

# İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR .....	ii
GİRİŞ .....	1
ÖĞRENME FAALİYETİ-1 .....	3
1. HİDROJEN ENERJİ .....	3
1.1. Ülkemizdeki Hidrojen Enerji Kaynakları .....	3
1.2. Hidrojen Enerjinin Avantajları ve Dezavantajları.....	5
1.3. Hidrojen Enerjinin Ülkemizde Kullanımı .....	6
UYGULAMA FAALİYETİ .....	7
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....	9
ÖĞRENME FAALİYETİ-2 .....	12
2. BİYOKÜTLE ENERJİ.....	12
2.1. Biyokütle Enerji Kaynakları .....	13
2.2. Biyokütle Enerjinin Ülkemizde Kullanımı .....	16
UYGULAMA FAALİYETİ .....	18
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....	20
ÖĞRENME FAALİYETİ-3 .....	21
3. HİDROELEKTRİK ENERJİ .....	21
3.1. Hidroelektrik Enerji Kaynakları.....	22
3.2. Hidroelektrik Enerjinin Ülkemizde Kullanılma Şekilleri .....	24
3.3. Hidroelektrik Enerji Kullanımının Avantaj ve Dezavantajları .....	27
UYGULAMA FAALİYETİ .....	30
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....	31
MODÜL DEĞERLENDİRME .....	33
CEVAP ANAHTARI.....	34
ÖNERİLEN KAYNAKLAR.....	36
KAYNAKÇA .....	37

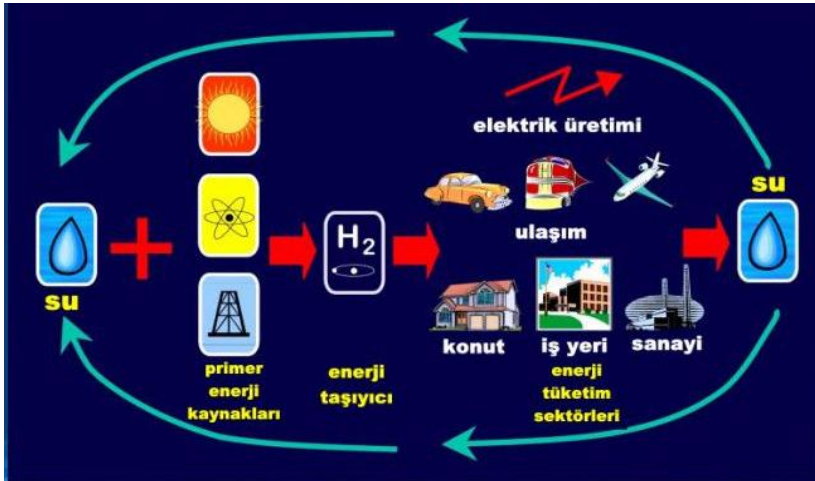


maddelerden üretilmekte ve üretiminde dönüştürme işlemleri kullanılmaktadır. Bu nedenle elektrikten neredeyse bir asır sonra teknolojinin geliştirdiği ve geleceğin alternatif kaynağı olarak yorumlanan bir enerji taşıyıcısıdır. Hidrojen enerjisi verimli, sınırsız ve yeryüzünde bolca bulunmaktadır. Otomotiv sektöründen hava taşımacılığına kadar tüm sanayi kollarında enerji olarak kullanılabilme özelliğine sahiptir. Yakılmasıyla doğrudan (direkt) kullanılabilirdiği gibi yakıt pili kullanan araçlarda enerji kaynağı olarak da kullanılabilir. Alternatif yakıtlar içinde en verimlisi ve kullanışlısı hidrojen dir.

Türkiye'de hidrojen yakıtı üretiminde kullanılacak olası kaynaklar; hidrolik enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, deniz-dalga enerjisi, jeotermal enerji ve nükleer enerjidir. Türkiye gibi gelişme sürecinde ve teknolojik geçiş aşamasındaki ülkeler açısından uzun dönemde fotovoltaik güneş-hidrojen sistemi uygun görülmektedir. Fotovoltaik panellerden elde oluncak elektrik enerjisi ile suyun elektrolizinden hidrojen üreten bu yöntemde 1 m sudan 108,7 kg hidrojen elde olunabilir ki bu 422 litre benzine eşdeğerdir.

Türkiye'nin uzun bir kıyı şeridi olan Karadeniz'in tabanında kimyasal biçimde depolanmış hidrojen, 350 yıllık enerji gereksinimini karşılayacak kapasitededir. Karadeniz'in suyunun % 90'ı anaerobiktir ve hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S) içermektedir. Elektroliz reaktörü ve oksidasyon reaktörü gibi iki reaktör kullanılarak H<sub>2</sub>S'den hidrojen üretimi konusunda yapılmış teknolojik çalışmalar vardır. Bu konuda yapılmış bir diğer teknoloji geliştirme çalışması, semi kondüktör partikülleri kullanılarak foto katalitik yöntemle hidrojen üretimidir. Güneş ve rüzgâr enerjisinden yararlanılarak Karadeniz'in H<sub>2</sub>S içeren suyundan hidrojen üretimi için çalışmalar yapılmaktadır.

Hidrojen enerjisi, önümüzdeki yüzyılın en önemli enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir. Bu enerji, sudan elde edilebilmekte ve yüksek verimlilikle çevre üzerinde hiçbir olumsuz etki yaratmadan yararlı bir enerjiye dönüştürülebilmektedir. Birincil enerji kaynaklarının kullanılarak hidrojen üretildiği bu sisteme "hidrojen enerji sistemi" adı verilmektedir. Bu yeni enerji sisteminde hidrojen sudan elde edildiğinden yan ürün olarak sadece su veya su buharı ortaya çıkmaktadır.



Resim 1.1: Hidrojen enerji sistemi

## 1.2. Hidrojen Enerjinin Avantajları ve Dezavantajları

Hidrojen diğer gazlara oranla pahalı olmakla beraber uzun vadede teknolojinin de gelişmesi ile dünyanın belli ülkelerine enerji bakımından bağımlı olarak varlığını sürdüren devletlerin birçoğu kendi enerjisini kendi üretir hâle geldiğinde dünya genelinde gözle görülür bir siyasi ve ekonomik rahatlamayı da beraberinde getirecektir.

