeotermal ısı pompaları 2 ila 200m arasındaki derinliklerde kolayca erişilebilen düşük dereceli enerjiyi kullanan, binalarda ısıtma ve soğutma için elektrik maliyetlerini önemli ölçüde düşüren en yaygın kullanılan teknolojidir. Toprağın yerkabuğu yüzeyine yakın sıcaklığının dış hava şartlarına bağlı olmasına rağmen 3 metreden daha derinlerde sıcaklık yerkabuğunun içinden gelen sabit ısı akışı nedeniyle neredeyse sabittir. Jeotermal ısı pompalarının havadan suya ısı pompalarına kıyasla belirgin özelliklerinden biri, tüm yıl boyunca sabit verimliliğidir (dış hava sıcaklığına bağlı olarak değişmez). Jeotermal enerjinin birçok önemli özelliği vardır: yerkabuğunun içinden gelen ısı asla kesilmediğinden hiçbir dış yakıt altyapısı gerektirmez. Elektrik üretimi için fosil yakıtlı santral ile karşılaştırıldığında sera gazı emisyonları % 90 oranında azaltılır veya tamamen ortadan kaldırılır. Bu enerji kaynağı, farklı amaçlar için kullanılmasını mümkün kılan çeşitli şekillerde bulunur. Orta dereceli jeotermal ısı, gıda işleme, kurutma malzemeleri, tarımsal faaliyetler ve seralar, su ürünleri yetiştiriciliği ve kağıt üretimi için doğrudan kullanılabilir. Bu doğrudan kullanım uygulamaları geliştirilmiş ve çok başarılı olduğu ispatlanmış olsa da hala tam olarak bilinmemekte ve yeterince kullanılamamaktadır. Jeotermal enerjinin en etkili kullanımı, mevcut kaynak ve teknolojinin

gözlemlenen enerji sektörünün ihtiyaçlarına uygun olduğu yerlerde bulunabilir. Kojenerasyon ve hibrid sistemlerde ve ısı pompası uygulamalarında birleşik ısı ve güç, daha fazla enerji tasarrufu sağlayan seçeneklerdir (Leveque ve ark., 2010). Jeotermal enerjinin bir çok özelliği, yaygın dağılımı, depolamadan sevk edilebilirliği, düşük ayak izi ve düşük emisyon değerleri, sürdürülebilir bir enerji geleceğine ulaşmak için arzu edilir. Jeotermal, minimum görsel ve çevresel etkileri ile sürekli temel yük gücü sağlayabilen birkaç yenilenebilir enerji kaynağından biridir. Bu sistemlerin küçük bir ayak izi olup neredeyse hiç emisyonu yoktur. Temel yükün önemli bir kısmının jeotermal kaynaklardan sağlanması, gaz fiyatlarındaki dalgalanmalara ve arzın aksamasına karşı bir tampon olacaktır.

## **8.1 Jeotermal enerji üretimi**

Jeotermal santrallerin ana özelliği tipik olarak temel yüklü santraller olarak tasarlanmalarıdır. Bu da onları rüzgar ve güneş gibi kesikli olan diğer yenilenebilir kaynaklardan ayırır. Sonuç olarak, güneş veya rüzgardan elde edilen kesikli (ve çoğu zaman öngörülemeyen) enerji üretimi nedeniyle, bu tesisler sağlam temel yük kapasitesi sağlayamaz. Bu çoğu altyapı sistemini idame ettiren güvenilir ve tutarlı bir enerji kaynağı tarafından yakıtlandırılmış olması gereken temel yükleme gücüdür. Jeotermal enerjinin yer kabuğunun içinden yayılımının asla durmadığı göz önünde bulundurulduğunda temel yüklü santral için enerji kaynağı olarak mükemmel bir seçimdir. Jeotermal buhardan elektrik üretimi ilk kez 1904 yılında İtalya'nın Larderello kentinde kuruldu



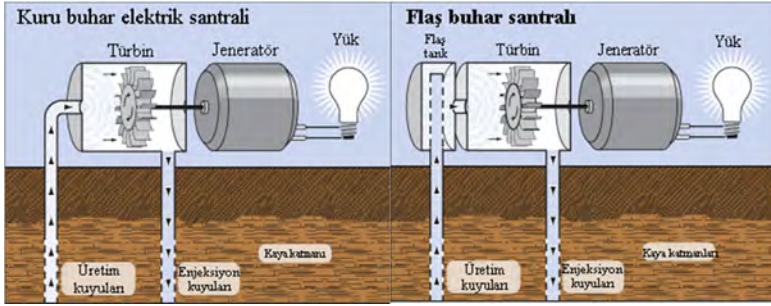
(Leveque ve ark., 2010). O zamandan beri, Gayzer, Kaliforniya'daki buhar alanı ve Wairakei, Yeni Zelanda, Meksika, Reykjavik, İzlanda, Endonezya ve Filipinler'deki sıcak su sistemleri gibi diğer hidrotermal gelişmeler doğrudan kullanım kapasitesi 100,000 MWt'den (termal MW) fazla olsa da 21. yüzyılın başında yaklaşık 10,000 MWe olan toplam elektrik enerjisi üretim kapasitesine katkıda bulunmuştur (Glassley, 2014). Jeotermal enerji üretiminin bir diğer önemli özelliği de harici bir yakıt altyapısı gerektirmemesidir. Bu enerji kaynağı, güç santrali yakınlarında doğal olarak bulunduğundan, yakıt nakliyesine ihtiyaç duyulmaz ve bu da yakıtı ekonomik ve çevresel olarak istenir kılar. Son yıllardaki araştırmalar, jeotermal enerji üretiminin esnek olabileceğini göstermiştir. Bir kaynağın esnek olabilmesi için, güç üreticiden çıkan gücün, gün boyunca enerji ihtiyacına göre değişmesi ve şebekeye giden güç girişi değiştiğiçe artması veya azalması gerekir. Esnek üretim, halen uygulanmakta olan ek tasarım bileşenleri ve işletim stratejileri gerektirir. Halen uygulanmakta olan esnek üretim, jeneratör ekipmanına getirilen sıcak jeotermal akışkanın miktarını, ya jeneratör teçhizatını ikincil borulama devreleri vasıtasıyla by-pass ederek veya jeotermal akışkanın rezervuardan çıkarma oranını azaltarak gerçekleştirilmektedir. Jeotermal enerjiden güç üretmek derinlerdeki jeotermal ısıyı elektrik enerjisine dönüştürme yeteneğine dayanır. Bunu gerçekleştirmek için gerekli ekipman, termal enerjinin dönen türbin formundaki kinetik enerjiye dönüştürüldüğü yüzeydeki sıcak akışkanları derinden türbin tesisine getirecek bir boru kompleksidir. Türbinin kinetik enerjisi daha sonra

bir elektrik jeneratörü kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülür.

Bir jeotermal alanın faydalı olması için, elektrik üretiminin ekonomik açıdan mümkün olabilmesini sağlayacak yeterli derecede yüksek bir buhar üretme kapasitesine sahip olması gerekir. İnşaat maliyetleri, keşif yatırımı, elektrik altyapısına erişim ve diğer hususlar gibi koşulların bir alanın ekonomik olarak yaşayabilirliği üzerinde büyük etkisi olmasına rağmen, genellikle bir alanın güç iletim altyapısı olarak kullanılabilmesi için MW'den daha fazla güç üretebilmesi gerektiği düşünülür. Uygulama küçük bir topluluğa, birkaç sanayi binasına veya bir üniversite kampüsüne giden güç gibi yerel olarak planlanmaktadır; çok daha küçük birimler (on kW civarı) ekonomik olarak kullanılabilir. Jeotermal kaynak, kaynağın basıncı ile ana kaynağı ve aynı zamanda türbin boyunca akışkanın akış hızı ile olan ilişkisi açısından değerlendirilmelidir. Kuru buhar sistemleri nadiren bulunur ancak önemli güç üretimi sağlayabilirler. Başarılı bir örnek, 933 MW'ın çalıştığı yaklaşık 1400 MW kurulu gücü olan Kaliforniya'daki Geysers'dir (Şekil 8.1). Bu, geliştirme aşamasında ek üretim kapasitesine sahip dünyanın en büyük jeotermal enerji üretim merkezi olmasını sağlıyor. İtalya'daki Larderello dünyadaki diğer tek kuru buhar tesisidir.

Bu işlem yeraltının yüzlerce ila binlerce metre derinliğine giren üretim suyu kuyuları kullanılarak gerçekleştirilir, böylece rezervuar sıvısının derinlikten yükselmesi için kısa bir yol sağlanır. Enjeksiyon kuyuları, yoğun suyun geri dönüşümü ile rezervuarı doldurmak için kullanılır, gerekirse diğer su kaynakları ile desteklenir. Birkaç

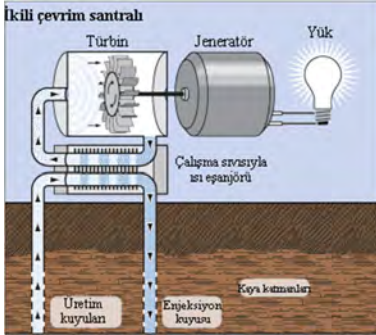
rezervuar türü vardır. Kuru buhar rezervuarları mevcut tüm suyun buharlaşması için yeterli entalpi değerine sahiptir. Bu tür sistemler, en basit mühendisliktir ve tüm jeotermal kaynaklardan en yüksek enerjiliğe sahiptir ancak jeolojik olarak nadirdir (bkz. Şekil 8.1).



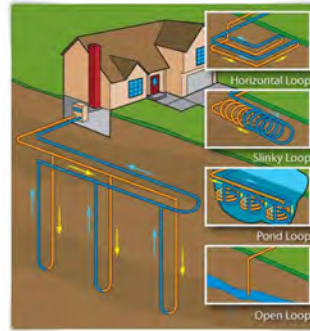
**Şekil 8.1.** Kuru buhar elektrik santrali (www.energy.gov) **Şekil 8.2.** Flaş buhar santrali (www.energy.gov)

Daha yaygın olan diğer hidrotermal sistemler, suyun türbine yaklaşırken buharlaşmasını sağlamak için (160°C-250°C aralığında sıcaklıkta) genellikle yüksek basınçta (bkz. Şekil 8.2). Buhar soğuduğunda suya yoğunlaşır ve yeniden kullanılmak üzere zemine enjekte edilir. Kuru buhar ve hidrotermal güç üreten tesislerde güç, akışkandan mümkün olduğunca verimli şekilde çıkarılacak şekilde tasarlanan bir türbin tesisinde buharın genişlemesi ve soğutulmasıyla oluşturulur. Düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynaklar, suyunkinden çok daha düşük bir kaynama sıcaklığına sahip olan bir çalışma sıvısı (genellikle izopentan veya propan gibi bir organik bileşik veya bir amonyak suyu çözeltisi) kullanan ikili

santrallerde güç üretmek için kullanılabilir. İkili bir tesiste jeotermal su, ısısını çalışma sıvısına aktararak bir ısı değiştirici boyunca akar ve daha sonra rezervuara yeniden enjekte edilir (bkz. Şekil 8.3). İkili tesisler jeotermal enerji pazarının en hızlı büyüyen kısmı haline gelmektedir. Daha düşük sıcaklığa ihtiyaç duyma avantajına sahiptirler, atmosfere gaz atmazlar ve modüler formda inşa edilebilirler (Leveque ve ark., 2010). Günümüzde dünya çapında üretilen elektrik enerjisinin yaklaşık 10,000 MW'ı jeotermal ile olup piyasada bulunan farklı gelişmişlik seviyelerinde çeşitli enerji dönüşüm teknolojileri (doğrudan buhar genleşmesi, tekli ve çok kademeli buhar flaşı, organik ikili Rankine döngüleri, iki fazlı akış genişleticiler) bulunmaktadır. Fosil yakıtların daha yüksek yanma sıcaklıklarına kıyasla jeotermal akışkanın daha düşük sıcaklığından dolayı jeotermal enerjiyi elektrığe dönüştürmek için doğal kısıtlar vardır.



**Şekil 8.3.** İkili devirli jeotermal enerji santrali



**Şekil 8.4.** Jeotermal ısı pompası  
(<http://www.dustymars.net/he>)

Daha düşük enerji kaynağı sıcaklıkları, termodinamiğin İkinci Yasasının bir sonucu olarak, akışkanın mevcudiyeti veya ekserjisi açısından düşük maksimum iş üretme potansiyeli ve düşük ısı-güç verimliliğine sebep olur. Belirli bir sıcaklık, yoğunluk veya basınçtaki jeoakışkanların kullanılabilirlik değeri, belirli bir akış oranı için üretilebilecek maksimum elektrik enerjisi miktarını belirler. Jeotermal dönüşüm sistemleri için güncel uygulamalar kullanım verimliliklerinin tipik olarak % 25 ila % 50 arasında değiştiğini göstermektedir. Gelecekteki mühendislik uygulamaları, Ar-Ge'ye daha fazla yatırım yapılmasını ve bu sayede sıcaklık farklarının en aza indirgenmesi ve ısı aktarım katsayılarının artmasıyla ısı transfer adımlarını iyileştirerek ve türbinler, turbo- genişleticiler ve pompalar gibi dönüştürücülerin mekanik verimliliklerini geliştirerek bu verimlilik değerini % 60' a veya daha fazlasına yükseltmek istiyor.

### **Jeotermal ısı pompaları**

Jeotermal ısı pompaları, nispeten sığ alt yüzeyde (<300 m derinlik) bulunan düşük sıcaklık jeotermal ısını kullanır. Toprakta gelen güneş ışını ile birlikte yerin içinden gelen sabit ısı akışı, tüm yıl boyunca nispeten sabit bir sıcaklıkta enerji kaynağı olmasını sağlar. Bu verimlilik açısından çok önemlidir (hava-su ısı pompalarının ısıtma kapasitesi ve COP' si düşük ortam sıcaklıklarıyla önemli ölçüde azalır). Mevcut jeotermal ısı pompası teknolojisi, 3-5 aralıklarındaki COP

değerlerini sağlayarak HVAC amaçları için en yüksek verimli enerji tesisi haline getirmektedir. Bu sistemlerin boyutlandırılması ve tasarımı, pratikte iyi bilinmekte ve geliştirilmekle birlikte, jeotermal kaynağın özelliklerini yeterince araştırmak ve bina sistemlerinin gereklilikleriyle ilişkilendirmek önemlidir (bkz. Şekil 8.4).

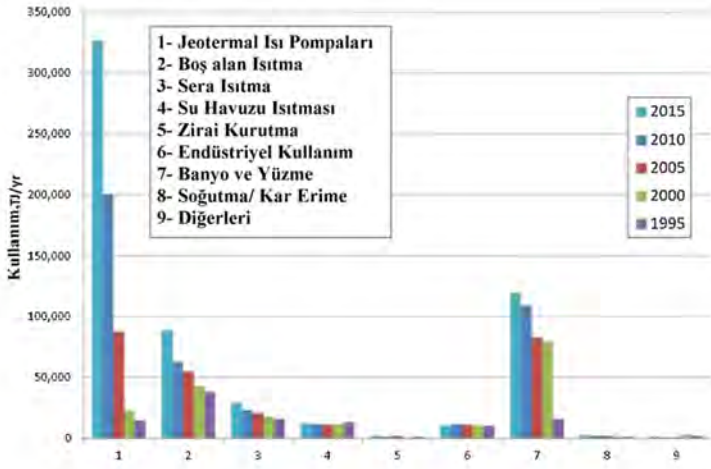
### **Jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı**

Isının elektrik enerjisine dönüştüğü jeotermal enerji üretiminin aksine, doğrudan kullanım uygulamaları, ısı enerjisini direkt olarak bazı proseslere dahil etmeyi içerir. 10°C - 150°C aralığında sıcaklıklara sahip jeotermal enerji, geniş çapta endüstriyel ihtiyaçlar için gerekli olan ısıyı sağlayabilir.

