



MÜHENDİS BEYİNLER

Edremit Körfezi Enerji Potansiyeli & Enerji Kaynakları ve Geleceğin Teknolojisi

DÜZENLEYEN

MAKİNA MÜH. FURKAN GÜMÜŞ

2015

ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI VE KOMBİNE KULLANIMI

1.Giriş

1.1.Enerji

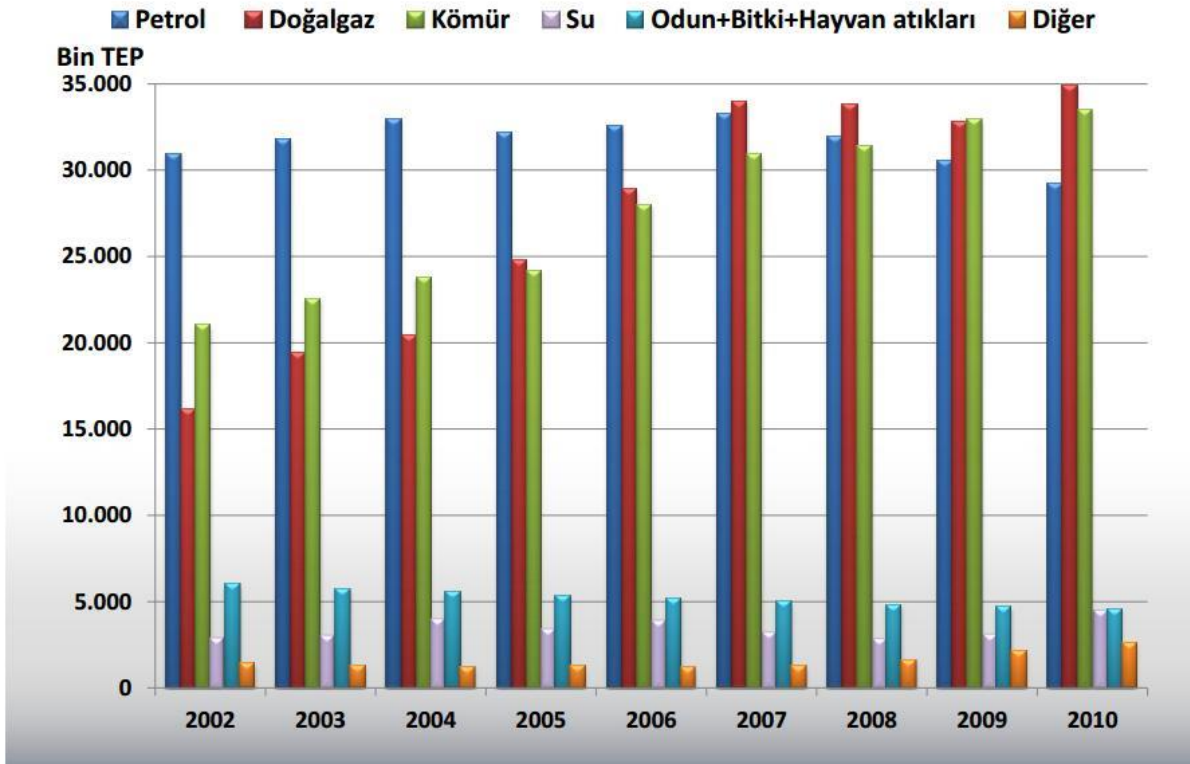
Enerji sektörü, ülkelerin kalkınma politikaları içinde hayati önem taşıyan stratejik bir alan niteliğindedir. Artan enerji fiyatları, küresel ısınma ve iklim değişikliği konusunda gelişen duyarlılık, dünya enerji talebindeki artışa karşın, tükenme eğilimine girmiş olan fosil yakıtlara bağımlılığın yakın gelecekte devam edecek olması, yeni enerji teknolojileri alanındaki gelişmelerin artan talebi karşılayacak ticari olgunluktan henüz uzak oluşu, ülkelerin enerji güvenliği konusundaki kaygılarını her geçen gün daha da artırmaktadır.