### ➤ Hidrojen enerjinin avantajları

- Alternatif enerji kaynakları kullanılarak karbon temelli bir enerji yapısından hidrojen temelli bir yapıya dönüştürülerek çevre kirliliğinin önlenmesi
- Hidrojen kullanımının temiz bir yakıt olması
- Hidrojenin yanması veya yakıt hücresinde tüketilmesi sonucu son ürün olarak sadece suyun oluşması
- Hidrojenin kolayca ve güvenli olarak her yere taşınabilen, taşınması sırasında az enerji kaybı olan; sanayide, evlerde ve taşıtlarda kullanılabilen bir yakıt olması
- Hidrojenin diğer gazlara oranla pahalı olmakla beraber uzun vadede teknolojinin de gelişmesi ile birlikte ekonomik olması
- Hidrojen gazının yoğunluğu az olduğundan sızıntı anında yükselip atmosfere karışarak ortamı terk edeceğinden yangın veya patlama riski oluşturmaması
- Hidrojenin fosil yakıtlarından % 39 daha verimli olması
- Hidrojenin gaz şeklinde (büyük ölçekli depolamada), sıvı şeklinde (hava ve uzay ulaşımında) veya metal hidrat şeklinde (araçlar ve diğer küçük ölçekli depolamada) depolanabilmesi



Resim 1.2: Hidrojen enerjinin kullanımı temiz bir yakıt olması ve çevre kirliliği yaratmaması

### ➤ **Hidrojen enerjinin dezavantajları**

- Hidrojenin fiziksel özelliklerinden dolayı güvenlik karakteri diğer yakıtlardan oldukça farklıdır. Hidrojen düşük yoğunluklu olduğundan bir kaçak anında yer seviyesinde birikinti hâlinde kalmayarak atmosferde yükselir ve dağılır. Bunun farkına varılması güç olduğundan ekonomik kayba neden olması
- Hidrojenin diğer yakıtlara göre pahalı olması
- Hidrojen temiz ve kokusuz olduğu için sızıntısının gazolin veya diğer yakıtlara göre daha az fark edilmesi ve yanan hidrojenin alevinin görülmemesi

## **1.3. Hidrojen Enerjinin Ülkemizde Kullanımı**

Ülkemizde hidrojen enerjisi henüz kullanılmamakla birlikte “7. Beş Yıllık Kalkınma Planı Genel Enerji Özel İhtisas Komisyonu Yeni ve Yenilenebilir İhtisas Komisyonu Raporu”nda hidrojen enerjisine değinilmesine rağmen resmîleşen raporda hidrojen enerjisinin adı geçmemiştir. Yakıt hücreleri ile ilgili olarak TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi ve ODTÜ’de hidrojen gazından elektrik üretebilecek alkali yakıt hücresi tasarlanmış, kuruluş ve gücünü etkileyen etmenler araştırılmıştır.

Teknolojik verilere ve Türkiye’nin enerji-ekonomi verilerine göre 1995–2095 yılları arasında güneş-hidrojen sistemi ile yapılabilecek yakıt üretimi ve bunun fosil yakıtlarla rekabet olanağı, Ankara Üniversitesi enerji çalışma grubu elemanlarınca değerlendirilmiştir. Bu ulusal modelde hidrojen üretiminin artışı için hızlı ve yavaş olmak üzere iki ayrı seçenek alınmıştır. Her iki seçenekte 2010–2015 döneminde hidrojen enerji maliyetinin fosil enerji maliyetinin altına düşebileceği, hidrojen üretiminde sıçramanın 2015 yılından sonra sağlanabileceği bulgulanmıştır.

## 2.1. Biyokütle Enerji Kaynakları

Biyokütle yenilenebilir, her yerde yetiştirilebilen, sosyoekonomik gelişme sağlayan, çevre dostu, elektrik üretilen, taşıtlar için yakıt elde edilebilen stratejik bir enerji kaynağıdır. Biyokütle doğrudan yakılarak veya çeşitli süreçlerle yakıt kalitesi artırılıp mevcut yakıtlara eşdeğer özelliklerde alternatif biyoyakıtlar (kolay taşınabilir, depolanabilir ve kullanılabilir yakıtlar) elde edilerek enerji teknolojisinde değerlendirilmektedir. Biyokütle enerji teknolojisi kapsamında; odun (enerji ormanları, ağaç artıkları), yağlı tohum bitkileri (ayçiçeği, kolza, soya vb.), karbon-hidrat bitkileri (patates, buğday, mısır, pancar vb.), elyaf bitkileri (keten, kenaf, kenevir, sorgum vb.), bitkisel artıklar (dal, sap, saman, kök, kabuk vb.), hayvansal atıklar ile şehirselle ve endüstriyel atıklar yer almaktadır.