2010 yılı itibarıyla, 50.583 MW kurulu gücünden elde edilen yaklaşık 122 TWh / yıl termal enerji dünya çapında doğrudan kullanım amaçlı kullanılmıştır (Lund & Boyd, 2016). Doğrudan kullanım uygulamalarının kurulu kapasitesindeki büyüme, bu tür sistemlerin uluslararası gelişiminde hızlı bir gelişmeyi yansıtmaktadır. 1985 yılında 11 ülke 100 MW'tan fazla doğrudan kullanımlı jeotermal enerjiyi kullandığını bildirdi. 2010'da bu sayı 78'e yükseldi. Doğrudan kullanımın çeşitli kategorilerinin özeti Tablo 8.1'de, 1995-2015 yılları arasındaki enerji kullanımının karşılaştırması ise Şekil 8.5'de görülmektedir.

**Tablo 8.1.** 2015 yılı için jeotermalin dünya üzerinde çeşitli kullanım kategorilerinin özeti. (Lund ve Boyd, 2016)

	Kapasite [MWt]	Kullanım [TJ/yıl]
Jeotermal ısı pompası	50,258	326,848
Ortam ısıtması	7,602	88,668
Sera ısıtması	1,972	29,038
Su kültürü havuz ısıtması	696	11,953
Tarımsal kurutma	161	2,030
Endüstriyel kullanımlar	614	10,454
Banyo ve yüzme	9,143	119,611
Soğutma / kar eritme	360	2,596
Diğer	79	1,440
<b>Toplam</b>	<b>70,885</b>	<b>592,638</b>



**Şekil 8.5.** Dünya genelinde direkt kullanımdaki jeotermal enerjinin 1995, 2000, 2005, 2010 ve 2015 yıllarında TJ / yıl cinsinden karşılaştırılması. (Lund ve Boyd, 2016)

Her doğrudan kullanımlı uygulama sistemi ısı kayıpları, talep yükleri ve potansiyel jeotermal ısı kaynağının büyüklüğü açısından ayrıntılı olarak değerlendirilmelidir. Bu düşük-orta sıcaklık kaynaklarının daha verimli kullanılması, birkaç uygulamayı kademeli olarak birleştirmek suretiyle arttırılabilir. Bu sistemler, kullanışlı işler için maksimum miktarda ısının kullanılmasına izin verir. Jeotermal direkt kullanım uygulamalarının en önemli avantajlarından biri, genellikle fosil yakıtlı sistemlerden gelen enerji tüketimini önemli ölçüde azaltması veya tamamen ortadan kaldırmasıdır. Ayrıca yüksek kapasite faktörüne sahiptirler ve yanma ihtiyacını ortadan kaldırarak yangın riskini azaltırlar, bu nedenle



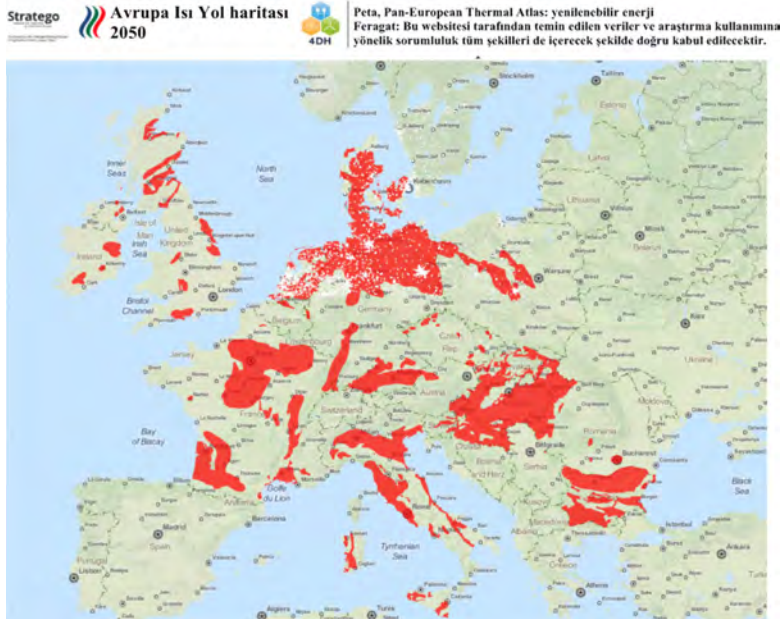
geleneksel teknolojilere kıyasla önemli yararlar sağlayabilirler. Aynı zamanda sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltmaktadırlar.

## **Merkezi ısıtma**

2010 yılında, doğrudan kullanım uygulamaları yoluyla tüketilen toplam 423.830 TJ/yıl enerjinin 63.025 TJ/yıl'ı ortam ısıtması iken bu 2015 yılında toplam 592.638 TJ/yıl enerjinin 88.688 TJ/yıl'ı olarak gerçekleşmiştir. Bu, dünya çapında jeotermal enerjinin doğrudan kullanımının üçüncü en büyük uygulama amacıdır (Şekil 8.5). Bu ortam ısıtma uygulamaları genelde binalarda gerekli ısıyı temin eden merkezi ısıtma ağı içerir. Sistem jeotermal ısı kaynağı, boru hattı şebekesi, kontrol sistemi ve tasfiye veya yeniden enjeksiyon sisteminden oluşur. Jeotermal akışkanın sıcaklığı yeterince yüksekse ( $>65^{\circ}\text{C}$ ), sığ kuyudan veya kaynaktan çıkarılan sıcak su akışkanın doğrudan atılmasıyla birlikte sisteme dahil edilir. Orta dereceli sıcaklıklardaki yerlerde ( $50^{\circ}\text{C}$ - $65^{\circ}\text{C}$ ) jeotermal kaynaktan sıvı, kapalı döngü şebekesinde ısı transferine izin veren ısı değiştiriciye getirilir. Düşük sıcaklıklara sahip olan alanlar için, ısı pompaları kullanılması önerilir ve bu sistemler ek enerji girişi gerektirir.

Avrupa çapında finanse edilen bir çalışmanın parçası olarak, "Pan-Avrupa Termal Atlası" çevrimiçi yayınlandı (bkz. Şekil 8.6). Atlas Avrupa'daki güncel ısı talebiyle farklı ısıtma seçeneklerini ve bölgesel ısıtma için güneş enerjisi, biyomas ve jeotermal potansiyelini gösterir. Bu enerji planlama aracı, Avrupa hükümetleri, işletmeler,

danışmanlar, akademisyenler ve planlamacılar için enerji verimliliği araçları yatırımları hakkında bilinçli kararlar vermek ve ısıtma ve soğutma için kullanılmayan alternatif enerji kaynaklarını kullanmak için temel sağlar.



**Şekil 8.6.** Avrupa termal atlası (Kaynak: heatroadmap.eu)

## Su kültürü

Jeotermal akışkanlar için en basit kullanım uygulamaları su ürünleri yetiştiriciliğidir. Jeotermal akışkanlar yayın balığı, levrek, kefal, yılan balığı, somon, alabalık, tropikal balık, ıstakoz, timsah, alg, karides, midye, tarak

vb. gibi çeşitli balık ve diğer türleri yetiştirmek için kullanılabilir. Jeotermal ısı ilgili türlerin bakımı, büyümesi ve sağlığı için sıcaklığı optimize etmek amacıyla kullanılır.

## **Kurutma**

Jeotermal ısı genellikle soğan, et, meyve, patates, baharat, şeker gibi gıda ürünlerinin yanı sıra kereste, beton bloklar ve diğer pek çok malzemenin de kurutulmasında kullanılır. Bu amaçla jeotermal ısının kullanılması, geleneksel fosil yakıtlı kazanlara kıyasla yakıtta tasarruf sağlamaktadır. Yanma olmadığından, yangın riski yoktur. Bunun yanında kojenerasyon ve hibrid sistemlerde kombine ısı ve güç, ısı pompası uygulamaları için bir ısı kaynağı ve depo olması, enerji tasarrufunun geliştirilmesine olanak sağlar.

## **8.2 Jeotermal enerjinin çevresel etkileri**

Jeotermal enerji sistemlerinin tam yaşam döngülerinin analiz sonuçları, çevresel etkilerinin geleneksel enerji santrallerine kıyasla önemli ölçüde daha düşük olduğunu göstermektedir (Leveque ve ark., 2010). Bu yenilenebilir enerji kaynağının yeraltında bulunduğu düşünüldüğünde, bu sistemlerin donanımı nispeten kompakt iken, çevre üzerindeki genel etkisi azdır. Sera gazı emisyonu minimal düzeydedir. Jeotermal enerjinin kullanılabilirliği ve tutarlılığı, güvenilir bir temel-yük tesis kaynağı olmasını sağlar; bu nedenle de herhangi bir depolama veya yedekleme sistemi gerekmez. Bu kaynağın tek bir yerde üretilmesi ve daha sonra büyük mesafelerde

dağıtılması gerekmediğinden, fosil veya biyokütle ile karşılaştırıldığında önemli oranda tasarruf sağlanır. Bu tasarruflar, yalnızca nakliye masraflarını değil aynı zamanda nakliye esnasında çıkan sera gazı emisyonlarının tasarrufunu da ifade eder. Kullanımı sonucunda azot veya sülfür oksidin minimal deşarjı vardır ve radyoaktif maddelerin atılmasına gerek yoktur. Yakın geçmişte yayınlanan araştırmaların genel sonuçlarına göre, jeotermal santrallerden kaynaklanan emisyonlar ve diğer etkiler diğer elektrik üretim türlerinden çok daha düşüktür (Tester ve ark., 2006). Yer-kaynaklı ısı pompalarının çevresel etkileri oldukça sınırlıdır çünkü genellikle bina inşaatı sırasında monte edilir ve normalde donma hattının çok altında gömülü bir yeraltı ısı değıştiricisi kullanılır. Ancak, jeotermal enerjinin daha yaygın kullanımı öncesinde değıerlendirilmesi ve analiz edilmesi gereken bazı potansiyel etkiler bulunmaktadır. Başlıca kaygıların bazıları, indüklenmiş sismiklik ya da çökme, su kullanımı ve kontaminasyon ile ilişkilidir. Sondaj ve üretim işlemleri ile ilgili gürültü, emniyet, görsel etkiler ve arazi kullanımı konuları da önemlidir ancak tamamen yönetilebilir. Herhangi bir jeotermal enerji sisteminin çeşitli potansiyel çevresel etkiler vardır ve bunlar arasında gaz emisyonları, su kullanımı ve kirliliğı, katı emisyonları, gürültü kirliliğı, arazi kullanımı ve çöküntü, indüklenmiş deprem ve toprak kaymaları, doğal yaban hayatı yaşam alanlarının ve bitki örtüsünün bozulması, doğal manzaraların değıştirilmesi ve potansiyel felaketler bulunmaktadır. Bu uzun listeye rağmen, mevcut ve yakın dönemdeki jeotermal enerji teknolojileri genel olarak

geleneksel fosil yakıtlı ve nükleer enerji santrallerine kıyasla daha düşük çevresel etkiye sahiptir.

### **Gaz emisyonları**

Jeotermal buhar ve flaş tesisleri fosil yakıtlı santrallere kıyasla MWh başına çok daha az CO<sub>2</sub> salarken, ikili tesislerin pratikte CO<sub>2</sub> emisyonu yoktur. Jeotermal buhar ve flaş tesislerinden çıkan gaz halindeki deşarj akımlarındaki düzenlenmiş kirleticiler -azot oksit (NO<sub>x</sub>) ve kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>)- konsantrasyonları son derece düşüktür. Yakın geçmişte yayınlanan veriler, jeotermal tesislerin diğer konvansiyonel tesislere kıyasla çok daha çevreye uyumlu olduğunu göstermektedir (Tester ve ark., 2006).

### **Su kirliliği**

Sondaj ve üretimden gelen sıvı akımları çözünmüş mineraller içerebilir. Miktar, sıvı sıcaklığı ile birlikte artar, bu nedenle yüksek sıcaklık seviyesinde kaynak (>230°C) için, bunu araştırmak gerekir. Bor ve arsenik gibi bazı elementler toprak ve suyu zehirleyebilir ve yerel yaşam alanları ve bitki örtüsü üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir. Eğer sistem sondaj kuyusu kasası hasar görürse, bu sıvılar çevreye girip zarar verebilir. Bu nedenle, tehlikeli sızıntıları önlemek için, sondaj ve işletim aşamalarında sahanın izlenmesi gereklidir. Genellikle üretilen sıvının hepsi yeniden enjekte edildiğinden çevrenin kirlenmesi tehlikesi çok azdır (Tester ve ark., 2006).

## **Katı emisyonları**

Jeoakışkandan katı maddelerin boşaltılmasıyla yüzey tesislerinin veya çevresinin kirlenmesi için hemen hemen hiç ihtimal yoktur. Tek muhtemel tehlikeli durum, ortamda katıların dökülmesine neden olacak bir sıvı muamelesi veya mineral geri kazanım sistemi ile bağlantılı bir kaza olabilir. Güvenli tarafta olmak için, katı maddenin alınması için sıvının kimyasal olarak muamele edilmesi gerektiği durumlarda dikkatli olunması önerilir. Bu proseste kullanılan kimyasallar toksik olabilir ve atık düzenlemelerine tabi olabilir (Tester ve ark., 2006).

## **Gürültü kirliliği**

Jeotermal sistem işlemlerinden kaynaklanan gürültü diğer endüstriyel tesislerden önemli ölçüde farklı değildir. En yüksek gürültü seviyeleri 80-115 dBA aralığında olup sondaj, teşvik ve test aşamasında elde edilir. Sistemin normal çalışması sırasında, 900 m mesafedeki gürültü seviyeleri 71-83 dBA'dan yüksek değildir. Kaynaktan daha ileri hareket ettiğimizde bu seviyeler önemli ölçüde daha düşüktür, bu nedenle jeotermal santrallerin büyük jeotermal rezervuar alanında bulunduğu göz önüne alındığında, gürültüyle ilgili belirgin sorunlar olmamalıdır. Karşılaştırma için, sıkışık kentsel alanlar tipik olarak 70-85 dBA civarında gürültü seviyelerine sahipken, büyük bir otoyol yakınında yaşamak 90 desibel anlamına gelmektedir (Tester ve ark., 2006).

## **Arazi kullanımı**

Jeotermal santralin arazi üzerindeki gözlemlenen etkisi, jeotermal akışkanın özelliklerine ve atık akımı deşarjına bağlıdır. Normalde, bu tesisler uzun boru hattının neden olacağı basınç ve sıcaklık kaybından dolayı rezerve yakın bir yerde inşa edilir. Alan üzerinde çok büyük bir etkiden kaçınmak ve tarım veya diğere arazilerin kullanımına izin vermek için, boru hatları direk ve parmaklıklar üzerinde birleştirilebilir ve monte edilebilir. Bu nedenle, santralin yardımcı teçhizat ile birlikte toplam ayak izi nispeten daha azdır (Tester ve ark., 2006).

## **Referanslar**

Glassley, William E. (2014). *Geothermal energy: renewable energy and the environment*: CRC Press.

Leveque, Francois, Glachant, Jean-Michel, Barquin, Julian, von Hirschhausen, Christian, Holz, Franziska, & Nuttall, William J. (2010). *Security of Energy Supply in Europe. Natural Gas, Nuclear and Hydrogen*: Edward Elgar.

Lund, John W, & Boyd, Tonya L. (2016). Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review. *Geothermics*, 60, 66-93.