Dünyada nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşme olguları, küreselleşme sonucu artan ticaret olanakları doğal kaynaklara ve enerjiye olan talebi giderek artırmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (UEA) tarafından yapılan projeksiyonlar, mevcut enerji politikaları ve enerji arzı tercihlerinin devam etmesi durumunda dünya birincil enerji talebinin 2007-2030 yılları arasında %40 oranında artacağına işaret etmektedir. Referans senaryo olarak adlandırılan ve yıllık ortalama %1,5 düzeyinde talep artışına karşılık gelen bu durumda dünya birincil enerji talebi 2007 yılındaki 12 milyar TEP düzeyinden 2030 yılında 16,8 milyar TEP düzeyine ulaşacaktır.

Enerji kaynakları açısından incelendiğinde, birincil enerji arzında, petrol, doğal gaz ve kömürden oluşan fosil kaynaklı yakıtların ağırlıklı konumunun önümüzdeki yıllarda da devam etmesi beklenmekte ve enerji talebindeki artışın (2010-2035 dönemi) yüzde 77,8'lik bölümünün bu kaynaklardan karşılanması öngörülmektedir.

Türkiye, OECD ülkeleri içerisinde geçtiğimiz 10 yıllık dönemde enerji talep artışının en hızlı gerçekleştiği ülke durumundadır. Aynı şekilde ülkemiz, dünyada 2000 yılından bu yana elektrik ve doğal gazda Çin'den sonra en fazla talep artışına sahip ikinci büyük ekonomi konumundadır.

2012 yılında ülkemizin toplam birincil enerji tüketimi 120,9 milyon tep, üretimi ise 34,5 milyon tep olarak gerçekleşmiştir. Enerji arzında %30,9'lık pay ile doğal gaz ilk sırayı alırken, doğal gazı %25,3 ile petrol, %36,5 ile kömür izlemiş, %7,2'lık bölüm ise hidrolik dâhil olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmıştır. Yapılan projeksiyonlara göre birincil enerji tüketimimizin, referans senaryo çerçevesinde, 2020 yılına kadar olan dönemde de yıllık ortalama %4 oranında artması beklenmektedir.



Şekil 1. Kaynaklara Göre Birincil Enerji Tüketimi

1.2.Elektrik

Türkiye brüt elektrik enerjisi tüketimi 2012 yılında 242,4 milyar kWh olarak gerçekleşirken 2013 yılında bir önceki yıla göre %1,3 artarak 245,5 milyar kWh, elektrik üretimimiz ise bir önceki yıla göre (239,5 milyar kWh) %0,1 azalarak 239,3 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Elektrik tüketiminin 2020 yılında yüksek senaryoya göre yıllık yaklaşık %6.9 artışla 392 TWh'e, baz senaryoya göre ise yıllık ortalama %5,5 artışla 357,4 TWh'e ulaşması beklenmektedir. 2013 yılında sisteme toplam 6.985 MW'lık yeni santral eklenmiş olup kurulu gücümüz 64.044 MW seviyelerine ulaşmıştır.

2013 yılında elektrik üretimimizin, %43,8'i doğal gazdan, %25,4'ü kömürden, %24,8'i hidrolikten, %2'si sıvı yakıtlardan ve %4'ü yenilenebilir kaynaklardan elde edilmiştir.

2013 yılı sonu itibarıyla Türkiye'nin Kurulu gücü içerisinde EÜAŞ %37,1, üretim şirketleri %42,8, yap-işlet santralleri %9,5, otoproduktörler %5,4, yap-işlet-devret santralleri %3,6 ve işletme hakkı devredilen santraller %1,5'lik paya sahiptir.

Elektrik piyasasının serbestleştirilmesi hedefi doğrultusunda, 4628 sayılı Kanunla ve 6446 sayılı yeni Elektrik Piyasası Kanunu ile yeni üretim yatırımlarının özel sektör tarafından yapılması öngörülmüştür. Son on iki yıl içinde devreye giren 32.198 MW ilave kapasitenin yaklaşık 29.474 MW'lık bölümü özel sektör tarafından yapılan santrallerden oluşmaktadır. 2013 yılında sisteme toplam 6.985 MW'lık yeni santral eklenmiş olup, devreye giren ilave kapasitenin 6.821 MW'lık kısmı özel sektör tarafından yapılan santrallerden oluşmaktadır. 2013 yılında işletmeye alınan toplam 6.985 MW Kurulu gücündeki bu üretim tesislerinin;

- 4'ü (148,6 MW) jeotermal,
- 11'ü (499,1 MW) rüzgâr,
- 86'u (2679,6 MW) hidrolik,
- 10'u (78,4 MW) çöp gazı ve biyogaz
- 29'si (3578,9 MW) termik santrallerdir.