Resim 2.2: Yağlı tohum bitkilerinden ayçiçeği biyokütle enerji kaynaklarından

- **Biyokütle enerji çeşitleri**
  - Bitkisel kaynaklar

Bitkisel kaynaklar olarak orman ürünleri; 5–10 yıl arasında büyüyen ağaç türlerini içeren enerji ormanları, bazı su otları, alglar ve enerji (C4) bitkileri sayılabilir. Enerji bitkileri olan tatlı sorgum, şeker kamışı, mısır gibi bitkiler diğer bitkilere göre karbondioksit ve suyu daha iyi kullanmakta, kuraklığa karşı daha dayanıklı olmakta ve fotosentetik verimleri daha yüksek bulunmaktadır. Bu bitkilerden alkol ve değişik yakıtlar üretilmektedir. Türkiye’de bitki artıkları, fındık ve ceviz kabuğu, prina, ayçiçeği kabuğu, çığit ve mısır gibi artıklar enerji amacıyla değerlendirilmektedir. Kuru biyokütlenin ısı değeri 3800–4300 kcal/kg arasında değişmektedir. Biyokütleden yakma yolu ile enerji elde edilmesinde yanma verimi orta kaliteli bir kömüre eşittir. Biyokütlenin çoğu kömürden daha az miktarda kül ve kükürt içermektedir. Biyokütlenin enerji üretimi amacıyla geniş oranda kullanımını engelleyen bazı problemler vardır. Bunlar; biyokütle kaynağının yoğunluğu nedeni ile nakliye ve depolama maliyeti ve bu mahsullerin hektar başına verimliliğinin düşük olmasıdır. Türkiye’de odun ve bitki artıkları yıllardır ısınma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Odunun (odun ve benzeri selüloz ihtiva eden maddeler) biyokütle kaynağı olarak değerlendirilmesinde izlenen yollardan birisi oksijensiz ortamda ve yüksek sıcaklıklarda (350–800°C) piroliz yapmaktır. Piroliz sırasında odun kömürü ile birlikte asetik ve formik asit, metanol, aseton ve formaldehit gibi ürünler de elde edilmektedir. Hızlı ve verimli bir piroliz için odunun tamamen kurutulması ve 150–200°C’ye kadar ön ısıtmaya tabi tutulması gerekmektedir. Katı yüzdesi fazla olan atıklardan piroliz ile gaz yakıt ve aktif karbon üretimi

yapılmaktadır. Bitkisel kaynaklı biyokütleden elde edilen etil alkol ve metil alkol alternatif yakıt çeşitleri olarak özellikle gelişmekte olan ülkelerde petrol ürünleri yerine kullanılmaya başlanmıştır. Metil alkolün üretimi ve kullanılmasında bazı sorunlar olduğu için etil alkol tercih edilmektedir. Etil alkol; alkollü içkilerde, kimya sanayinde, fuel-oil yanında kazan yakıtı veya benzin yakıtı olarak kullanılmaktadır.

Biyokütle kökenli sentetik akaryakıt kapsamında yer alan alkol karışumlu benzin ve bitkisel yağ karışumlu motorin dışında bazı enerji bitkilerinden elde edilen yağlar dizel yakıtı yerine kullanılabilir.



**Resim 2.3: Odunun biyokütle kaynağı olarak değerlendirilmesinde izlenen yollardan birisi oksijensiz ortamda ve yüksek sıcaklıklarda piroliz yapılması**

- Hayvansal atıklar

Hayvansal gübrenin samanla karıştırılıp kurutulması suretiyle elde edilen tezeğin köylerde yakıt olarak kullanımı oldukça yaygındır. Hayvansal gübrenin oksijensiz ortamda fermantasyonu ile üretilen biyogazın dünyada kullanımı da oldukça yaygındır. Herhangi bir atıktan metan meydana gelişi bakteriler tarafından iki kademe gerçekleştirilir. Önce kompleks organikler, asit bakterileri tarafından uçucu yağlı asitlere dönüştürülür. Sonra üreyen asitler metan bakterileri tarafından metan hâline getirilir. Elde edilen gaz % 55–70 metan, % 30–45 karbondioksit, az miktarda hidrojen sülfür ve su bileşimine sahiptir. Biyogazın ısı değeri, karışımdaki metan yüzdesine bağlı olarak 1900 ile 27500 kJ/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Biyogaz üretiminde genel olarak kesikli besleme metodunda fermantasyon tankına taze çiftlik gübresi verilir ve tank hava almayacak şekilde kapatılır.

Gübrenin havasız ortamda fermantasyonu sonunda meydana gelen biyogaz, bir boru ile gazometre denilen ikinci bir kapta toplanır. Kesikli besleme yönteminde tanka ilk gübre beslemenin yapılmasından yaklaşık 15 gün sonra biyogaz üretimi başlamakta ve gazın sürekliliği 60 gün sürmekte, bu sürenin sonunda gaz verimi düşmektedir. Bu durumda fermantasyon tankı boşaltılarak tekrar taze çiftlik gübresi doldurulmaktadır. Biyogaz

üretiminden sonra elde edilen fermente gübrenin fermente olmamış gübreye oranla % 20–25 daha verimli olduğu belirtilmektedir.



**Resim 2.4: Bitki, hayvan atıklarını ve ormandaki çürümüş atıkları enerjiye dönüştüren sistem**

- Şehir ve endüstri atıkları

Çöp depolama yerlerinde ve evsel atık su arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurları eğer önceden sabitleştirilmiş ve biyokimyasal aktiviteleri durdurulmamışsa aerobik organizmalar tarafından ayrıştırılarak metan gazına dönüşmektedir. Metan gazı aynı zamanda sera etkisinin oluşmasında en az karbondioksit ve su buharı kadar etkili olduğundan oluşumu kontrol altına alınarak değerlendirme yoluna gidilmelidir. Bu amaçla çöp toplama alanında oluşan gazları toplayacak şekilde sondaj boruları belirli bir düzene göre yerleştirilerek oluşan gazlar toplanmaktadır. Çıkan gazlar arıtılarak gaz jeneratörüne gönderilmekte ve gaz jeneratöründe elektrik elde edilmektedir.



**Resim 2.5: Çöpte oluşan metan gazının çevreye zarar vermesini önlemek için elektrik enerjisi üretimi yapılabilmesi**



Diğer uygulama alanları ise doğal gaz sisteminde ve araçlarda yakıt olarak ve kimya sanayinde saf metan hâline getirilerek kullanma olarak sıralanabilir. Elde edilen biyogazın doğal gaz dağıtım sisteminde kullanılması, gaz temizleme işleminin pahalı olması nedeniyle fazla uygulanmamaktadır. Toplanan çöpün bileşimine bağlı olarak oluşan gaz içindeki bileşenler; metan % 35- 60, karbondioksit % 35–55, nitrojen % 0–20 arasında değişmektedir. Depolama alanından oluşan 1 metreküp gazın ısı değeri ise yine çöpün bileşenlerine bağlı olarak 18- 27 MJ/Nm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Çöp ve katı maddelerden enerji elde etmenin diğer bir yolu ise piroliz ve yüksek sıcaklıklarda yakılmasıdır. Çöp ve katı atıkların uygun yakma tesislerinde havayla yakılması ile elde edilen enerji ısı enerjisinde veya elektrik üretiminde değerlendirilmektedir.