Tester, Jefferson W, Anderson, Brian J, Batchelor, Anthony S, Blackwell, David D, DiPippo, Ronald, Drake, E, . . . Nichols, Kenneth. (2006). The future of geothermal energy: Impact of enhanced geothermal systems (EGS) on the United States in the 21st century. *Massachusetts Institute of Technology*, 209.

**BÖLÜM 8**  
**JEOTERMAL ENERJİ**  
Sorular ve Cevaplar

**1. Jeotermal ısı esas olarak şunlardan kaynaklanmaktadır:**

- a) Yeryüzündeki güneş radyasyonu
- b) Gezegenin oluşumundan elde edilen kalıntı ısı
- c) Toprak mantodaki biyokimyasal süreçler
- d) Doğal olarak bulunan izotopların radyoaktif bozunumu

**Cevap: b ve d**

**2. Jeotermal enerji santralleri genellikle:**

- a) Baz yük enerji santralleri
- b) Pik yük tesisleri
- c) İkisi de olabilir

**Cevap: a**

**3. Jeotermal elektrik üretimi için gerekli sıcaklık hangi aralıktadır?**

- a) 50 - 60°C
- b) 100 - 150°C
- c) 150 - 200°C

**Cevap: c**



**4. Son yıllarda, dünya çapında jeotermal enerjinin doğrudan kullanımının en büyük payı hangi şekildedir?**

- a) Alan ısıtma
- b) Endüstriyel kullanımlar
- c) Jeotermal ısı pompaları
- d) Yüzme ve yüzme

**Cevap: c**

**5. Jeotermal ısı pompalarının ana özellikleri şunlardır:**

- a) Sabit verim (dış hava sıcaklığına bağlı değil)
- b) 400-500 metrelik aralığa inmek gerekir
- c) Yüksek sıcaklıklı jeotermal ısı kullanır.
- d) Jeotermal ısı pompalarının kullanılması HVAC için elektrik tüketimini önemli ölçüde azaltır

**Cevap: a ve d**



## BÖLÜM 9

### HİDROELEKTRİK ENERJİ

Bölüm Yazarı: Aleksandra SRETENOVIC

Belgrad Üniversitesi, Belgrad, Sırbistan.

E-mail: [asretenovic@mas.bg.ac.rs](mailto:asretenovic@mas.bg.ac.rs)

**Özet:** Hidroelektrik enerjisinin potansiyeli ve güncel durumu ele alınmıştır. Çeşitli hidroelektrik santralleri mevcut olup bunlar kategorize edilirse temel olanlar: rezarvuvar tipi, nehir-akıntısı sistemi, pompalı-depolamalı hidroelektrik santralleri ve küçük boyutlu santralleridir. Farklı tiplerin teknolojisi açıklanmıştır. Hidroelektrik santrallerinde en fazla kullanılan türbinler: Çarpma etkili türbinler (Pelton, çarpaz akış) ve Reaksiyon türbini (Propeller, Frances, Kinetik). Hidroelektrik santrallerinin çevresel etkileri irdelenmiş, yüksek kapasiteli santraller-ki bunlar artık yeşil olarak nitelendirilemiyor- ile düşük kapasiteli hidroelektrik santralleri arasındaki farklara işaret edilmiştir.

## **Öğrenme çıktıları:**

Bu bölüm üzerine yoğunlaşan öğrenciler, şu kazanımları elde edebilirler:

- Elektrik üretiminde hidroelektrik enerjisinin potansiyelini ve uygunluğunu anlarlar.
- Hidroelektrik santrallerinin ekonomik, sosyal ve çevresel etkileri açısından avantajlarını ve dezavantajlarını tartışır.
- Hidro elektrik sistemlerin (hem yüksek hem de düşük kapasiteli olanların) potansiyel çevresel etkilerini anlayıp tartışır.
- Hidroelektrik üzerine kullanımları muhtemel uygulamaları (farklı sistemler, kullanılan türbinler gibi) tartışır.

## **9.1. Hidrogüç sistemleri**

Hidroelektrik günümüzde neredeyse 160 ülkede elektrik üretiminde kullanılan bilindik bir teknolojidir. Hidrogüç yılda 3500TWh olmak üzere 2011 verileri baz alındığında (ki bu değer şu veriden alınabilir: dünyada 2011 yılında toplam kapasitenin %19.4 ü olarak verilen elektrik kapasitesi: 1,060 GWe) küresel enerji üretiminin %15.8 ini karşılayacak kadar enerji üretmektedir. Hidrolik güç santralleri 35 ülkeden daha fazlasının %50 enerji ihtiyacını karşılamaktadır. En önemli avantajlarından birisi su taşkınlarının kontrol edilmesi ve sulama imkanının sağlanmasıdır. Elektrik üretmek için hidrolik gücü kullanmak çok maliyetlidir. Başlangıçtaki

yatırım maliyeti önemli miktarlarda olmasına rağmen düşük işletme ve üretim maliyetleriyle yüksek verimlilik sunarlar. Bir diğer önemli özellik operasyonel esnekliktir. Hidroelektrik santrallerinin kapasitesi, hedeflere ve hizmetlere bağlı olarak (örneğin, minimum baz elektrik ihtiyacı, yüksek ihtiyacın olduğu zaman olan pik yükü gibi) % 23 -% 95 aralığında değişebilir.

Dünyada hidroelektrik potansiyeli çok önemli olmakla birlikte bunun yılda 15,000 TWh civarında olduğu tahmin edilmektedir. Bu potansiyelin yarısı Asya'da ve %20 sinin ise Latin Amerika'da olduğu söylenebilir. Hidroelektrik santralleri açısından Avrupa'nın önde olduğu bir durum olmasına karşın hala %50 lik bir potansiyel kullanılmamaktadır. Küçük bir hidrolik güç için potansiyelin 150-200 GWe civarında olduğu kabul edilmektedir. Bu potansiyelin sadece %20 si bu güne kadar kullanılabilmiştir.

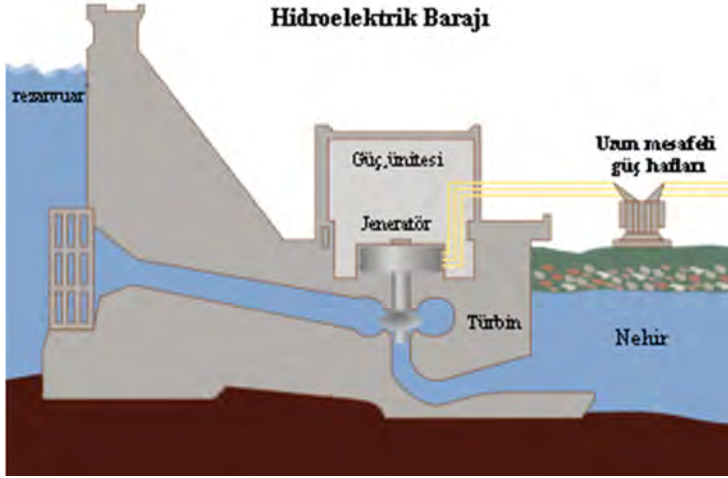
Bununla birlikte, büyük hidroelektrik enerji projeleri, su mevcudiyetine, ekosistemler ve çevre üzerindeki etkileri ve projeden etkilenebilecek insan topluluğunun olabilmesi nedeniyle sosyal açıdan dirençlerle karşılaşabilir. Hidroelektrik santralleri başlıca, halkın kabulü, yüksek başlangıçyatırım maliyetleri ve uzun geri ödeme dönemleri, uzun süreli yasal izin/onay, inşaat süreçleri ve imtiyaz hakları, uzun zaman isteyen şebeke

bağlantıları temini veya yenilenmeleri gibi önemli hususlar içermektedir. Bu zorluklar, uygulanabilir hidroelektrik potansiyelini sınırlamaktadır. Hidro güç sistemleri şu şekilde kategorize edilebilir (Egre&Milewski, 2002):

- Ciddi depolama kapasitesine sahip rezarvuvar tipli sistemler
- Çok az ya da depolama kapasitesinin olmadığı sadece nehir derivatizasyonun olduğu nehir suyu akışının kullanıldığı sistemler
- Pompalamalı depolama sistemleri
- Küçük, mini ve mikro hidroelektrik sistemleri

### **Rezarvuvar tipi sistemler**

Rezervuar sistemleri, bir yıl boyunca (günlük veya aylık olarak) veya hatta bazı durumlarda özellikle çok büyük rezervuarlar için yıllık olarak akış regülasyonunu mümkün kılacak bir sistemle kurularak esasen bir barajın arkasına su akıtmayı içerir. Rezervuar aynı zamanda kurak mevsimlerde ve / veya en yoğun talep dönemlerinde elektrik talebini karşılamak için bir enerji rezervi de sağlar.



**Şekil 9.1.** Rezervuar Tip Hidrosantral  
(<https://en.wikipedia.org>)

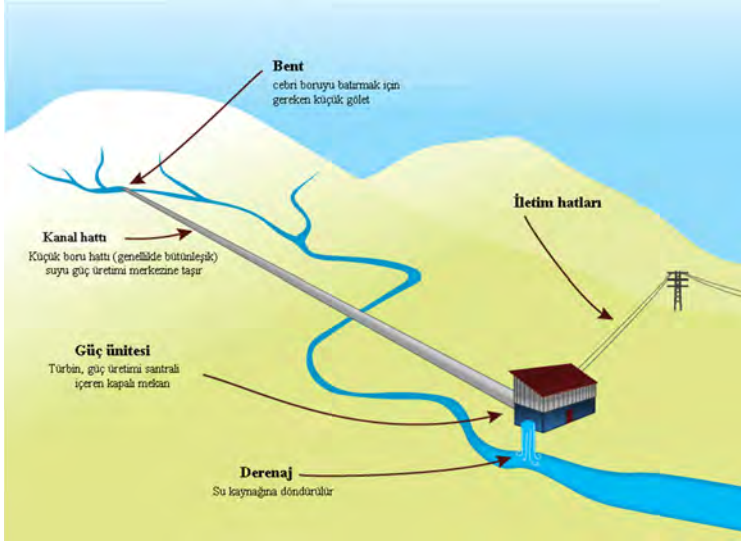
Rezervuar tipi sistemlerin çevresel etkileri,

- Baraj, dayklar, setlerin ve enerji santrali inşasını içeren inşaat faaliyetleri;
- altyapı varlığı (erişim yolları, enerji hatları, trafo merkezleri, vb.);
- nehrin akış yolunun değiştirilmesi;
- rezervuarın yaratılması, muhtemelen karasal ve nehir ortamlarından göl türündeki bir ortama kadar büyük ekolojik değişikliklere neden olmakla birlikte toplulukların yeniden yerleşimi ve üretim faaliyetleri gibi arazi kullanım dönüşümlerine de neden olmaktadır.

## **Nehir tipi hidroelektrik sistemler**

Bu tip hidroelektrik üretim, bir rezervuar gerekmeden (veya az miktarda olmak üzere) nehrin doğasında var olan su akışını kullanır. Genellikle yumuşak gradyanlara sahip geniş nehirlerde küçük başlıkla veya dik eğimli küçük nehirlerde yüksek başlıkla tasarlanabilirler. Nehir akışı projeleri (bkz. Şekil 9.2) nehirde su akışını veya onun bir parçasını kullanabilir. Nehir tipi hidroelektrik santrallerinden temin edilen enerji miktarları nehir debisine bağlı olarak ciddi miktarlarda farklılaşabilir. Bu nedenle bu tür tesislerde elde edilen enerji potansiyeli verimin en düşük olduğu temel durumlar baz alınarak ifade edilir ve de sadece nehrin bir kısmının kullanılmasını öngörerek değerler verilir. Bir nehir üzerindeki hidroelektrik santrallerinin enerji üretimini optimize etmek için ortak bir yaklaşım, üst havzada, akış yönünde birkaç nehir akışını kullanmak veya daha küçük rezervuar santralleri için akış debisinin ayarlanabileceği geniş bir depolama rezervuarı inşa etmektir. Nehir tipi sistemlerde, nehrin göle dönüştürülme durumunun söz konusu olamayacağı bir durumdan ötürü önemli dercede büyük bir rezervuarın kullanılamaması sosyal ve çevresel açıdan sistemin etkilerini azaltmaktadır. Ayrıca, nehrin akış paterni esasen değişmeden kalır ve bu da santralin alt akış etkilerini azaltır.





**Şekil 9.2.** Nehir tipi hidroelektrik diagramı

(<http://nextgenerationhydro.ca/resource-centre/hydro-basics/>)

## Nehir derivasyonlu (saptırmalı) hidroelektrik santralleri

Nehir derivasyonu aşağıdaki bileşenlerden oluşur:

- Akış yönlendirmesinde: Bir nehir suyu baraja toplanır ve su dağ eteğinde yer alan kanallara/tünelere yönlendirilir ve tekrar nehir yatağına verilir.
- Çarpraz havza saptırması: Bu strateji, santralin bulunduğu alıcı nehrin akışını artıracak ve yönlendirilen nehrin alt akışını azaltacaktır.

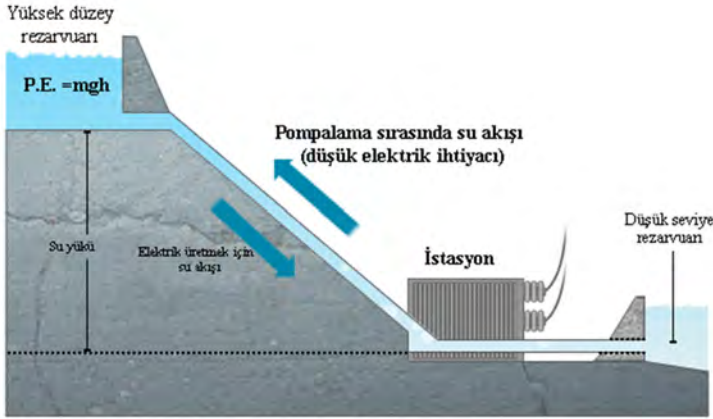
Akış yönlendirmesinde, hedef güç santrali için yükü arttırılabilmektir, böylece yararlanılabilir güç ve enerji arttırılabilecektir. Çarpaz havza saptırmasında ise, sonuç enerjinin arttırılmasıdır, bu kez ise santralin kurulduğu nehirdeki akış debisi arttırılmış olur. Hidroelektrik sistemlerinin spesifik çevresel etkisi, saptırmanın hemen aşağısındaki akışın daha şiddetli olması veya tamamen azalmasıdır. Bu durum aşağı kısımlarda kıyı erozyonuna, su sıcaklığına ve su kalitesine etkiler yaratır. Bu etkilerin büyüklüğünün sonuçları, özellikle düşük su akışlı nehir bölümünün uzunluğuna bağlı olarak suda yaşayan biyolojik çeşitlilik açısından ekosistemin değişmesidir. Çarpaz havza saptırmalı sistemlerde ise, problem su akışının alıcı nehirde yükselmesi durumudur. Burada ise istenmeyen türlerin, balıkların ya da bitkilerin yaygınlaşmasıdır.

Nihai olarak, nehir kenarı bitkilerin, çalıların ve azalan akış nehirlerindeki karasal faunaların kolonizasyonları ile yeni bir ekolojik denge ortaya çıkarak su habitatının artan su kapasitesine paralel artması durumu ortaya çıkıyor. En etkili tedbir, nehir habitatının ve mevcut alanın kullanımının (balıkçılık, navigasyon, kırsal ve şehir için su tedarigi vb.) korunması için sapmanın aşağı akış yönünde minimum bir ekolojik akış oluşturabilecek şekilde ayarlanmasıdır. Doğal nehirlerde akış zamana bağlı olarak iklimden iklime değişmekte ve hatta kimi nehirler yılın kimi aylarında tamamen kurumaktadırlar.