1.3.Tabii Kaynaklar

Ülkemiz, üzerinde bulunduğu jeolojik yapının bir sonucu olarak dünyada kendi hammadde gereksiniminin önemli bir bölümünü karşılayabilen maden çeşitliliğine sahip nadir ülkelerden biridir. Dünyada toplam maden üretimi itibarı ile 28'inci, üretilen maden çeşitliliği açısından da 10'uncu sırada yer almaktadır. Dünya genelinde ticareti yapılan 90 çeşit madenden bugüne kadar sadece 13'ünün varlığı ülkemizde belirlenememiştir. Ülkemiz, geri kalan 50 çeşit maden açısından zengin ya da çok zengin, 27 çeşit maden bakımından ise yetersiz kaynaklara sahiptir.

Rezerv yönünden, başta bor, trona, bentonit, mermer, feldspat, manyezit, alçıtaşı, pomza, perlit, stronsiyum ve kalsit olmak üzere Türkiye dünyanın sayılı zengin ülkelerinden birisi konumundadır.

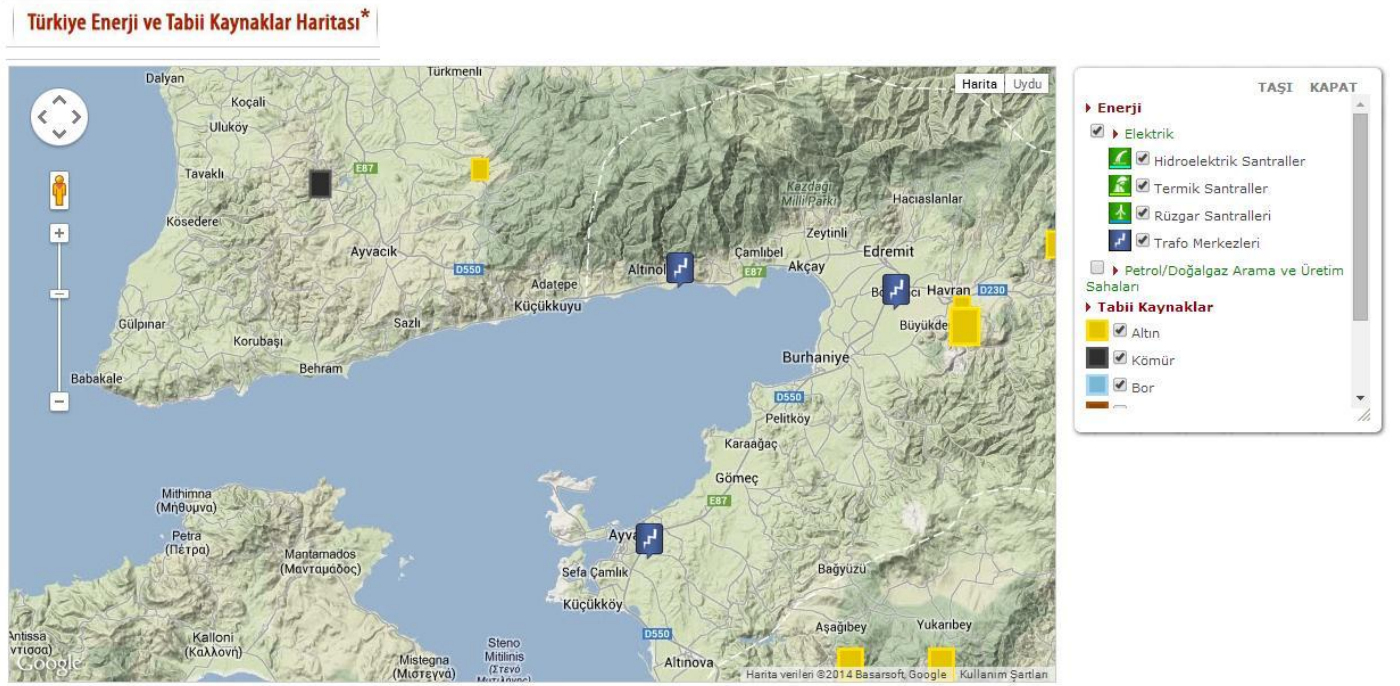
- Dünya bor rezervinin %72'si,
- Dünya feldspat rezervinin %23'ü,
- Bentonit rezervinin %20'si ülkemizde bulunmaktadır.
- Dünya da ikinci büyük soda külü rezervi olan Beypazarı Trona yatağını işletmek üzere kurulan tesis, yılda 1 milyon ton soda külü, 100 bin ton sodyum karbonat üretimi ile dünya tüketiminin %2,5'ini karşılamaktadır.