## 2.2. Biyokütle Enerjinin Ülkemizde Kullanımı

Biyokütle, her şeyden önce “doğal” niteliğinin bir sonucu olarak kendini sürekli yenileyebilen, “temiz” enerji kaynağıdır. Biyokütle ve biyokütleden elde edilen yakıtların yenilenebilir olması enerji kullanımında fosil yakıtların yerine rahatlıkla geçebilmesine olanak tanımaktadır.

Dünyanın çoğalan nüfusu ve sanayileşmesi ile giderek artan enerji gereksinimi çevreyi kirlilemeden ve sürdürülebilir olarak sağlayabilecek kaynaklardan belki de en önemlisi biyokütle enerjisidir. Biyokütle enerji kaynaklarının içinde fosil yakıtlarda bulunan kanserojen madde ve kükürt olmaması, çevre kirliliği oluşturmaması, sera etkisi oluşturmaması, asit yağmurlarına yol açmaması nedeniyle çevreye verdiği zararlar oldukça azdır. Bütün bunların ötesinde bitki yetiştirilmesi, güneş var oldukça süreceği için biyokütle tükenmez bir enerji kaynağıdır.

Türkiye’de klasik biyokütle enerji kaynakları enerji üretiminde önemli bir orana sahiptir. Ülkemizde 1995 verilerine göre odun % 30, tezek % 10 oranında enerji üretimi içinde yer almaktadır Türkiye’de uzun yıllardan beri kırsal bölgelerde biyokütle kaynakları olan odun, bitki artıkları, tezek konutlarda ısıtma ve yemek pişirme amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu kaynaklar, toplam olarak hâlen ülkenin birincil enerji tüketiminin yüzde 10’unu ve konutlardaki enerji tüketiminin yüzde 40’ını oluşturmaktadır.

Türkiye, hızlı nüfus artışı ile karşı karşıya kalmıştır. Bu artış sonucu gerek konutlarda gerekse de sanayide enerji taleplerinin hızlı artışı görülmüştür. Enerji ihtiyacını genel olarak fosil yakıtlardan karşılamakta olan ülkemiz için çevreye zararlı olan ve ülkemizi dışa bağımlı hâle getiren bu yakıtların kullanımını azaltmaya yardımcı olarak ülkemizde bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması hem ekonomik hem de çevresel açıdan oldukça önemlidir. Biyokütle; sürdürülebilirlik, kolaylıkla bulunabilirlik ve çevre üzerinde istenmeyen etkiye sebep olmama gibi bazı önemli avantajlara sahip olan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Biyokütle enerjisi, bu özellikler nedeni ile Türkiye için önem kazanmıştır.

Türkiye biyokütle materyal üretimi açısından güneşlenme ve alan kullanılabilirliği, su kaynakları, iklim koşulları gibi özellikleri uygun olan ülkedir. Modern biyokütle teknikleri

kapsamında enerji ormancılığı ve enerji bitkileri tarımından yararlanılması gerekmektedir. Biyokütle enerji kapsamında çöp termik santralleri de yaygınlaştırılmalıdır.

Türkiye’de enerji ormancılığı yönünden ekonomik değeri yüksek ve hızlı büyüyen yerli ağaç türleri arasında akkavak, titrek kavak, kızılğaç, kızılçam, meşe, dişbudak, fıstık çamı, karaçam, sedir ve servi ağaçlarını; yabancı kökenli ağaçlar arasında ise “okaliptüs, papulus euramericana, pinus pinaster, acacia cynophilla” gibi türleri saymak olanaklıdır. Kavak, söğüt gibi oldukça fazla su isteyen ağaçların yanı sıra oldukça kurak alanlarda yetişebilecek ağaçlara da önem verilmesi gerekmektedir. Türkiye’de enerji ormancılığı için uygun alanın % 15’i değerlendirilmekte, geri kalan % 85 alan uygulama beklemektedir.

Modern biyokütle için enerji bitkileri tarımı, enerji planlaması ve tarımsal üretim planlaması birlikte ele alınmalıdır. Yapılan araştırmalara göre Türkiye’de kültürel yetiştiriciliğe ve gıda üretimi dışında fotosentezle kazanılabilecek enerjiye bağlı olarak biyokütle enerji brüt potansiyeli teorik olarak 135–150 Mtep/yıl kadar hesaplanmakla birlikte kayıplar düšüldükten sonra net değerin 90 Mtep/yıl olacağı varsayılmaktadır. Ancak ülkenin tüm yetiştiricilik alanlarının yıl boyu yalnızca biyokütle yakıt üretim amacıyla kullanılması olanaklı değildir. Olabilecek en üst düzeydeki yetiştiriciliğe göre teknik potansiyel 40 Mtep/yıl düzeyinde bulunmaktadır.

Biyodizel üretimi için kanola, soya ve aspir başta olmak üzere yağlı tohum bitkileri enerji tarımının yapılması ve atık bitkisel yağların değerlendirilmesi gerekmektedir. Türkiye’de küçük ve orta kapasiteli fabrikalarda biyodizel üretimi yapılmakta ve büyük kapasiteli tesis kurma çalışmaları da sürdürülmektedir.

Modern biyokütle kullanımına geçilmesi ülke ekonomisi ve çevre kirliliği açısından önem taşımaktadır. Bir çok ülke bugün kendi ekolojik koşullarına göre en uygun ve en ekonomik tarımsal ürünlerden alternatif enerji kaynağı sağlamaktadır. Türkiye de bu potansiyele ve ekolojik yapıya sahip ülkeler arasındadır. Ülkemizde modern biyokütle enerji kullanımı ise biyodizel yakıt olarak yeni yeni kullanılmaktadır. Tarımsal, evsel ve sanayi atıkları ülkemizdeki en büyük biyokütle enerji kaynaklarıdır.