Akış rejimine göre her bir nehrin ekosistemi zamana bağılı olarak ayarlanmalıdır. Dönüştürülmüş bir nehirde ekolojik bir akış tasarımı, örneğin doğurganlık/üreme ile ilgili kayıpları en aza indirmek için nehirde en değerli sucul yaşama alanlarının ayarlanması gereklidir. Akış azaltılmış bir nehirde, su seviyesinin saptırma ya da müdahale öncesi koşullara benzer durumun sağlanması için küçük güreler yapılabilir.

### **Pompalı depolamalı hidrogüç sistemleri**

Pompalı depolamalı santraller (bkz. Şekil 9.3) elektrik santrallerin temel yükünden temin edilen artı elektriği kullanarak çalıştırılan pompanın akışın yoğun olmadığı zamanlarda devreye girerek suyun daha üst seviyedeki depolama rezarvuvarına pompalaması ile çalışırlar. Gün içerisinde en yüksek pik periyodunda ise elektrik üretmek için tersine çalışırlar. Bunlar enerji depolaması için etkinliği en fazla olan teknolojilerden birisidir. Debinin düşük olduğu off-pik periyodunda suyun daha üst düzeydeki bir rezarvuara pompalanması demek santralin net enerji tüketimi yapmasıdır: Pompa, suyun daha yüksek bir seviyeden akması ile üretilen enerjiden daha fazla enerji tüketir. Genel olarak, pompalama için gerekli enerjinin %65-70 civarı üst rezarvuardan daha düşük seviyedeki rezarvuara akış dolayısıyla enerji üretimi sırasında karşılanabilir.



**Şekil 9.3.** Pompalı depolamalı hidro güç sistemi

(<http://energystoragesense.com/pumped-hydroelectric-storage-phs/>)

Pompalı depolama santrallerin geliştirilmesi, kömür enerji santralleri, nükleer santraller gibi diğer az esnekliğe sahip temel enerji sistemelerine kıyasla maliyet açısından etkilidir. Kimi durumlarda akışın pik olduğu periyottaki elektrik üretimi, olmadığı duruma kıyasla iki katı bulabilir. Kısa süre içerisinde küçük kapasiteli üst rezervuar haftada bir ya da iki kez olmak üzere boşalır ve bu özellik pompalı depolama sistemini karakterize eder. Bu nedenle üst rezervuara çekiş çok önemlidir. Bu havuzlar genellikle insan yapımıdır ve stabil bir su ortamı yaratamazlar. Pompalı depolama sistemi kimi zaman bir nehir, göl ya da mevcut alçak seviyede rezervuar kullanır

ya da tamamen farklı bir havuz oluşturulur. Pompalı depolama sisteminin çevresel etki hususlarında en fazla ilgili durumlar yüksek seviyedeki havuzun yerleşimi, güç üretim tesisinin lokasyonu (yeraltı ya da yerüstü) ve de düşük seviye rezervuarının doğal ekosistemidir. Bu hususlar esasen tesise özeldir ve projenin tasarımı esnasında ele alınabilir.

### **Küçük, mini ve mikro hidroelektrik sistemleri**

Küçük, mini ve mikro hidroelektrik sistem tanımlamaları görecelidir ve her ülkenin koşullarına bağlı olarak değişir. Dolayısı ile bu sistemler için dünyada genel olarak kabul edilmiş bir tanım mevcut değildir. Büyük projelerle kıyaslandığında, küçük kapasiteli tesisler tanıtımları, çabuk tesis edilmeleri, yatırım maliyetlerinin düşük olması ve de çok çok az alana ihtiyacı olması nedenleri ile avantajlıdırlar. Düşük kapasiteli hidroelektrik, çoğunlukla yaygınlaşmış üretim uygulamaları için dizel jeneratörler veya kırsal alanlar için diğer küçük ölçekli santrallerin bir alternatifi veya kombinasyonu olarak kullanılır.

Çevresel etkiler kabaca ilgili alan ile orantılıdır. Ayrıca, küçük barajlar ile ilişkili azaltılmış güvenlik riski ve nüfusun az oldummasına ilişkin faydalar da vardır. Çevresel açıdan bakıldığında, yenilenebilir küçük barajlar ile yenilenemez büyük barajlar arasındaki ayrım biraz keyfidir. Bir projenin yenilenebilir ve sürdürülebilir olup

olmadığı, projenin spesifik özelliklerine ve yerine bağlıdır. Bu durumda şu soru akla gelir: Çevre için daha az zarar vereni hangisidir? Bir nehir üzerine 1000 MW kapasite ile kurulmuş bir tane büyük kapasiteli tesis mi, ya da 100 nehir üzerine kurulmuş 5MW lık 200 tane küçük hidroelektrik santrali mi? Tek bir 1000 MW lık projenin 5MW lık 200 adet küçük hidroelektrik santralinin hepsinin etkisine kıyasla genel çevresel etkileri nehirler ve kolları açısından daha az olabilir mi? Belli bir habitat üzerinde daha küçük bir insan müdahalesinin aynı yaşam alanına yapılan çok büyük müdahalelerden daha az etkisinin olduğu açıktır; ancak hidroelektrik projelerini, üretilen enerji ve güce dayalı olarak da karşılaştırmak gerekir. Etkilenebilecek ekosistem çeşitliliği açısından ve küçük projelerle eşdeğer depolama hacmi için daha büyük kümülatif yüzey alanı ihtiyacı olduğu göz önüne alındığında, çok sayıda küçük hidro projenin kümülatif etkileri tek bir projenin kümülatif etkilerinden daha büyük olabilir.

Hidroelektrik üretiminin temel avantajları şu şekilde verilebilir (Okot, 2013):

- Ekonomik açıdan
  - Düşük işletme ve bakım maaliyeti vardır.
  - Uzun süreli çalışabilen sistemdir; yeni bir yatırıma ihtiyaç duyulmadan 50 yıl çalışabilir.
  - Güvenilir bir enerji kaynağıdır
  - Bölgesel gelişimi destekler, iş sahası yaratır

- Yüksek verimlilik açısından iyi bilinen ve doğrulanmış olan bir teknolojidir.
- Sosyal etkileri
  - Yaşam standartlarını artırır
  - Diğer ihtiyaçlar için su kullanımını mümkün kılar
  - Sıklıkla sel/su taşkını önleyicidir
  - Ulaşım imkanlarını geliştirir
  - Bölgenin ve kaynaklarının erişilebilirliğini artırır
- Çevresel açıdan
  - Çok az GHG emisyonu üretir ve de atmosferik kirlilik ortaya çıkarmaz
  - Atık üretmez
  - Yenilenemeyen yakıt kaynaklarının tükenmesini engeller
  - İklim değişikliğini yavaşlatır

Temel dezavantajlar ise:

- Ekonomik açıdan
  - Yüksek yatırım maliyeti
  - Multidisipliner gelişme gerektirmesi
  - Uzun vadeli planlama gerekliliği ve uzun vadeli anlaşmaların yapılması gerekliliği
- Sosyal açıdan
  - Yeniden yerleşime götürebilir
  - Su habitatının modifikasyonuna neden olur
  - Su kalitesinin izlenmesini gerekli kılar
  - Popülasyonun izlenmesi gereklidir

- Biyolojik çeşitlilik açısından zengin olan engebeli bölgeler, karbon emisyonlarına neden olur

Şekil 9.4 basitleştirilmiş bir hidroelektrik sisteminin şemasını göstermektedir (Okot, 2013). Hidroelektriğin temel ilkesi bürüt yükün Hg (m) mekanik ve elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Hidro türbinler su basıncını mekanik güce çevirir ki bu güç jeneratörü çalıştırır. Su basıncı ile üretilen güç hidro türbinlerce mekanik mil işine dönüştürülür. Mekanik şaft elektrik jeneratörünü ya da farklı ekipmanları çalıştırmakta kullanılır. Kullanılabilen güç hacimsel akış debisi ve basınç yükü ile direkt orantısaldır. Genel olarak, hidrolik güç  $P_0$  (kW) ve enerji  $E_0$  (kWh) ilişkisi tanımlanan zaman dilimi ( $\Delta t$  (sa)) içerisinde;

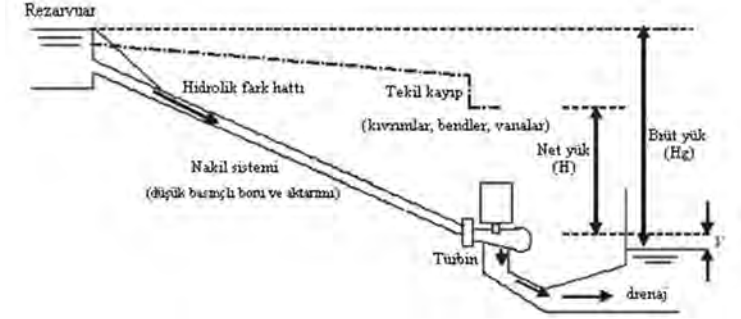
$$P_0 = \rho g Q H$$

$$E_0 = \rho g Q H \Delta t$$

Burada  $\rho$  suyun yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ ),  $g$  yerçekimi ivmesi ( $\text{m/s}^2$ )dir. Sistemde yaratılan final güç  $P$  ise,  $P = \eta P_0$  olarak verilebilir ki burada  $\eta$  turbo-jeneratörde hidrolik verimliliğidir. Hidro hala elektrik üretiminde en etkin yöntemdir. Modern hidro türbinler boyutlarının giderek küçülmesine karşın kullanılabilir enerjinin %90



ını elektriğe çevirebilir. Mikro hidroelektrik sistemlerinde verim %60-80 mertebesindedir.



Şekil 9.4. Hidroelektrik şemasının bileşenleri (Okot, 2013).

## Su türbinleri

Günümüzde kullanımda olan, herbirinin kendine ait avantajları, dezavantajları ve optimum operasyonel aralığı olan farklı tasarımlarda su türbinleri mevcuttur. Türbin enerji çıkışının yük, su hacmi ve bıçaklardaki su basıncı gibi kombine etkilere bağlı olduğunu göz önüne alınırsa, özel bir sistem kurulumu için spesifik, yeterli ve en uygun türbin tipinin seçilmesi gereklidir. En fazla kullanılan türbinler şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Reaktif Türbin Tasarımı- bıçaklar yüksek basınç altındaki gövdede ve tamamen suya gömülü haldedir. Bıçaklar arasındaki basınç farkının

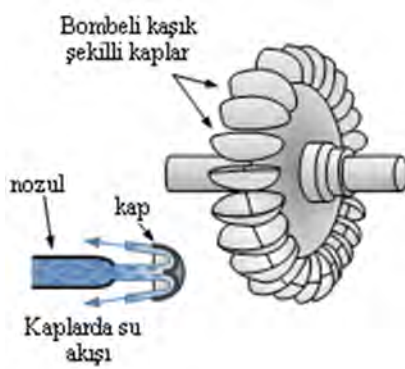
oluşması bıçakların hızlı dönmelerine neden olmaktadır.

- Tepkisel türbin tasarımı- akışkan su oluşan su jeti ya da birden fazla jetleri (nozul) ile birlikte türbin bıçaklarına çarpar. Tepkisel türbinde mekanik güç çıkışı su akışının sahip olduğu kinetik enerjinin aktarımıdır.

Operasyon tipinin yanısıra, türbinler tasarımlarına, yapılarına, bıçak tiplerine göre kategorize edilebilir. Pelron, Turgo ya da Kaplan türbinleri onları tasarlayanların isimlerini almıştır. Yüksek ve düşük irtifalar arasındaki fark (ki bu potansiyel enerjiyi yaratır) sistemin yükü demektir. Genellikle, hidro enerji ve hidroelektrik güç sistemlerinde dikey yükseklik farkı 30m den az ise düşük-yük kavramı, 30-150 m arasında ise medium-yük, 150m den yüksekse yüksek-yük tanımlamaları yapılır.

Pelton su Türbini (Pelton Kasnağı) tasarımcısı Lester Pelton'un ismini almıştır ve en fazla kullanılmakta olan çark tipi türbindir (Şekil 9.5). Bu bir tepki türbinidir ve yüksek yük düşük su akışına uygun bir tiptir. Kasnağın çevresine küçük kavisli fincanlar (kova) bulunur. Su jetlerinden yüksek hızla su bu fincanlara çarpar ve bit tepki kuvvetiyaratarak türbinin dönmesini sağlarlar. Dolayısıyla Pelton kasnağının en önemli parçası iki eşit parçaya bölünmüş ve herbirinin dönerek eski halini

alabildiği bu kovacıklardır. Özel şekilleri jetin neredeyse 180 derece dönmesini sağlar.



**Şekil 9.5.** Pelton Türbini  
(<http://www.alternative-energy-tutorials.com>)



**Şekil 9.6.** Turgo Türbini  
(<http://www.alternative-energy-tutorials.com>)

Nozullar vasıtası ile su jeti ile yaratılan potansiyel enerji kinetik enerjiye dönüştürülür ve hemen hemen hareketli suda bulunan enerjinin tamamı bardakları itmek üzere kullanılır. Nozullardaki su jeti türbinin bardaklarını iterek kasnağın dönmesini ve tork ve güç üretmesini sağlar. Pelton türbini jetin kinetik enerjisinden dolayı net bir mekanik enerji kazanımını gerçekleştirir. Kullanılabilir yük ve çark etrafına tanjant olarak yerleştirilmiş nozul sayılarına bağlı olarak su jeti yönü ve hızı kontrol edilebilir ve çark için sabit düşük bir sağlanarak elektrik

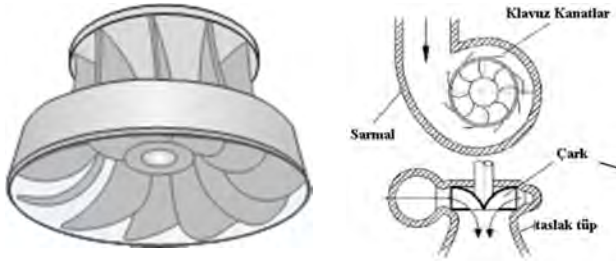
üretimi için ideal bir durum oluşturur. Pelton türbini hızı, nozullardan su hızının bardaklara ya da sepetlere ayarlanarak verilmesine bağlıdır.

Turgo Su Türbini diğer bir tepki türbini olup türbinin bıçakları üzerine şiddetli su jetinin çarpması ile çalışır (Şekil 9.6). Pelton tipli ile kıyaslandığında fark, jetin kova düzlemine yaklaşık  $20^0$  açı ile çarpmasıdır. Bombeli bıçaklar suyu yakalar ve türbin şaftının dönmesini sağlar. Yüksek akış hızından dolayı, Turgo türbini Pelton türbinindeki aynı miktarda gücü elde edebilmek için çok daha küçük çaplı bir çarka sahiptir ki böylece yüksek dönüş hızları elde edilebilir. Ancak, Turgo kasnağı Pelton kasnağına göre daha az verimle çalışır.

Francis Su Türbini James Francis tarafından tasarlanmış radyal akışlı reaksiyon tipli su türbinidir. Burada tüm türbin çarkı düzeneği suyun içine daldırılmış ve bir yuva içerisindedir (Şekil 9.7). Su düzenek içerisine basınçlı olarak girer ve türbin kanatlarına doğru açı ile yönlendirilmesini sağlayan gövde çevresindeki kılavuz kanatlar boyunca yönlendirilir. Su türbin bıçaklarına radyal olarak girer ve merkezin spin atmasına neden olur.