2000-2010 yılları arasında madencilik sektörü üretiminin toplam sanayi sektörü üretimi içindeki payı sürekli artış göstererek cari fiyatlarla %4,32'den 7,32'ye (2010 Eylül sonu itibarıyla) yükselmiştir. GSYİH içindeki payı ise %0,99'dan 1,40'a çıkmıştır.

2. Edremit Körfezi ve Enerji Potansiyeli

2.1. Enerji Potansiyeli

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının verilerine göre körfez bölgesinde kömür, altın ve mermer yatakları bulunmaktadır. Bölgenin gerek turistik gerekse kaynakların ticari olarak yetersiz olması sebebiyle enerji santrallerinin olmadığını görmekteyiz. Ayvacık bölgesinde baraj olmasına karşın bölgenin sulama ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılmaktadır. Aynı şekilde körfezde çok sayıda kaplıca bölgeleri olmasına karşın ticari olarak jeotermal santral bulunmamaktadır. Edremit bölgesinde jeotermal enerjiyi değerlendirme adına çalışmalar yapılmaktadır.



Şekil 2. Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Haritası

2.2. Jeotermal Enerji Potansiyeli

Jeotermal kaynaklar; yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklığı sürekli 20°C' den fazla olan ve çevresindeki normal yer altı ve ter üstü sularına oranla daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir. Bu kaynaklardan elektrik üretimi veya ısı enerjisi sağlanmaktadır. [Jeoloji Mühendisleri Odası]

Jeotermal kaynaklar ile;

- Elektrik enerjisi üretimi,
- Merkezi ısıtma, merkezi soğutma, sera ısıtması vb. ısıtma/soğutma uygulamaları,
- Proses ısısı temini, kurutma işlemleri gibi endüstriyel amaçlı kullanımlar,
- Karbondioksit, gübre, lityum, ağır su, hidrojen gibi kimyasal maddelerin ve minerallerin üretimi,
- Termal turizm'de kaplıca amaçlı kullanım,
- Düşük sıcaklıklarda (30 °C'ye kadar) kültür balıkçılığı,
- Mineraller içeren içme suyu üretimi, gibi uygulama ve değerlendirme alanlarında kullanımlar gerçekleştirilmektedir.

Yağmur, kar, deniz ve magma sularının yeraltındaki gözenekli ve çatlaklı kayaç kütlelerini besleyerek oluşturdukları jeotermal rezervleri, yeraltı ve reenjeksiyon koşulları devam ettiği müddetçe yenilenebilir ve sürdürülebilir özelliklerini korurlar. Kısa süreli atmosfer koşullarından etkilenmezler. Reenjeksiyon, jeotermal rezervuarlardan yapılan sondajlı üretimlerde jeotermal akışkanın çevreye atılmaması ve rezervuarı beslemesi bakımından, işlevi tamamlandıktan sonra tekrar yeraltına gönderilmesi işlemidir. Reenjeksiyon birçok ülkede yasalarla zorunlu hale getirilmiştir.