# ÖĞRENME FAALİYETİ-3

## AMAÇ

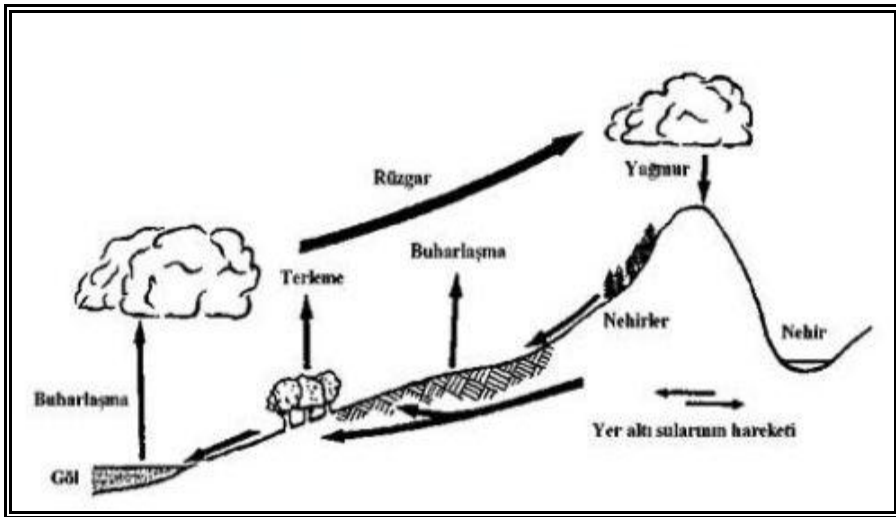
Hidroelektrik enerji kaynaklarını inceleyebileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

- Hidroelektrik enerji kaynaklarının çevresel etkilerini inceleyiniz.
- Hidroelektrik enerjinin avantaj ve dezavantajlarını inceleyiniz.
- Ülkemizdeki ve çevrenizdeki hidroelektrik enerji kaynaklarını, kullanımını, ekonomiye sağladığı yararları araştırınız.

## 3. HİDROELEKTRİK ENERJİ

Hemen hemen bütün enerji kaynakları, güneş ışımının maddeler üzerindeki fiziksel ve kimyasal tesirinden meydana gelmektedir. Hidrolik enerji de güneş ışımından dolayı olarak oluşan bir enerji kaynağıdır. Deniz, göl veya nehirlerdeki sular güneş enerjisi ile buharlaşmakta, oluşan su buharı rüzgârın etkisiyle de sürüklenerek dağların yamaçlarında yağmur veya kar hâlinde yeryüzüne ulaşmakta ve nehirleri beslemektedir. Böylelikle hidrolik enerji kendini sürekli yenileyen bir enerji kaynağı olmaktadır. Enerji üretimi ise suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile sağlanmaktadır.



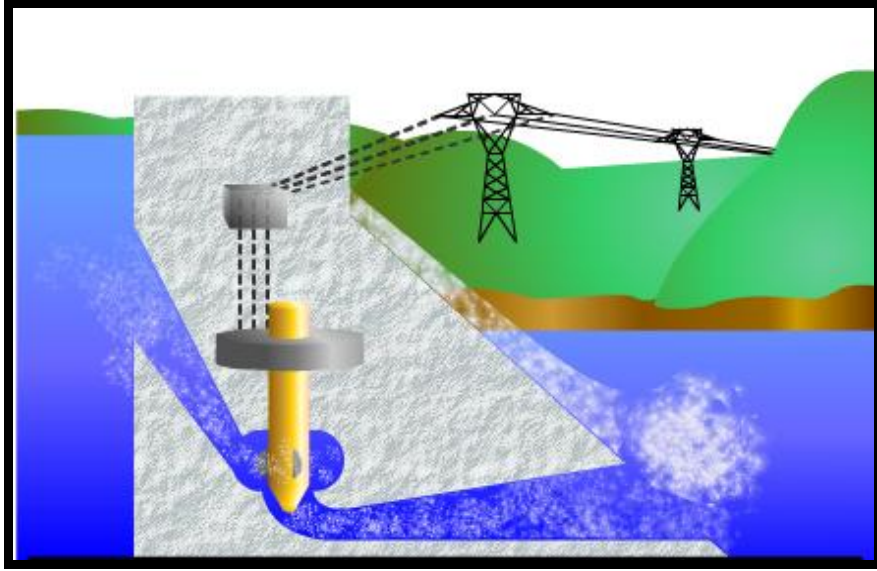
Şekil 3.1: Hidrolik çevrim

Ülkemizdeki mevcut yağış miktarları ve akarsuların durumu göz önüne alındığında bu enerji kaynağından güvenilir olarak tam kapasite ile yararlanma oranımız ancak % 65 civarındadır.

### 3.1. Hidroelektrik Enerji Kaynakları

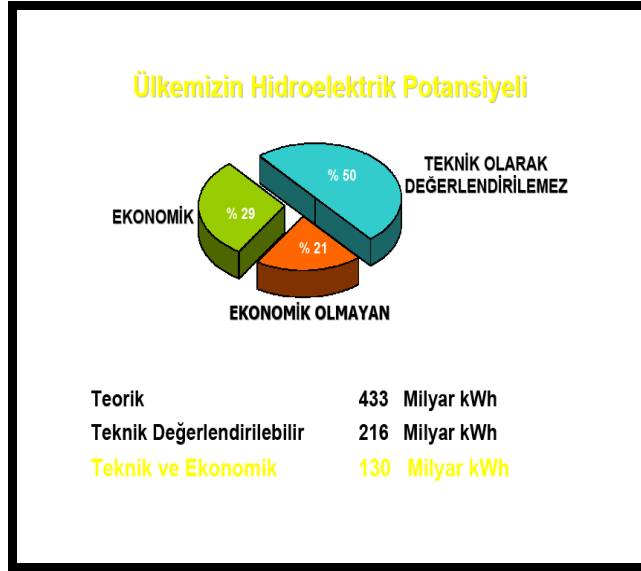
Doğanın dengesini koruyabilmesi yenilebilir enerji kaynaklarının önemini arttırmaktadır. Bu enerji kaynaklarından birisi de sudan yararlanılarak elde edilen enerjidir. Suyu enerji elde ettikten sonra diğer amaçlar için kullanmak mümkündür. Bu durum, suyun önemini bir kat daha arttırmaktadır.