Francis türbini daldırılmış tipli bir türbin olup, su basıncının ve kinetik enerjisinin bıçakları çevirebildiği pervaneli türbin tasarımıdır. Su akışının sahip olduğu enerji, tork ve rotasyon olarak türbin şaftına aktarılır.

Türbin orta-yük uygulamalarına uygun olup ancak çok fazla miktarda su ihtiyacı duymaktadır.



**Şekil 9.7.** Francis Türbini (<http://www.alternative-energy-tutorials.com>), (Okot, 2013)

Kaplan Su Türbini, Avusturyalı Victor Kaplan tarafından tasarlanmış olup, pervaneli tipe benzer bir aksenal akış reaksiyon tipli bir su türbinidir (Şekil 9.8). Bu nedenle aynı zamanda Propeller (Pervaneli) Türbin olarak da tanımlanır. Kaplan pervane şekilli rotor iki sabit ve ayarlanabilir başka bıçaklar içerir. Kaplan türbininin çalışması gemi pervanesinin çalışma prensibinin tersi gibidir. Giriş vanaları aracılığı ile su türbine radyal yönlerden verilir. Vanaların açısı ve pozisyonu suyun geçmekte olduğu kapalı sistemde bir vorteks oluşturur ve açılacak şekilde yerleştirilmiş bıçaklar üzerinde bir kuvvet oluşturur. Pervaneler dönerken, rotor bıçakları merkezi shaft üzerinde sabit olup vortekslenen suyun bıçaklarda yarattığı itme kuvveti rotasyon ve tork üreterek enerjiyi aktarır. Kaplan türbinin en önemli avantajı çok düşük yük

durumunda kullanılabilir olmalarıdır ki bu türbin için su akışının ılımlı olmasına ve de ayrıca baraj ya da su rezervi gibi ünitelere ihtiyacı ortadan kaldırarak çevreye oldukça azımsanacak bir etki bırakır.



**Şekil 9.8.** Kaplan Türbini  
(<http://www.alternative-energy-tutorials.com>)

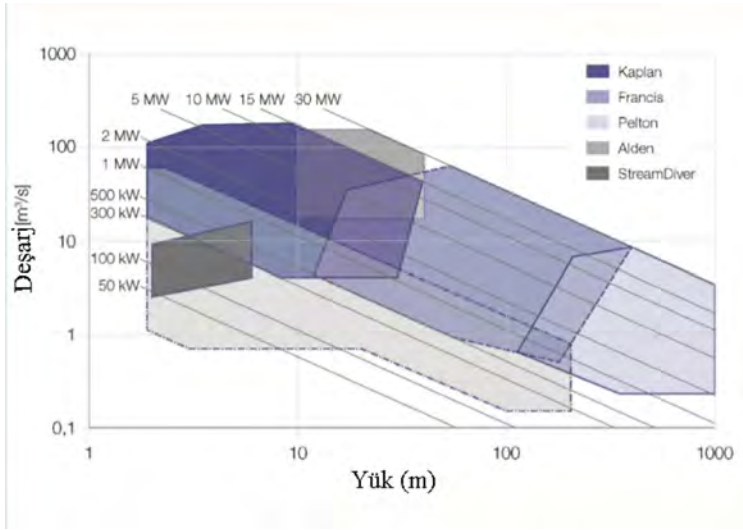


**Şekil 9.9.** Çarpraz-akış Türbini  
(<http://www.alternative-energy-tutorials.com>)

Çarpraz akış türbini (Michell-Banki türbini) tepki tipli bir türbin olup, tambura benzer bir rotora sahip, silindirik biçimli bir yürütücü üzerinde kıvrımlı kanatlara yönlendirilmiş uzunlamasına, dikdörtgen bölümlü bir nozul kullanan bir sisteme sahiptir (Şekil 9.9). Çarpraz akış türbini günümüzün modern türbinlerinden ( Pelton, Turgo, Francis ve Kaplan gibi) daha düşük verime sahiptir. Yüksek su akışının olduğu ancak düşük yüke sahip bölgelerde kullanılabilir. Yürütücünün tüm uzunluğu boyunca su jetini tahrik etmek için su, bu kaburgalara tek veya çift dikey dikdörtgen nozullar

vasıtasıyla beslenir. Bu nozullar suyu yönlendirerek sahip olduğu potansiyel enerjiyi kinetik enerjiye çevirir. İlk bıçağa çarptıktan sonra su, tambur içerisinde aşağı yöne düşer ve aksi yöne hareket eder. Böylece çarpaz akış türbini sudaki enerjiyi iki kez kullanmış olur; bir kez üst kısımda, bir kez de alt kısımda. Böylece merkezi çizgide dönen türbine ilave verim yaratılmış olur. Çarpaz akış türbininin temel avantajı değişken yüklemelerde ve su akışlarında çalışabilmesidir. Ayrıca, bunların nispeten daha kolay kurulabiliyor olmaları, daha düzenli işletilebiliyor olmaları, düşük yüklerde dahi çalıştırılabilir olmaları sistemin mini ve mikro hidro güç sistemlerinde kullanılabilmesini mümkün kılmaktadır. En uygun türbin seçimi, bölgede ne miktarda yük ve akış debisi olduğuna, nehir yatağına yakın olması durumuna ya da suyun kanallar vasıtası ile yönlendirilmesine ya da direkt kullanım imkanına bağlı olarak yapılabilir.

Şekil 9.10 mevcut yük ve su basıncına göre hangi su türbini tasarımının en iyi çalıştığı hakkında temel bir fikir vermektedir.



**Şekil 9.10.** Yük miktarı, deşarjı ve kapasitesine göre küçük hidroenerji tipleri (Voith, 2013)

## 9.2. Çevresel Etkileri

Büyük hidroelektrik projeleri ile ilgili tartışmalı bir durum mevcuttur: büyük coğrafi bölgelerde su elverişsiz biçimde etkilemektedir; doğal ekosistemler bozulmaktadır; mevcut yerel halkın istekleri gözetilmeksizin zaruri yer değiştirmesi gerekmektedir, büyük bir elektrik iletim altyapısı gereklidir. Bunlar, her ne kadar ilk bakışta “yeşil” sistem görünsede, bazı ekolojistlerin ve çevre aktivistlerinin, büyük ölçekli hidroelektrik santrallerinin elektrik üretimi için o kadar cazip bir yol olmadığını iddia etmesinin ana nedenleridir. Hidroelektrik enerjinin, sulama, su temini, gıda kontrolü



ve rekreasyon gibi üretilen elektriğe ek olarak sayısız ekonomik ve sosyal faydalar ürettiği açıktır. Hidroelektrik enerjisi her ne kadar geleneksel olarak yeşil bir enerji kaynağı olarak düşünülmüş olsa da, yayınlanmış raporlar küçük hidro sistemlerin sürdürülebilir ve yenilenebilir olduğu buna karşın “büyük hidro” ların bu durumdan uzaklaştığı konusunda farklılaşmıştır (Pang, Zhang, Ulgiati, & Wang, 2015). 70'li yılların ortalarından beri çeşitli projelerde sediment transportasyonunun bozulması, balık göçü, aşağı akıntılar ve haliçler dikkatle gözlemlenmiştir. Barajların nehir su akışını değiştirdiği, su sıcaklığını, sel yoğunluğunu ve besleme yükünü etkilediği ve nehir boyunca beslenme ve habitatların yetiştirilmesi üzerine etkilerini gösteren bulgular vardır. Bazı baraj karşıtı kuruluşlar, eşdeğer güç elde etmek için termal tesis kullanıldığı aynı miktarda GHG emisyonlarının ortaya çıkacağını iddia etmektedir. Ayrıca, bölgedeki zoruri göç, tarım ve orman alanlarının tahribatı, tarihi ve maden kaynaklarına verilen zarar ve arkeolojik, doğal ve turistik bölgelerin kaybolması durumlarını içeren sosyoekonomik etkiler de bulunmaktadır. Bu nedenle, avantajların ve dezavantajların enikonu tartışılması gerekli ve buna göre karar verilmelidir. Hidroelektrik kullanımı ile ilişkili çevresel etkiler dört önemli kategoride özetlenebilir: Fauna, flora, manzara ve tarihi kalıntılar. Bitki örtüsü, tarımsal kayıplar, ormancılık kayıpları, erozyon gibi hususlar, barajların flora üzerine inşa edilmesinin etkisiyle ortaya

çıkan doğrudan hasarlanma son zamanlarda yayınlanan araştırmalarda en sık belirtilen durumlardır. Etkinin niteliği ve boyutu, hidroelektrik santralının türü ve boyutunun yanı sıra, bölgeye özđü özelliklere oldukça bağımlıdır (Botelho, Ferreira, Lima, Pinto, & Sousa, 2017). Yerel toplulukları etkileyecek bu faktörlerin her bir vaka için değerlendirilmesi gerektiği ifade edilmelidir. Büyük ölçekli hidroelektrik santralleri artık temiz, yenilenebilir enerji kaynağı olarak kabul edilmediğinden, 1960' larda popüleritesini yitirmiş olan küçük ölçekli hidroelektrik santralleri, artmakta olan çevresel konular için çözüm üretebilir. Bununla birlikte, küçük ölçekli hidroelektrik santralleri de nehir ekosistemlerini bir dereceye kadar etkilemektedir. Yerel ekosistemin bu değişiklikleri esas olarak iki açıdan ele alınabilir: nehrin periyodik olarak kurumasına neden olabilecek, su tutma ve yön değiştirmeden kaynaklanan doğal durumun bozulması ve alt ekosistemde yaşanabilecek bozulmalar. Hidroelektrik tesisleri suyu tüketmez ya da kirletmez, ancak doğal akışı bozar. Su akışı, nehir ekolojik süreçlerinin ana bileşeni olduğundan, bu değişiklikler nehir ekosistemlerinin sağlığını önemli ölçüde etkilemektedir. Barajdan dolayı kaynaklanan su tutma ve bağlantılı kuruma, alt ekosistemin bozulmasını provoke eder. Bu durum önlenemezse, çevre etkileri nispeten azalmış olur. Bazı ülkelerde iyi ve etkin planlama yapılmadan küçük çaplı santrallerin kurulması sorunları arttırabilir. Bu durum,

hem kontrolsüzlüğe hem de daha da önemlisi kurumlara neden olabilir. İyi planlanmış, gerekliliklere riayet edilmiş ve konumu doğru yapılmış küçük hidroelektrik santrallerinin kurulması, nehrin önemli ölçüde korunmasını sağlar. Ancak, bu teknolojinin nehirler ve şelaleler üzerindeki olası tüm alanları kapsayacak şekilde aşırı uygulanması, çevrenin bozulmasını büyük ölçüde artıracaktır. Küçük ölçekli hidroelektrik enerjisinin aşırı yoğun kullanımı, büyük hidroelektrik projelerinin çevreye zarar verici durumunu yaratacaktır. Yine de hidroelektrik teknolojisinde önemli ilerlemeler olumlu gelişmeler vaat etmektedir. Günümüzde, küçük rezervuarlar için yeni, daha az çevresel etkiler yaratan, düşük yüklü türbinler geliştirilmektedir ancak bu da yatırım maliyetini arttırmaktadır (Pang ve ark., 2015). Bununla birlikte, yeni teknolojilerin uygulanması ve adaptasyonu genellikle yavaştır. Ayrıca Ar-Ge yatırımları da yetersiz kalmaktadır. Bu durum, hidroelektrik enerjisi teknolojisinin artık çok bilinen bir teknoloji olduğu ve artık bu alanda yeni teknoloji beklentisi olamayacağı yönünde yanlış bir algıdan dolaydır.

## **Referanslar**

Egré, Dominique, & Milewski, Joseph C. (2002). The diversity of hydropower projects. *Energy Policy*, 30(14), 1225-1230.

Okot, David Kilama. (2013). Review of small hydropower technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 515-520.

Pang, Mingyue, Zhang, Lixiao, Ulgiati, Sergio, & Wang, Changbo. (2015). Ecological impacts of small hydropower in China: Insights from an emergy analysis of a case plant. *Energy policy*, 76, 112-122.

Voith (2013), “Small hydro”, Voith, Germany, [http://voith.com/en/Broschuere\\_SH\\_final\\_screen.pdf](http://voith.com/en/Broschuere_SH_final_screen.pdf).

**BÖLÜM 9**  
**HİDROELEKTRİK ENERJİ**  
Sorular ve Cevaplar

**1. Hangi tür hidroelektrik su türbinlerinde, bıçaklar tamamen su akışına daldırılır?**

- a) İmpuls türbinleri
- b) Reaksiyon türbinleri
- c) İmpuls ve Reaksiyon Türbinleri
- d) Hiçbiri

**Cevap: b**

**2. Hidroelektrik sistemlerinde kullanılan türbinlerden hangisi impuls türbinidir?**

- a) Francis Türbini
- b) Kaplan Türbini
- c) Çapraz akışlı türbin

**Cevap: c**

**3. Günümüzde hangi hidroelektrik santrali yenilenebilir olarak kabul edilmektedir?**

- a) Büyük hidroelektrik santralleri
- b) Küçük ölçekli hidroelektrik santralleri
- c) Büyük ve küçük ölçekli hidroelektrik santralleri
- d) Hiçbiri

**Cevap: b**

**4. Küçük ölçekli hidroelektrik santralleri için hangisi doğrudur?**

- a) Çevresel olumsuz etkisi yoktur.
- b) Çok olumsuz çevresel etkiye sahiptir
- c) Küçük çevresel etkileri vardır, ancak yeterince planlanmışsa önlenbilir

**Cevap: c**

**5. Hidroelektrik üretiminin temel özellikleri nelerdir?**

- a) Yenilikçi ve yeni teknoloji
- b) Taşkın korumaya yardımcı olabilir
- c) Sera gazı emisyonu üretmez
- d) Düşük işletme ve bakım masraflarına sahiptir.
- e) Düşük sermaye maliyeti vardır

**Cevap: b, c ve d**

## BÖLÜM 10

### BİYOKÜTLE ENERJİ SİSTEMLERİ

Bölüm Yazarı: Laszlo MAGYAR

Energiaklub Climate Policy Institute and Applied  
Communications, Macaristan

e-mail: [magyar@energiaklub.hu](mailto:magyar@energiaklub.hu)

**Özet:** Biyokütle fosil yakıtlara (kömür, petrol ve doğal gaz) alternatif bir enerji kaynağıdır. Son yıllarda, karbon salımına neden olan fosil yakıtların aksine karbon salımı olmayan doğal bir kaynak, biyokütle enerjisine ilgi artmıştır. Biyoenerji katı sıvı ve gaz yakıtlar halinde dönüştürülebildiğinden aynı zamanda çok yönlü bir enerji kaynağıdır. Biyoenerji, ev ısıtmasında, elektrik ihtiyacının karşılanmasında, taşıma sektöründe yakıt olarak kullanılabilir. Bu bölümde, biyokütlenin farklı kaynakları, biyoenerji üretiminde teknik hususlar ve proseslerinin çevresel etkilerle bağlantıları detaylı olarak tartışılacaktır.

#### Öğrenme Çıktıları:

- Okuyucu, farklı biyokütle enerji kaynakları ile ilgili bilgi edinecek ve çeşitli biyokütle enerji teknolojilerinin farkında olacaktır.
- Okuyucu, biyokütle enerji kullanımının çevresel etkilerini değerlendirebilecektir.

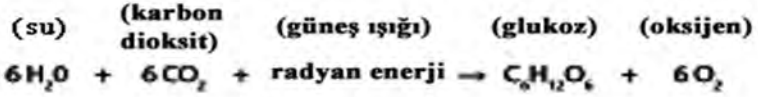
## 10.1. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle fitokütle ya da bitki biyokütlesi ve zookütle ya da hayvan biyokütlesi ifadelerini içeren genel bir terminolojidir. Biyokütle depolanmış güneş enerjisini içerir. Bitkiler fotosentez yolu ile güneş enerjisini absorbe eder ve bu enerjiji kimyasal enerjiye (Şekil 10.1) çevirirler (Abbasi ve ark., 2010).