Jeotermal Akışkanın Sıcaklığına Göre Kullanım Alanları

180°C	Yüksek konsantrasyon solüsyonunun buharlaşması, Amonyum absorpsiyonu ile soğutma
170°C	Hidrojen sülfid yolu ile ağır su eldesi, diatomitlerin kurutulması
160°C	Kereste kurutulması, balık vb. yiyeceklerin kurutulması
150°C	Bayer's yoluyla alüminyum eldesi
140°C	Çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulması (Konservcilikte)
130°C	Şeker endüstrisi, tuz eldesi
120°C	Temiz su eldesi, tuzluluk oranının artırılması
110°C	Çimento kurutulması
100°C	Organik maddeleri kurutma (Yosun, et, sebze vb.) Yün yıkama ve kurutma
90°C	Balık kurutma
80°C	Ev ve sera ısıtma
70°C	Soğutma
60°C	Kümes ve ahır ısıtma
50°C	Mantar yetiştirme, balneolojik banyolar (kaplıca tedavisi)
40°C	Toprak ısıtma, kent ısıtması (Alt sınır), sağlık tesisleri
30°C	Yüzme havuzları, fermentasyon, damıtma, sağlık tesisleri

Şekil 3. Jeotermal Sıcaklık ve Kullanım Alanları

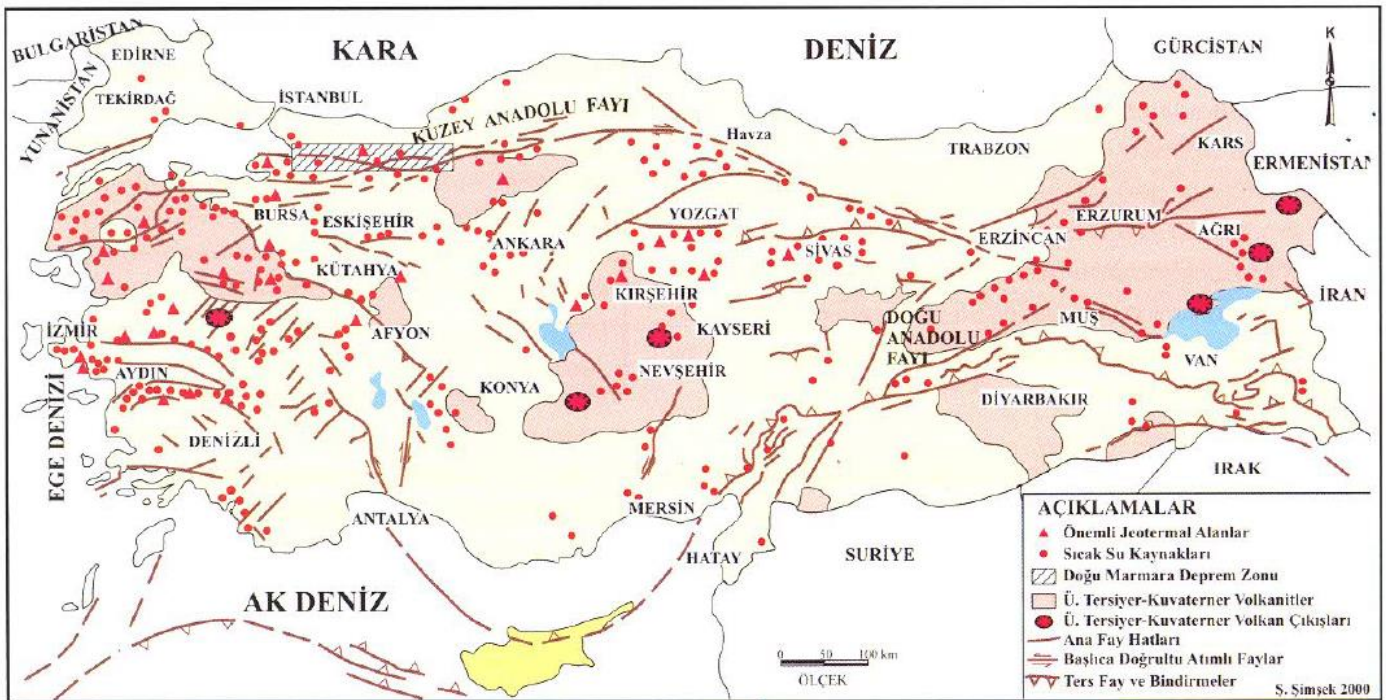
Elektrik Üretimi

Hazne sıcaklığı 200⁰ C ve daha fazla olan jeotermal akışkandan elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Ancak günden güne gelişmekte olan yeni teknolojilere göre 150⁰ C ye kadar düşük hazne sıcaklıklı akışkandan da elektrik üretilmektedir. Ayrıca, son zamanlarda buharlaşma noktaları düşük gazlar (Freon, İzobütan vb.) kullanılarak 60-90⁰ C sıcaklıklardaki sulardan da elektrik üretimi (binary sistem) çalışmaları sürdürülmektedir.

Isıtma

Düşük sıcaklıktaki jeotermal akışkan (30 -150⁰ C) doğrudan ısıtmada kullanılmaktadır. Yeni geliştirilen ısı pompaları yardımıyla sıcaklığı 5⁰C ye düşünceye kadar akışkandan yararlanılabilmektedir. 40⁰ C den fazla sıcaklıktaki jeotermal akışkan kullanılarak binalar ve kentler merkezi sistemle ısıtılmakta ve sıcak kullanma suyu olarak (İzlanda, Fransa, Japonya, ABD, Türkiye, vb) yararlanılmaktadır. Seraların ısıtılmasıyla turfanda sebzecilik, meyvecilik, çiçekçilik yapılmakta ve dünyada yaklaşık 17.174 MW karşılığı jeotermal enerji bu amaçla kullanılmaktadır.