Çok sayıda barajın yapımı ile beyaz kömür denilen bu kaynak, 400 milyar kwh'lik bir potansiyele sahiptir. Bunun 103 milyar kadarının elektrik enerjisine çevrilebileceği hesaplanmaktadır.



**Resim 3.1: Hidroelektrik barajlardan enerji üretimi**

Enerji Bakanlığı ve DSİ verilerine göre ülkemizin teknik, ekonomik, kullanılabilir hidroelektrik potansiyeli 125–130 milyar kilovatsaat/yıldır (125–130 Gigawattsaat/yıl). Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi'nin yaptığı bir çalışmaya göre havza bazında yapılan yeni değerlendirmeler ve özellikle küçük hidroelektrik santrallerin yaratacağı potansiyel dikkate alındığında ülkemizin teknik, ekonomik, kullanılabilir hidroelektrik potansiyelinin 163–188 milyar kilovatsaat olduğu değerlendirilmektedir.



**Şekil 3.2: Ülkemizin hidroelektrik potansiyeli verileri**

Hidroelektrikte yağışlara bağlı olarak üretim miktarı değişmekte, kuraklık döneminde üretim azalmaktadır. Termik santraller ile talebe cevap verilemediği zamanlarda ise hidrolik santrallerde kritik su seviyesi zorlanarak elektrik üretimi yapılabilmektedir. Nitekim 1999 ve 2000 yıllarında bu uygulama yapılmıştır.

Hidroelektrik santraller ile elektrik üretimi, dünyada toplam elektrik üretimine yaklaşık % 23 oranında katkıda bulunmaktadır. Hidroelektrik santralleri ile enerji üretimi için uygun coğrafi koşulların sağlanması gerekmektedir. Günümüz koşullarında kullanılabilir hidroelektrik kapasitenin büyük bir bölümü hâli hazırda kullanılmaktadır. Hidroelektrik santralleri, temiz enerji kaynakları arasında değerlendirilmektedir. Hidroelektrik (HE) enerji projeleri esas olarak Devlet Su İşleri (DSİ) ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ)'nin uzmanlık alanındadır.

Ülkemiz yüksek debili akarsuların varlığı açısından hidroelektrik enerji kaynakları bakımından dünyada ilk sıralarda yer almaktadır. Dicle, Fırat, Kızılırmak, Seyhan, Ceyhan nehirleri üzerinde hidroelektrik amaçlı barajlarımız vardır. Bunların en önemlileri “Atatürk ve Karakaya Barajları”dır.

Hidroelektrik enerji kaynakları yönünden ülkemiz oldukça zengindir. Ülkemizin dağlık ve yüksek bir arazi yapısına sahip olması akarsuların dar ve derin vadiler oluşturmasına neden olmuş, bu durum ise akarsu debilerinin oldukça yüksek olmasına zemin hazırlamıştır.

### 3.2. Hidroelektrik Enerjinin Ülkemizde Kullanılma Şekilleri

Türkiye'nin yağış rejimi zaman ve yer bakımından oldukça düzensiz ve dengesizdir. Meteorolojik koşullara bağlı olarak her yıl önemli ölçüde değişim gösterme niteliğine sahiptir. Bu durumda hidroelektrik üretimin de yıllara göre farklılıklar göstermesi kaçınılmazdır. Uzun yılları kapsayan meteorolojik gözlemlere göre yılda ortalama 643 mm olan yağışlar, 501 milyar m<sup>3</sup> suya karşılık gelmektedir. Bu ortalama değer ancak 186 m<sup>3</sup> ünün çeşitli büyüklükteki akarsular aracılığı ile denizlere ve kapalı havzalardaki göllere doğru akışa geçtiği kabul edilmektedir. Akarsuların düzenlenmesi ve maksimum faydanın sağlanabilmesi için bugünkü etütlere göre 702 adet barajın inşa edilmesi gerekmektedir. Topoğrafyası ve morfolojik yapısı göz önüne alındığında ülkemiz hem düşü hem de debi açısından şanslı sayılabilecek ülkeler arasında yer almaktadır.

Ülkemizde yıllık yağışlar 200–2500 mm arasında değişmekte olup ortalama yağış (aritmetik) 642,6 mm'dir. Bu yıllık ortalama 501 milyar m<sup>3</sup> yağış miktarına karşılık gelir ve yılda ülkemiz yüzeyine düşen bu miktar suyun yaklaşık 186 milyar m<sup>3</sup> lük kısmı akış hâline geçer. Akarsularımızın rejimlerini kontrol altına almak, dolayısıyla taşkın zararlarını önlemek ve depolanan sulardan içme suyu, sulama yararları sağlamak ve enerji elde etmek amacıyla bugüne kadar birçok baraj ve hidroelektrik santralleri yapılmıştır. Barajların tamamlanması ile ülkemizde 7.254.454 ha arazinin sulanması, 704868 ha arazinin taşkından korunması, 130.326 ha arazinin kurutulması, 9 856,3 hm<sup>3</sup> suyun içme suyu olarak şehir ve kasabalara iletilmesi, 34.728.7 MW toplam güçte yapılacak 485 adet hidroelektrik santral vasıtasıyla 123.040GWh enerji üretilmesi yapılan etütlere göre mümkün görülmektedir.