### Fotosentez



Fotosentez işleminde, bitkiler güneşten radyan enerjiyi glukoz ya da şeker formunda kimyasal enerjiye çevirir.



Şekil 10.1. Fotosentez işlemi (US Ulusal Enerji Eğitimi Projesi)



Yeryüzüne ulaşan toplam anlık solar enerji miktarı 173,000 TW( terawatt) değerlerindedir ve bu miktar günümüzde insanların tüketmekte olduğu fosil yakıtların 17,000 katı kadardır (Goldemberg J, Johansson TB, 2004). Fotosentez ile yakalanabilen enerji miktarı ise 140 TW kadar olup bu değer yeryüzüne ulaşan enerjinin çok az bir miktarı kadardır. Ancak, toplam biyokütle hacmi olarak değerlendirildiğinde bu değer günümüz enerji ihtiyacının 10 katı kadardır. Her yıl hemen hemen 100 milyar ton karbon biyokütleyle çevrilmektedir (Abbasi ve ark., 2010).

Biyokütle kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtlara alternatif bir enerji kaynağıdır. Fosil yakıtların ya da biyokütlenin yakılması ile karbondioksit salımı olur. Ancak, biyokütlenin kaynağı olan bitkilerce neredeyse eşdeğer miktarda CO<sub>2</sub> bitki gelişiminde önemli olan fotosentezde kullanılmak üzere tüketilir. Son yıllarda biyokütle enerjisine, küresel ısınma ve okyanus asitlenmesi gibi problemlere yol açan net karbon salımına neden olan fosil yakıtların aksine nötr karbon salımı nedeni ile ilgi artmıştır (US Ulusal Enerji Eğitimi Projesi).

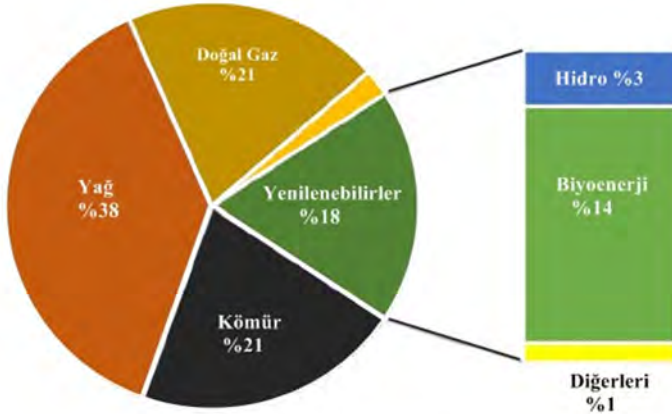
Biyokütle yandığında, biyokütledeki kimyasal enerji ısı olarak bırakılır. Biyoenerji farklı enerji kaynaklarında karşımıza çıkabilir. Diğer enerji kaynaklarının aksine, biyokütle katı, sıvı ve gaz formlarına dönüştürülebilir. Böylece, biyoenerji evlerin ısıtılmasında, toplumun

elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasında ve transportasyonda yakıt ihtiyacının karşılanmasında kullanılabilir (Dünya Enerji Birliği, 2016).

## 10.2 Biyokütle enerjisinin tüketimi

### 10.2.1 Global tüketim

Global olarak, 2012 yılındaki dünya enerji tüketiminin % 14' ü biyoenerji (atıklar dahil) olup, bu değer yaklaşık 2.6 milyar insanın enerji ihtiyacını karşılayabilecek bir değerdedir (Şekil 10.2) (Dünya Enerji Birliği, 2014).



Şekil 10.2. 2013 yılındaki global enerji tüketimi (Dünya Biyoenerji Birliği, 2014).

Ulaşımında, Amerika ve Brezilya sıvı biyoyakıt kullanımında dünyada lider durumdaki ülkelerdir ve hemen hemen %80 biyoyakıt üretimini bu alanda kullanmaktadırlar. Ulaşım sektörü için, Amerikada mısır etanolü üretimi, Brezilya’da ise şeker kamışı etanolü üretimi ciddi derecede artmıştır (Dünya Biyoenerji Birliği, 2014).

Elektrik üretiminde biyokütle kullanımı ise öncelik veren devletler Avrupa ve Kuzey Amerika’dadır ve öncelikle ormancılık ürünleri ve atıklarından biyokütle üretimini gerçekleştirmektedirler. Avrupa ve Amerika ülkeleri elde ettikleri biyokütlenin %70 ini elektrik için kullanmaktadır. Geçtiğimiz son birkaç yıl içerisinde ise, Asya ve Afrika kıtalarındaki gelişmekte olan ülkelerde biyokütle kullanımının arttığı görülmekte ve önemli miktarının elektrik açısından sıkıntıları bulunan toplumlarda elektrik üretiminde kullanıldığı tespit edilmektedir (Dünya Biyoenerji Birliği, 2014).

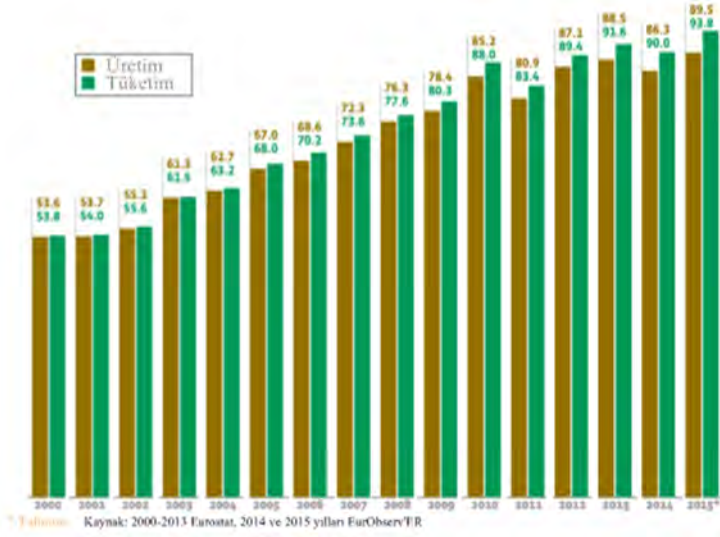
Şu anda, kırsal alanlarda ve gelişmekte olan ülkelerde biyokütlenin temel kullanım nedeninin ısı ihtiyacı nedeni ile olduğu görülmektedir. Biyoenerji tüketiminin %90’ının geleneksel kullanımlar için olduğu söylenebilir. Bunlar, yakacak odun, kömür ve tarımsal kalıntılar olup ısınma ve yemek pişirme ihtiyaçlarını karşılama içindir. Bu durum yakın bir zamanda hızlı şehirleşme ile değişecek olup, biyokütlenin verimsiz kullanımı nedeni ile ormanların yok olması, buna karşın iklim hedeflerini

ve artan miktarlardaki enerji talebini karşılamak üzere biyogaz, pelet, sıvı biyoyakıt vb. gibi verimli ve modern enerji kaynaklarına kaymayı sağlayacaktır (Dünya Biyoenerji Birliği, 2014).

### **10.2.2 Avrupa Birliğinde tüketim**

AB’de 2015 yılında 93.8 Mton tüketim ile yeni bir rekor kırılmıştır (Eurobserv’er, 2016). Son 20 yılda katı biyokütle üretimi ve tüketimindeki sabit artış rakamları kaydedilmiştir (şekil 10.3).

2016 yılında AB’de ulaşımda toplam biyoyakıt kullanımı %80,6 değerlerine ulaşmıştır. Hedef, biyoyakıt üretiminde ortaya çıkan seragazlarının emisyonunun azaltılarak çevresel etkilerinin düşürülmesidir. Yakıt tedarikçileri yakıtlarındaki seragazı yoğunluğunu 2020 yılına kadar %6 düşürmek zorundadırlar (Eurobserv’er, 2017).



**Şekil 10.3.** Öncelikli katı biyoyakıt enerji üretimi ve 2000 yılından beri AB tüketimi eğilimi (Değerler Mtoe birimindedir) (Euroserv'er: Solid biomass barometer 2016).

## 10.3 Enerji üretiminde biyokütle kaynakları

### 10.3.1 Bitkisel gıdalar

Bitkisel gıdalardan şeker kamışı, mısır, darı, soyafasüyesi, buğday, şeker pancarı ve bitkisel yağlar gıdalar etanol, biyodizel ve petrol/dizel katkıları gibi

biyoyakıt üretiminde kullanılmaktadır (Şekil 10.4) (Abbasi ve ark., 2010).

Yiyecek kaynaklarından enerji üretimi programı dikkatli irdelenmelidir, zira bu bitkilerin enerji üretiminde kullanılması ile gıda fiyatları yükselir, kıtlık başlar ve en nihayetinde insan varlığını tehdit eder bir durum ortaya çıkar. Bu durum ayrıca tarımsal arazi ve su kaynaklarını da tehdit eder bir durum yaratır (Abbasi ve ark., 2010).

### **10.3.2 Hidrokarbonlarca zengin bitkiler**

Çok sayıda bitki önemli ölçüde hidrokarbon içerir ve dizel tipli yakıtlar için potansiyel bir kaynak oluştururlar. Bu bitkilerden bazıları büyük umut vadetsede büyük ölçekte kullanımları durumunda gıda ürünlerinin enerji üretiminde kullanımı durumunun yaratacağı negatif etkilere benzer bir durum ortaya çıkar (Abbasi ve ark., 2010).

### **10.3.3 Atıklar**

Atıklar; zirai atıklar (saman, meyve/sebze kabukları, tahıl atıkları), ormansal atıklar, gıda atıkları ve katı atık tesislerindeki biyokütle bileşenleri olmak üzere bileşenleri içermektedir. Dünya genelinde bu atıklarda bulunan birkaç milyar tonluk biyokütle potansiyeli bunların sürdürülebilir enerji üretiminde kullanılmasını mümkün kılar. Ancak, aslında temiz ve maddi külfeti

olmadan enerjinin elde edilmesi hususu henüz çözülebilmüş bir durum değildir (Abbasi ve ark., 2010).

### **10.3.4 Yabancı otlar ve yabancı ürünler**

İstilacı bitkiler insan kontrolü dışında yayılım göstererek kontrolsüz üreyen yabancı otlar olarak tanımlanırlar. Bu bitkiler diğer birçok türe engel oldukları gibi kolonize oldukları bölgede tahribat yaratır ve stabilize bir durumu engellerler. Bu tür bitkiler enerji kaynağı olarak kullanılırlarsa bunların periyodik kullanımı ve hasat edilmeleri ekonomik olmalı, yayılımları kontrol edilerek zararlı etkiler yaratmalarını engellenmelidir (Ganesh ve ark., 2009).

### **10.3.5 Hızlı yetişen çimen ve odunsu türler**

Bunlar:

- Odunsu türler, örneğin söğütler, kavaklar ve sert kabuklu ağaçlar
- Otsu türler, örneğin dallı darı, büyük bluestem, kamış çim, çin fidesi

Bunlardan dallı darı yüksek biyokütle verimi, farklı coğrafi bölgelerde yayılım göstermeleri, etkin besin kullanımı, düşük erozyon potansiyeli, karbon sekestrasyon kabiliyeti, yıllık bitkilere kıyasla fosil yakıt

girdisinin düşük olması nedenleri ile ayrıca dikkat çekmektedir (McLaughlin, Kszos, 2005). Biyoyakıt üretiminde ekinlerin C4 fotosentezi, uzun gölgelik süresi, haşereler ve hastalıklardan etkilenmeme, hızlı büyüme, istilacı özellik sergilememe gibi karakteristik özellikleri seçimlerinde önemli kriterlerdir (Raghu et al., 2006).



**Şekil 10.4** Enerji üretimi için biyokütle kaynakları (US Ulusal Enerji Eğitimi Projesi)



#### **10.4. Biyokütlenin diğeri enerji formarına dönüştürülmeleri**

Biyokütle enerjisini açığa çıkarmanın yolu yanma işlemidir. Biyokütle metan gazı veya ulaşımda kullanımı uygun etanol, biyogaz yakıtları gibi kullanılabilir diğeri formlara da dönüştürülebilir.

Metan gazı, yerleşim yerlerinin çöp, tarımsal atıklar ve insan atıkları gibi atıkların digester adı verilen sistemde dekompoze olması ile elde edilebilen biyogaz ya da depolanabilir bir gaz bileşenidir.

Mısır, şeker kamışı gibi tahıllar fermente edilerek taşıma araçlarında kullanılmak üzere etanol üretilir. Diğeri bir ulaşım araçları yakıtı olan biyodizel ise bitkisel ve hayvansal yağlardan elde edilirler (EIA).

Tablo 10.1 biyokütle kaynaklarını ve enerji üretiminde kullanımlarını listelemektedir.

**Tablo 10.1** Biyokütle örnekleri ve enerji için kullanımları  
(www.eia.gov)

<b>Biyokütle Kaynağı</b>	<b>Biyokütlenin enerji üretiminde kullanımı</b>
Odun ve odun işlemleri atıkları	Evlerin ısıtılmasında yakacak, endüstri için prosesin ısı ihtiyacının elde edilmesi, ve elektrik üretimi
Zirai bitkiler ve atık materyaller	Yakıt olarak yakılırlar ya da sıvı biyoyakıta dönüştürülürler
Gıda, bahçe ve çöplerdeki odunsu atıklar	Enerji santrallerinde elektrik üretimi için yakılırlar veya çöp gazı üretimi alanlarında biyogaza dönüştürülürler
Hayvansal gübre ve insan atıkları	Yakacak olarak kullanılmak üzere biyogaza dönüştürülür

## **10.5 Biyokütleden farklı tiplerde enerji üretimine yönelik teknik yollar**

### **10.5.1 Biyokütlenin termokimyasal dönüşümü**

Biyokütlenin termokimyasal işlemlerinde kimyasal dönüşümler ve termal bozunma ile farklı ürünler elde edilir. Biyokütlenin içerdiği ısı enerjisi için farklı derişimlerde oksijen geerksinimi zaruri bir durumdur. Biyokütle oksijenin olmadığı ortamda ısıtıldığında,

piroliz işlemleri ile sıvı yakıt üretiminde değerlendirilebilecek çeşitli organik sıvılar elde edilir. Buna alternatif olarak, düşük konsantrasyonda oksijen varlığında ısıtılırsa gazifikasyon işlemi ile hidrojen üretimi ve de organik gaz üretimi meydana gelir ki bu gazlar sıvı yakıtıya dönüştürülürler (Abbasi ve ark., 2010).

Termokimyasal işlemlerin yatırım maliyeti ve işletim maliyetleri yüksek sıcaklık prosesleri gerektirdiğinden oldukça yüksektir. Termokimyasal üretime dayalı bir tesisin verimli olarak işletilebilmesi için, uzak mesafelerden biyokütlenin transferinin gerçekleştirilmesine yapılacak masrafı karşılaması gereklidir ve bu durum büyük ölçekli tesisleri gerektirir. Termokimyasal işlemler ayrıca biyokütlenin nakliyesi ve ısıtılması sürecinde fazla miktarda fosil yakıt kullanılmasını gerektirir (Abbasi ve ark., 2010).

### **10.5.2 Biyokütlenin yakılması ile işletilen santrallerde elektrik dönüşümleri**

Güç üretimi için biyokütlenin direkt yanması birkaç MW' dan 100 MW ya da daha fazlasına kadar üretimde farklı ölçeklerde ticari olarak kullanılabilen biyokütle güç üretimi için olağan bir teknolojidir (Bkz. Şekil 10.5). Dünyada, enerji amacı için değerlendirilen biyokütlenin %90'ı yanma reaksiyonunda kullanılır (IRENA, 2012).

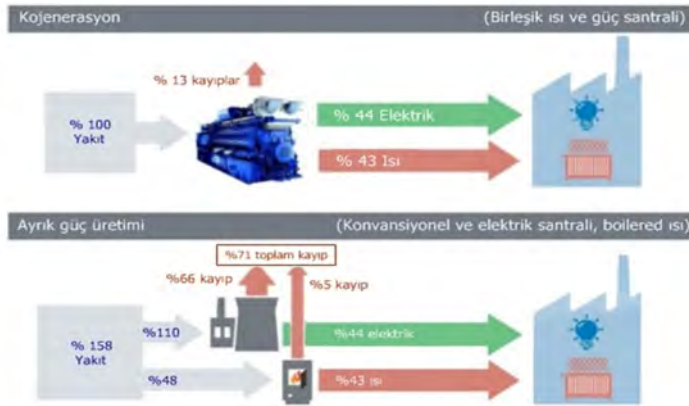
Yanmaya dayalı biyokütle tesislerinde iki ana bileşen bulunur: biyokütle yakılabilen buhar üreten bir boiler (yanma kazanı); elektrik üretiminde kullanılan buhar türbini. Boilerların yaygın olan iki formu stoker ve akışkan yatak kazanlarıdır. Bu sistemler sadece biyokütle ile takviye edilerek veya kömür veya diğer katı atıklarla birlikte karıştırılarak karışım yakıtla beslenerek çalıştırılırlar. Boilerde üretilen buhar, buhar türbinine verilir. Buhardaki yüksek ısı potansiyeli böylece mekanik güce dönüştürülerek elektrik üretimi gerçekleştirilir (IRENA, 2012).



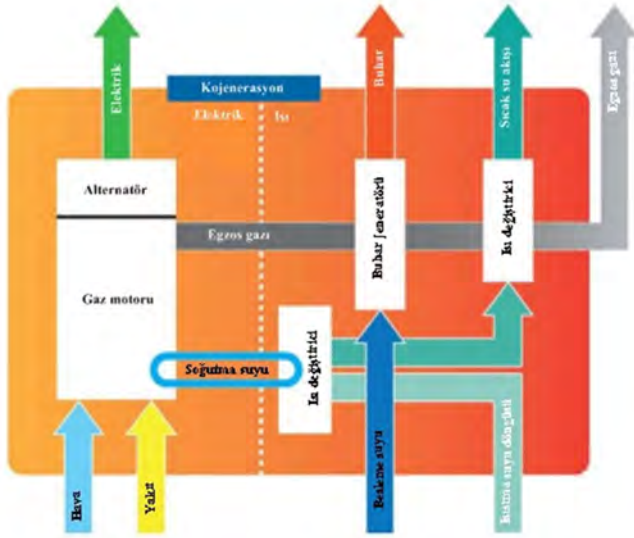
**Şekil 10.5.** Güç üretiminde biyokütle kullanımı (<http://www.calbiomass.org/wp-content/uploads/2013/02/biomass-fuel-sources.jpg>)

### 10.5.3 Kojenerasyon ya da kombine ısı ve güç (CHP) üretimi

Kojenerasyon ya da CHP, ısı ve elektrik üretmek üzere tek bir yakıtın kullanılması işlemlerini ifade ederler. Böylece toplam verimlilik ciddi ölçüde artmış olur. Normal elektrik üretimi tesislerinde, buharda bulunan ısıнын %70'i atmosfere kaybedilir. Kojenerasyon modunda ise, bu ısı ısınma ihtiyaçlarının karşılanmasında da kullanılır (Abbasi ve ark., 2010). Kombine ısı ve güç işletmeleri biyokütlenin en verimli kullanılabilmesini mümkün kılmakta ve potansiyel olan enerjinin hemen hemen %80'inin değerlendirilmesini sağlamaktadır (Şekil 10.6) (EESI).



Şekil 10.6. Ayrışık sistemlerle kojenerasyon sisteminin kıyaslaması (Kaynak: www.mwm.net)



**Şekil 10.7.** Gaz motorlu kombine ısı ve güç (CHP) tesisi prensipleri (Kaynak: www.mwm.net)

Kojenerasyon projesinde kapasite birkaç kilowatt değerlerinden megawatt değerlerine kadar enerji, bununla birlikte 100 kW (kilowatt termal) den birkaç MW (megawatt termal) ısı üretimini kapsayabilir. CHP sistemi sadece güç üretimi yapabilen sisteme kıyasla genellikle yüksek karbon korunumu sergiler. Ancak, yüksek kurulum maliyetleri nedeni ile ekonomik olarak avantajını kaybeder (Şekil 10.7) (Abbasi ve ark., 2010).

## **10.5.4 Biyokütle gazlarının kullanılması**

Biyokütle gazları yüksek miktarda fosil yakıt ihtiyacı ile çalışmakta olan tesislerde fosil yakıtların yerini alabilir. Gazlaştırma teknolojileri biyokütlenin gaza dönüştürülebilmesi sağlayan teknolojiler olup, elde edilen gaz tek başına ya da kombine bir şekilde gaz türbininde yüksek verimliliklerde kullanılarak buhar türbininin çalıştırılmasını sağlar. Gazlaştırma teknolojileri ticari olarak uygulanabilir olmasına rağmen, araştırma ve geliştirme çalışmalarının arttırılmasına ve kullanımlarının yaygınlaştırılması için demonstrasyona gereksinim vardır (IRENA, 2012).

3 ana tip gazlaştırma teknoloji mevcuttur. Bunlar;

- Sabit yataklı gazlaştırıcılar;
- Akışkan (sirkülatörlü ya da baloncuklu) yataklı gazlaştırıcılar; ve
- Çekişli akışlı gazlaştırıcılardır.

## **10.6 Biyokimyasal işlemler**

### **10.6.1 Etanol fermantasyonu**

Gıda ürünlerinde bulunan şeker nişasta formunda olup fermantasyonda etanole dönüştürülmeden önce basit

şekerlere indirgenmelidir. Fermantasyon sulu ortamda gerçekleştiğinden elde edilen etanol seyreltik durumda olur. Etanolün yakıt olarak kullanılabilmesi için de içerisinde su olmamalıdır (Abbasi ve ark., 2010).

Fermantasyon ile etil alkol üretiminde en önemli husus dönüşüm işleminin “temiz” işlemlerden oluşmamasıdır. Bu nedenle bir kısım bilim adamı, etanolün ulaşımda petrol türevlerinin yerini alması durumunda etanol üretim işlem basamaklarının bütünüyle kirletici olması, yüksek enerji ihtiyacı gibi durumlardan ötürü daha fazla seragazi emisyonu yaratacağını iddia etmektedirler.

### **10.6.2 Lignoselülozik bitkilerden etanol üretimi**

Biyoyakıt üretiminde gıda ürünlerinin kullanımına karşı bir görüşün gelişmesi ve üretim işleminin yeşil ve temiz bir teknoloji olmaması; bu alanda lignoselülozik biyokütleyle yönelim oluşturmaktadır. Üretimde, nişastaca zengin mısır ya da darı tohumlarının biyokütle eldesinde kullanılıyor olmasına karşın, bitkilerin hemen hemen diğer tüm kısımları önemli miktarda lignoselüloz da içermektedir. Dolayısı ile, biyokütle enerjisine yönelik kullanılmakta olan tüm ekili alanlarda gıda olarak kullanılabilecek tahıllardansa çok daha fazla lignoselülozik biyokütle elde edilebileceği görülebilir (Abbasi ve ark., 2010).



### **10.6.3 Anaerobik Çürütme**

Hayvansal gübre ve atıksuların giderek daha fazla değerlendirildiği söylenebilir (Ramasamy ve ark., 2004). Fakat, proses fitokütlenin kullanılması durumunda operasyonel problemler ve düşük enerji çıktısı ciddi bir engeldir (Ganesh ve ark., 2009).

### **10.6.4 Biyodizele esterifikasyon**

Asıl zorluk, petrol verimini asgari çevresel maliyetlerle en üst düzeye çıkarmak için, dönüm başına yeterince büyük miktarda petrol zengini bitki yetiştirmektir (Abbasi ve ark., 2010).

### **10.6.5 Gelişen Teknolojiler**

Biyokütleden biyoyakıt üretmek için kullanılan yeni teknolojiler, artan etanol verimleri için mayaların değiştirilmesi/geliştirilmesini, etanol üretimi için yeni mikroorganizmaların tanımlanması (Seo ve ark., 2005), selülozik çürütmede ön işlemler (Moiser ve ark., 2005), şekerleri direkt elektriğe çevirebilen yakıt hücreleri (Chaudhury, Lovley, 2003) ve biyokütlenin gaza çevriminde daha etkin katalizlerin kullanılmasını da içerecek şekilde hızla ortaya çıkmaktadırlar (alper ve ark., 2006).

## 10.7 Biyokütle enerjisinin Çevresel Etkileri

### 10.7.1 Biyokütle üretimi

Biyokütle karbon açısından nötral olabilir fakat kesinlikle besin ögeleri açısından nötr değildir.

Biyokütle enerjisinin savunuculuğunun merkezi, karbon nötr olduğu argümanıdır; ve biyokütle enerjisi üretiminde karbon fotosentez yolu ile sadece koparılıp atmosfere bırakıyor. Bu argüman, son yıllarda biyokütle tarafından sabitlenmiş karbonun en azından bir bölümünün fosil yakıt kökenli olabileceğini düşünsek bile geçerlidir (Abbasi ve ark., 2010).

Fakat tabii biyokütle sadece karbon ile ilgili bir durumu değil ayrıca azot ve diğer esansiyel besin elementlerini de içerir. Biyokütlenin yoğun bir şekilde yetiştirilmesi için yapılan herhangi bir çaba, karbon yakalama dışında başka sonuçları da beraberinde getirir ( Miller ve ark., 2007).

Zirai aktiviteler hemen hemen %75 den fazla reaktif azotlu bileşenlerin atmosfere salımını ortaya çıkarır (Smil, 1999). 1750 den beri küresel atmosferik CO<sub>2</sub> konsantrasyonu 1/3 oranında yükselmiştir. Bu periyotta ayrıca atmosferik N<sub>2</sub>O konsantrasyonunda da %15 lik artış söz konusudur, fakat N<sub>2</sub>O nun herbir molekülü CO<sub>2</sub> molekülüne kıyasla 300 kat daha fazla küresel ısınmaya

neden olmaktadır (Fixen, West, 2002). Dahası, azot çevrimindeki antropojenik bozulmalar, reaksiyona girmeyen atmosferik azotun reaktif azot bileşiklerine akısı içinde yaklaşık % 1100 artışa neden olmuştur (Gitay, Suarez, 2002).

Çevrede serbestçe bulunan azot reaktif hale dönüşürken,  $NH_3 \rightarrow N_2O \rightarrow NO_x \rightarrow NO_3$  formlarından geçer ki bu yer altı ozon üretimine, asitlendirmeye, ötrofikasyona, hipoksiye, stratosferik ozon tüketimine ve iklim değişikliğine neden olmaktadır (Galloway ve ark., 2003). Bu etkilerin arasında, yeraltı sularının ötrifikasyonu ve yeraltı akiferlerinin kontaminasyonu da yer alır ve bu durum tarıma yönelik bilinen çevresel etkilerinin en yaygın etkilerindedir. Fosfor döngüleri de ötrafikasyona yol açan öncü nedenlerden biridir (Abbasi ve ark., 2010).

Topraktaki azot stoğunu temel alarak hazırlanmış olan biyokütle temelli enerji üretim programlarında öngörülen birim arazi başına biyokütle üretiminin yoğun ve tekrarlı yapılmasını sağlamak mümkün değildir. Çünkü bu program, azot fiksasyonunda rolü olmayan mısır gibi ekinlere besin öğelerinin yeterince sağlanması gerekliliğini içermez. Doğal azot seviyeleri, genellikle sentetik gübre olarak ek besinlerle zenginleştirilmelidir, ancak toprak organik maddesi, toprak biyotası, toprağın su tutma kapasitesi ve sayısız mikro besin maddesi gübrelemeyle değiştirilemez (Abbasi ve ark., 2010).

### **10.7.2 Arazi ve su kaynakları**

Enerji üretim programının uygulanabilmesi için önemli olan bir husus, çok miktarda su kaynağına ve araziye ihtiyaç duyulmasıdır. Kimi bölgelerde, yeraltı suyunun akiferlerin doğal akışına kıyasla 10 kat daha hızlı pompalanmaktadır. Bir diğer problem ise, yoğun yetiştirme gereksinimi kapsamında kullanımları kaçınılmaz olan pestisitler ve gübrelerle su kirliliğinin oluşmasıdır (Pimentel ve ark., 1992).

Enerji için artan biyokütle üretiminde kullanılan arazi, bitkiler, ormanlar ve şehirleşme için kullanılanlarla rekabet halindedir (Chari, Abbasi, 2005). Enerji üretimi programı için biyokütlenin ve suyun araziden uzaklaştırılması toprak ve su degradasyonuna, sellere, ve besin elementlerinin yok olmasına neden olmaktadır. Bu durum ayrıca yabani hayatı ve doğal biyotaya da etki eder (Abbasi ve ark., 2010).

### **10.7.3 Toprak erozyonu ve su kayıpları**

Biyokütle enerji üretimi projeleri bir nevi toprak erozyonu problemidir. Toprağın erozyonu, su kaybının hızlandırmasında önemli rol oynamaktadır; bu nedenle, yeraltı sularının yeniden şarj edilmesini geciktirmektedir; besin açısından zengin akıntı nehir, göl veya nehir alanlarının ötrofikasyonuna neden olarak kalitesine zarar verebilir (Abbasi, Chari, 2008).

#### **10.7.4 Besin elementlerinin azalması ve kaybı**

Biyokütle enerjisi için ekinlerin hasat edilmesi sürecinde ciddi anlamda besin öğeleri kaybı yaşanır.

#### **10.7.5 Doğal biyotanın, habitatın ve yabancı hayatın kaybı**

Doğal ekosistemlerin enerji-ekin- üretimlerine dönüştürülmesi yabancı hayat ve diğer biyota için habitatın ve gıda kaynaklarının değişmesi anlamına gelir (abbasi, Chari, 2008). Ormanlık arazilerin ve yaş alanların değiştirilmesi bu alanları tercih etmekte olan habitatın ve kimi memelilerin, kuşların ve diğer biyotanın alanlarının azalması demektir. Tek kültür, hızlı büyüyen ağaçların yetiştirilmesi kimi yabancı hayattaki türlerin habitatları için değerli alanları ve beslenme çeşitliliğini azaltmaktadır. Bu tek kültür üretimi ormanlardaki kültür zenginliğine kıyasla daha az dayanıklıdır ve bu nedenle pestisitler ve gübrelere üretkenliklerinin sürdürülmesine gereksinim vardır. Kazanım için yapılan bu ekimlerde doğal ormanlık alanlara kıyasla 2-3 kat daha yoğun ekim yapılmaktadır (Rowe ve ark., 2009).

#### **10.8 Kullanılabilir enerji dönüşümü**

Biyokütle üretimi, biyokütleyle dayalı enerji sistemleri gereksiniminde sadece bir boyuttur; biyokütlenin değerlendirilebilir enerjiye dönüştürülmesi de en az bu

boyut kadar önemli diğer bir husustur (Abbasi ve ark., 2010).