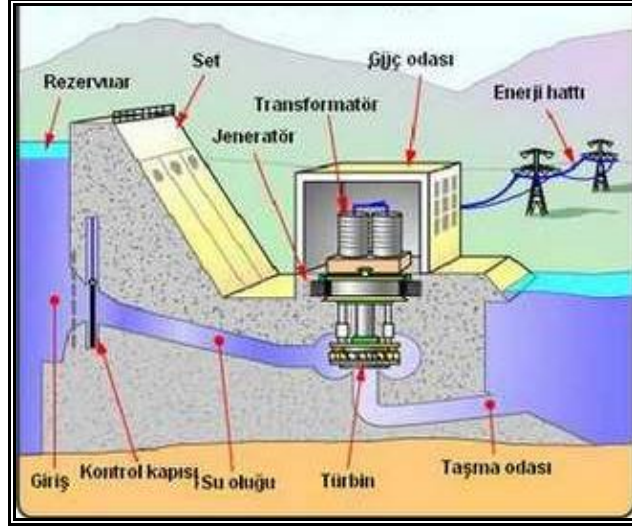
Mevcut hidroelektrik enerji üretim kapasitesinin yüzde 75'i Keban, Karakaya, Atatürk, Altınkaya, Hasan Uğurlu ve Oymapınar Barajlarından sağlanmaktadır.

Santral Tipi	Toplam Kurulu Güç	Brüt Üretim (GWh)	
		1998	1999
Barajlı Santraller	9 443.9	38750.6	30908.5
Tabi Göl Santrali	101.0	187.0	174.3
Akarsu Santrali	156.8	663.8	654.5
Hidrolik Toplam	9701.7	39601.4	31747.3

**Tablo 3.1: Ülkemizin mevcut hidroelektrik santrallerinin potansiyel verileri**

Hidro gücün ekonomik olarak işletilebilir potansiyelinin hâlen 1/3'ü kullanılarak dünya elektrik üretiminin % 17'si karşılanmaktadır. Hidroelektrik santraller ile elektrik üretimi, dünyada toplam elektrik üretimine yaklaşık % 23 oranında katkıda bulunmaktadır. Hidroelektrik santrallerin çevre ile etkileşimi incelenecek olursa hidro projeler, sera gazları, SO<sub>2</sub> ve partikül emisyonlarının olmaması avantajına sahiptir. Barajların arazi kullanımında yarattığı değişiklikler, insanların topraklarını boşaltması, flora ve fauna üzerine etkileri, dibe çökme ile baraj alanının dolması ve su kullanım kalitesi üzerinde etkileri vardır. Büyük su

rezervuarlarının oluşması nedeni ile ortaya çıkan toprak kaybı sonucu doğal ve jeolojik dengenin bozulabilmesi olasılığı vardır. Bu rezervuarlarda oluşan bataklıklar da metan gazı oluşumu için uygun bir ortam teşkil eder.



Şekil 3.3: Hidroelektrik santral yapısı

Hidroelektrik santrallerinin yapımı çok pahalıdır. Buna karşın elektrik enerji üretiminin kolay ve ucuz olması yüzünden en çok tercih edilen santrallerdir. Ülkemizin bol yağış alan iklimi ve akarsularının bolluğu nedeniyle birçok baraj yapılmış ve hidroelektrik santralleri kurulmuştur.

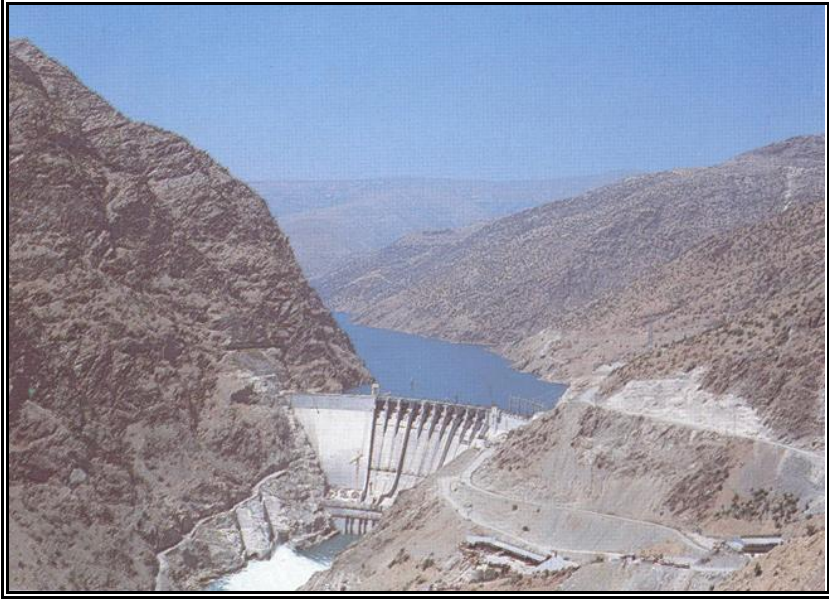
➤ **Hidroelektrik santrallerden bazıları**

- **Atatürk barajı:** Şanlıurfa ve Adıyaman illeri arasında Fırat Nehri üzerinde kurulu olup enerji ve sulama amacıyla kurulmuştur. 2400 MW gücüyle yıllık 8900 GWh elektrik üretim kapasitesine sahiptir.



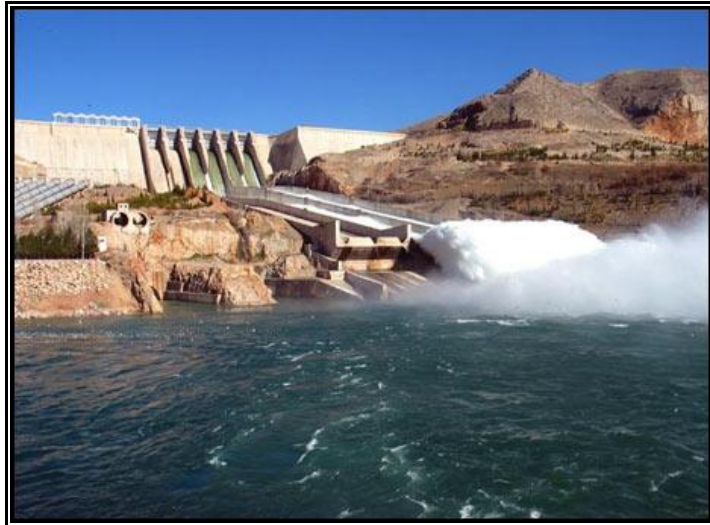
Resim 3.2: Atatürk barajı ve hidroelektrik santrali

- **Karakaya barajı:** Diyarbakır ili Çüngüş ilçesi sınırları içinde, Fırat Nehri üzerinde, Güneydoğu Anadolu Projesi'nin bir parçası olarak elektrik enerjisi üretimi amacıyla kurulmuştur.