Biyokütle değerlendirmesi sadece GHG emisyonlarına değer ayrıca çeşitli toksik kirleticilere de neden olmasdır (Lewtas, 2007).

### **10.8.1 Termal işlemlerin çevresel etkileri**

Çevresel problemlerden temel olanları:

(a) hava kirliliği--> partiküllerin emisyonu, karbonoksitler, kükürt oksitler, azot oksitler;

(b) organik emisyon--> dioksin, hidrokarbonlar, toksik irritantlar ve karsinojenik bileşenler;

(c ) katı atıkların ortaya çıkması --> kimi zaman toksik bileşenler içermesinden dolayı kirletici problemlerle ilişkilendirilen kül, uçucu kül;

(d) su kirliliği --> biyolojik oksijen gereksinimi, kimyasal oksijen gereksinimi, askıda katı madde, iz metaller;

(e ) arazi ve su kaynaklarında baskı

(f) yerleşim zararları-->kaza ile yangınlar;

(g) mesleki tehlikeler--> toksik ve koroziv kimyasallara uzun süreli maruz kalma

### **10.8.2 Odun yakımı**

Genel olarak bakılacak olursa odun, odunsu pelletlerin ve kömürün ısınma ve pişirme ihtiyaçlarında fosil yakıtların yerini alması düşük CO<sub>2</sub> emisyonuna neden olabilir. Ama aynı zamanda, odun tütsüsü karbonmonoksit ve parçacıklar gibi kirletici unsurlar içerir. Odun yakılması ile çalışan modern ocaklar, pelet ocakları, yanma bölgeleri oluşturma odunların yanmasında partikül miktarını azaltabilir. Odun ve kömür fakir ülkelerde pişirme ve ısınma için kullanılmakta, bunun için insanların orman ağaçlarının büyümesinden daha süratle odun kesmesi çoraklaşmaya neden olmaktadır (EIA).

### **10.8.3 Güç ve enerji için biyokütlenin kullanılması**

Son yıllarda elektrik ve ısı üretimi için odunların kullanılması hızlanmıştır, fakat bu durumun iklim ve ormanlar üzerine etkileri üzerine tartışmalar da ortadadır. Bu durum tıpkı birkaç yıl önce ulaştırmada biyoyakıtların kullanımı çerçevesindeki tartışmalar gibidir ve bu konu da çok tartışmalı ancak çok az sayıda fikir birliğine ulaşılabilen bir konu haline gelmiştir (Chatam House).

Durumu destekleyici güncel politik durumların çoğunda, güç ve ısı eldesinde kullanımının hemen ve tamamen

karbon-nötr olduğu yanlış varsayımına dayanır. Bu kabulün altında kimi yöresel politikalarda iklim değışikliğine karşı sınırlayıcı etkileri ve biyokütle kullanımının yaygınlaşması durumları etkili olmuştur. Gerçekte, biyokütle birçok fosil yakıta kıyasla birim enerji başına karbon salımının daha fazla olması durumudur. Kısa ve orta vadede sadece atıkların ve kalıntıların yakılması durumu karbon nötr olarak değerlendirilebilir (Chatam House).

Biyo kütleinin karbon-nötr olarak algılanmasının bir nedeni, uluslararası sera gaz hesaplama kurallarında, ilgili emisyonların enerji sektöründen çok arazi kullanımına kaydedildiğı gerçeğidir. Aslında, arazi kullanım emisyonlarının farklı şekilleri hesaba katıldığında, biyokütle kaynaklı emisyonların bu hesaplamalarda bir kısmının asla hesaba katılamayacağı gerçeğidir (Chatam House).

#### **10.8.4 Belediyelerin katı atıkları ve odunsu atıkları yakmaları**

Atıklardan enerjiye tesislerde enerji üretmek için belediyenin katı atık yakılması, daha az atığın düzenli depolama alanlarına gömülmesi anlamına gelir. Diğer bir açıdansa çöplerin yakılması hava kirliliğine ve atıklardaki kimyasal ve bileşenlerin havaya karışmasına neden olur. Bu kimyasallar eğer düzenli bir şekilde



kontrol edilmezlerse, bunların bir kısmı insanlar ve çevre için tehlikeli olurlar (EIA).

Karıştırıcılar, atıklardan enerjiye kadar olan tesislerdeki emisyonları, emisyon akışında bulunan asitleri nötralize etmek için yanma gazlarına bir sıvı püskürterek temizler. Bacagazlarındaki partiküller ise filtrelerle ya da elektrostatik çöktürücülerle uzaklaştırılabilir. Atıklardan enerji fırınları yüksek sıcaklıklarda (1000-1100 C) çalıştığından atıklardaki olası kimyasallar daha basit ve daha zararsız yapılara dönüşürler (EIA).

#### **10.8.5 Enerji tesislerinde atıktan külün uzaklaştırılması**

Kül, orijinal atıkta bulunabilecek çeşitli metalleri yüksek konsantrasyonda içerebilir. Yöresel atıklarda pil kurşun ve kadmiyum için en ciddi ve potansiyel kaynaktır. Tekstil boyaları, baskı mürekkepleri, ve seramiklerde kurşun ve kadmiyum içerebilir. Floresan ışık lambaları az miktarda olsa da civa içerir. Bu problem atıkların yanmadan önce ayrıştırılması ile giderilebilir (EIA).

#### **10.8.6 Düzenli depolama gazı veya biyogaz**

Biyogaz kanalizasyon arıtma tesislerinde, atıkların düzenli depolama alanlarında ve çiftlik hayvanları gübre yönetimi sistemlerinde biyolojik işlemler sonucu oluşur. Biyogaz temel olarak metan ve CO<sub>2</sub> den oluşur. Kimi

tesisler metanı yakarak ısı ve elektrik üretirler ve fosil yakıtlarla elde edilen elektrik yerini alabilirler ki bu durum CO<sub>2</sub> emisyonunda net bir düşüş demektir. Fakat metanın yakılması ile yine CO<sub>2</sub> üretilir fakat metanın CO<sub>2</sub> ye kıyasla daha potansiyel seragazı etkisi olmasından sonuçta seragazı etkisi düşürülmüş olur.

### **10.8.7 Fermantasyon işleminin etkisi; sıvı biyoyakıtlar: etanol ve biyodizel**

Biyoyakıtlar bitkilerin biyoyakıt üretiminde (mısır, şeker kamışının etanol üretiminde; soya fasulyesinin ve palm yağı ağaçlarının biyodizel üretiminde gibi) kullanılmasından ötürü, CO<sub>2</sub> nin bitkilerin yetişmesi sürecinde kullanılıyor olmasından ve biyoyakıtların kullanılması sırasında ortaya çıkan CO<sub>2</sub> nin böylece yok ediliyor olmasından dolayı karbon nötrdürler (EIA).

Yine de, bitkilerin biyoyakıt eldesi için yetiştiriliyor olması, arazi ihtiyacı, gübreleme, enerji gereksinimi, biyoyakıt üretimi için gıda ekinleri yerine viyoyakıt verimi yüksek ekinlerin ekiliyor olması nedenleriyle tartışmalı bir durumdur. Dünyanın bir kısmında doğal vegetasyon ve ormanların tahrip edilerek etanol üretiminde şeker kamışının, biyodizel üretiminde soya fasülyesi ve palm ağaçlarının ekilmesi durumu söz konusudur (EIA).

Bu tür aktiviteler, etanolün gazolin yerine ulaşımda kullanılarak elde edilen kazanımların aksine kısa ve uzun vadede daha fazla küresel ısınmaya neden olduğu görülecektir (Searchinger ve ark., 2008).

Biyokütle için gıda ekinleri ile kıyasa girmeyecek, daha az gübre ve pestisit ihtiyacı olan alternatifler mevcuttur. Etanol atık kağıtlardan elde edilebilir, atık çimlerden, yağlardan ve hatta alglerden biyodizel üretilebilir (EIA). Özellikle zirai amaçlı marjinal arazi kullanan switchgrass, söğütler ve kavak gibi lignoselüloz esaslı enerji bitkilerinden biyoyakıt üretimi için artan bir yargı oluşmuştur (Schmer ve ark., 2008).

Etanol ve benzin-etanol karışımı daha temiz ve benzine kıyasla daha yüksek oktanlı olması nedenleri ile kullanılabilir ancak yakıt depo tanklarında ve dağıtım sisteminde daha fazla buharlaşmaya uğramaları nedeni ile emisyon yaratırlar. Bu buharlaşma emisyonları ise zararlı zeminde ozon ve dumana neden olurlar. Benzinin etanol ile karıştırılması durumunda daha az emisyonla neden olacak şekilde işlenmesine ihtiyaç vardır. Biyodizel yanmasında az miktarda kükürtdioksit, partiküller, karbon monoksit ve yanmamış yakıt ve diğer hidrokarbonlar ortaya çıkar, ancak petrol dizeline kıyasla çok daha fazla azot oksit üretilir (EIA).

Tüm bunlara rağmen, yaşam döngüsü değerlendirme çalışmaları, toplam enerji dengesi konseptinde GHG

emisyonları, çevresel etkiler ve humanizm olarak değerlendirildiğinde biyoyakıtların daha etkisiz olmasından dolayı önemsiz hale gelmesine ve de fosil yakıtlarla kıyaslandığında biyoyakıtların net enerji dengesinde (NEB) olumlu olduklarını gösteriyor (Schmer ve ark., 2008).

## **Referanslar**

Abbasi, Tasneem, Abbasi, SA: Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization; Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 14, Issue 3, April 2010, Pages 919-937.

Abbasi SA, Chari KB. Environmental management of urban lakes. New Delhi: Discovery Publishing House; 2008.

Alper H, Moxley J, Nevoigt E, Fink GR, Stephanopoulos G. Engineering yeast transcription machinery for improved ethanol tolerance and production. Science 2006;314:1565–8.

Chari KB, Abbasi SA. A Study on the aquatic and amphibious weeds of Oussudu Lake. Hydrology Journal 2005;28(September–December):89–98F.

Chatham House (International Affairs Think Tank) (<https://www.chathamhouse.org/about/structure/eer->

[departmentEvren ALTIOK /environmental-impact-use-biomass-power-and-heat-project](#)

Chaudhuri SK, Lovley DR. Electricity generation by direct oxidation of glucose in mediatorless microbial fuel cells. *Natural Biotechnology* 2003;21:1229–32.

EESI: (<http://www.eesi.org/topics/bioenergy-biofuels-biomass/description>)

EIA (U.S. Energy Information Administration)  
[www.eia.gov](http://www.eia.gov)

Eurobserv'er: Biofuels barometer 2017

Eurobserv'er: Solid biomass barometer 2016

Fixen PE. West FB nitrogen fertilizers, meeting contemporary challenges. *AMBIO* 2002;31:169–76.

Galloway JN, Aber JD, Erisman JW, Seitzinger SP, Howarth RW. The nitrogen cascade. *BioScience* 2003;53L:41–356.

Ganesh PS, Gajalakshmi S, Abbasi SA. Vermicomposting of the leaf litter of acacia (*Acacia auriculiformis*): Possible roles of reactor geometry, polyphenols, and lignin. *Bioresource Technology* 2009;100:1819–27.

Gitay HA, Suarez T. In: Watson, Dokken DJ, editor. *Climate Change and Biodiversity*. IPCC Technical Paper V. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change; 2002.

Goldemberg J, Johansson TB. World energy assessment overview: update. New York: United Nations Development Programme; 2004.

IRENA: Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series – Biomass for Power Generation, 2012

Lewtas J. Air pollution combustion emissions: characterization of causative agents and mechanisms associated with cancer, reproductive, and cardiovascular effects. *Mutation Research—Reviews in Mutation Research* 2007;636:95–133.

McLaughlin SB, Kszos LA. Development of switchgrass (*Panicum virgatum*) as a bioenergy feedstock in the United States. *Biomass and Bioenergy* 2005; 28:515–35.

Miller SA, Landis AE, Thesis TL. Environmental trade-offs of biobased production. *Environmental Science & Technology* 2007;(August):5176–82.

Mosier N, Wyman C, Dale B, Elander R, Lee YY, Holtzapple M, Ladisch M. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology* 2005;96:673–86.

Pimentel D. Competition for land: development, food, and fuel. In: Kaliasha MA, Zcker A, Ballew KJ, editors. *Technologies for a Greenhouse-constrained Society*, Lewis, Boca Raton, FL; 1992. p. 325–48.

Raghu S, Anderson RC, Daehler CC, Davis AS, Wiedenmann RN, Simberloff D, et al. Adding biofuels to the invasive species fire? *Science* 2006;313:1742.

Ramasamy EV, Gajalakshmi S, Sanjeevi R, Jithesh MN, Abbasi SA. Feasibility studies on the treatment of dairy wastewaters with upflow anaerobic sludge blanket reactors. *Bioresource Technology* 2004;93:209–12.

Rowe L, Street R, Taylor NR. Identifying potential environmental impacts of large-scale development of dedicated bioenergy crops in the UK. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2009;13:271–90.

Salge JR, Dreyer BJ, Dauenhauer PJ, Schmidt LD. Renewable hydrogen from nonvolatile fuels by reactive flash volatilization. *Science* 2006;314:801–5.

Scheer, Hermann: *Handbook of Renewable Energies in the European Union I-II*; Frankfurt am Main, Germany, 2002

Schmer MR, Vogel KP, Mitchell RB, Perrin RK. Net energy of cellulosic ethanol from switchgrass. USA: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2008.

Searchinger T, Heimlich R, Houghton RA, Dong F, Elobeid A, Fabiosa J, et al. Use of croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change 10.1126/Science.1151861. *Science* 2008;319:1238–40.

Seo JS, Chong H, Park HS, Yoon KO, Jung C, Kim JJ. The genome sequence of the ethanogenic bacterium *Zymomonas mobilis* ZM4. *Nature Biotechnology* 2005;23:63–8.

Smil V. Nitrogen in crop production: an account of global flows. *Global Biogeochemical Cycles* 1999;13:647–62.

US National Energy Education Project

World Bioenergy Association: Global Bioenergy Statistics 2014

World Energy Council: World Energy Resources – Bioenergy 2016.



**BÖLÜM 10**  
**BIYOKÜTLE ENERJİ SİSTEMLERİ**  
Sorular ve Cevaplar

**1. Aşağıdakilerden hangisi biyokütle enerji üretiminin ana kaynağı değildir?**

- a) Ağaç ve ağaç işleme atıkları
- b) Tarımsal ürünler ve atık maddeler
- c) Humus, yaprakları ve hayvan kürk
- d) Hayvan gübresi ve insan atığı

**Cevap: c**

**2. Biyokütleden ne tür enerji kaynakları üretilebilir?**

- a) sadece ısı
- b) sadece ısı ve elektrik
- c) sadece ısı ve yakıt
- d) Isı, elektrik ve yakıt

**Cevap: d**

**3. Biyokütle enerji üretimi ile ilgili riskler nelerdir?**

- a) CO<sub>2</sub> emisyonunda artış
- b) Hava kirliliği - parçacık emisyonları
- c) Kara ve su kaynakları üzerinde baskı
- d) Besin alımı ve kayıpları

**Cevap: b, c, d**

**4. Aşağıdaki süreçlerden hangisi biyokütleden enerji üretmenin en etkili yoludur?**

- a) Odun yakma
- b) Biyo-etanol üretimi
- c) Biyokütle yakıtlı elektrik santralinde elektrik üretimi
- d) Bir CHP-bitkisinde ısı ve elektrik üretimi

**Cevap: d**

**5. Biyokütle kaynaklı enerji santrallerinin kapasite ölçeği nedir?**

- a) birkaç kW ila 100 kW
- b) 100-1000 kW
- c) birkaç MW ila 100 MW
- d) 100-1000 MW

**Cevap: c**