**Resim 3.3: Karakaya barajı ve hidroelektrik santrali**

- **Keban barajı:** Elazığ'ın Keban ilçesinde, Fırat Nehri üzerinde, elektrik enerjisi üretimi amacıyla kurulmuştur.



**Resim 3.4: Keban barajı ve hidroelektrik santrali**



- **Hirfanlı barajı:** Kırşehir ilinde, Kırşehir ile Şereflikoçhisar arasında, Kızılırmak üzerinde inşa edilmiş, enerji üretimi ve taşkın kontrolü amacıyla kurulmuş bir barajdır.



Resim 3.5: Hirfanlı barajı ve hidroelektrik santrali

- **Oymapınar barajı:** Antalya'da, Manavgat nehri üzerinde, elektrik enerjisi üretimi amacı ile inşa edilmiş bir barajdır.



Resim 3.6: Oymapınar barajı ve hidroelektrik santrali

### 3.3. Hidroelektrik Enerji Kullanımının Avantaj ve Dezavantajları

Büyük su gücü potansiyeline sahip ülkemizde su gücünden çoğunlukla baraj hazneli santrallerle yararlanılmaktadır.

➤ **Hidroelektrik enerjinin avantajları**

- Çevre kirliliği yaratmaz. Kullanımı sırasında gaz, kül gibi zararlı atıklar oluşturmamaktadır.
- Pik enerji ihtiyacında çok hızlı devreye girdiğinden hemen enerji üretmek mümkündür.
- Acil durumlarda su akışı kesilince hızla devreden çıkarılarak tehlike önlenmiş olur.
- Doğal kaynaklar kullanıldığı için dışa bağımlı değildir.
- Yapılan yatırım sadece enerji için değil tarım alanında sulama, içme suyu ve taşkın amaçlı olarak da kullanılmaktadır.

➤ **Hidroelektrik enerjinin dezavantajları**

- Fiziksel çevreye etkileri

Haznelerin su geliştirme projelerinin çoğu ekosistemde değişikliğe yol açmaktadır. Bu değişikliklerin başlıcaları akarsu akış düzeninin değişmesi, baraj haznelerinin büyük alanları su altında bırakması ve yer altı seviyesinin yükselmesi gibi sakıncalardır. Baraj haznelerinin kapladığı büyük alanlar tarihi yapıların, tarım arazilerinin ve fiziki güzelliklerin bir daha geri gelmeyecek şekilde yok olmasına neden olmaktadır.

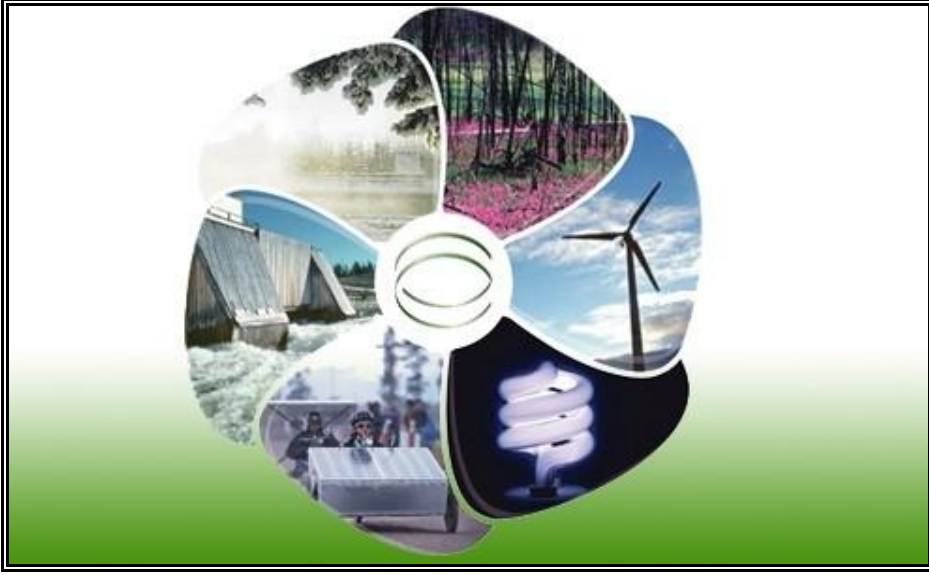
- Biyolojik çevreye etkileri

Sulama amacını da içeren geliştirme projelerinin en önemli sonucu, su kaynaklı hastalıkların yaygınlaşmasıdır. Sulama sistemleri, parazitler ve humma, ciğer trematodu, sıtma gibi hastalıklar yapan canlılar için uygun bir ortam oluşturmakta ve bu yüzden canlılar hastalıklardan etkilenmektedir.

Bazı durumlarda sulama amacıyla uygulanan su geliştirme projeleri, toplam besin maddesi üretimini azaltacak sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Bu sorunlar, tuzluluk ve alkalınler yüzünden toprak veriminin azalması sonunda da verimli arazinin kaybı olmaktadır.

- Sosyal çevreye etkileri

Su geliştirme projelerinin sosyal etkileri doğrudan ya da fiziksel ve biyolojik etkiler sonucu dolaylı olabilmektedir. Bu etkilerin bir kısmı olumlu bir kısmı da olumsuzdur. Su geliştirme projelerinin çoğunda özellikle bölgede oturanlar yerleşim yerlerini boşaltma açısından sorun teşkil etmektedir. Yerleşim yerlerindeki bu değişiklik farklı örf, adet, dil, din, sosyal değer ve kültürleri olan bu insanları olumsuz yönde etkileyerek sosyal bazı sorunların ortaya çıkmasına neden olmaktadır.



**Resim 3.7: Dünyanın çoğalan nüfusu ve sanayileşmesi ile giderek artan enerji gereksiniminin çevreyi kirlletmeden ve sürdürülebilir olarak sağlanabilecek kaynaklardan yararlanılması**