Türkiye' de Önemli Jeotermal Alanlar ve Sıcak Su Kaynakları Haritası



Şekil 4. Türkiye Jeotermal Alanlar ve Sıcak Su Kaynakları

2.2.1. Körfezde Jeotermal Enerji Potansiyeli

Körfez bölgesinde çok sayıda sıcak su kaynakları bulunmasına karşın elektrik üretimi için yeterli potansiyelin olmadığını, buna karşın termal turizm, kimya sanayisi için mineral üretimi, kültür balıkçılığı, tarım için sera uygulamaları, merkezi ısıtma ve soğutma sistemleri için büyük bir potansiyelin var olduğunu görmekteyiz. Körfez bölgesindeki önemli jeotermal alanlar ve uygulamaları;

Güre Kaplıcaları

Güre kaplıca kaynakları, Güre köy yolunu takip ettiğinizde hemen Kaz dağlarının eteğinde Kavurmacılar köyünde başlar ve günümüzden 8000 yıl önce dördüncü infilakı ile tamamen parçalanmış şu anda Altınoluk ile Midilli adası arasında denizin 90 metre derinliğinde krateri bulunan Kardela volkanının olduğu yerde magmaya doğru saplanır. Debisi yüksek olan Güre kaplıca kaynaklarından çıkan termal suyun sıcaklığı 57°C - 72°C arasındadır. Mineral yoğunluğu ve kalitesi bakımından Dünyadaki kaplıca kaynaklarının içerisinde Amerika Virginia ve Çek Cumhuriyeti Karlovy Vary kaynaklarının ardından en iyi üç sudan biri olan Güre kaplıca kaynakları, kullanım bakımından da Türkiye'deki dört kaplıca kaynak suyu arasındadır. Ayaş, İnegöl Oylat ve Hatay Erzin kaplıcalarının aralarında bulunduğu kaplıca kaynaklarının içerisinde Güre kaplıcaları Barneo Therapy (banyo kürü), içme kürü, solunum kürü ve çamur banyo kürlerine uygun olan en değerli ve nadir kaynakların başında gelmektedir.

Edremit Jeotermal Evler

Edremit Belediyesi Jeotermal kaynaklarını kullanarak şehir merkezindeki halkın sıcak su ve ısıtma ihtiyaçlarını karşılamaktadır. İlçe genelinde şu anda yaklaşık 3 bin 500 aboneye jeotermal hizmet verilmektedir.

2.3. Hidroelektrik Enerji Potansiyeli

Hidroelektrik santraller (HES) akan suyun gücünü elektriğe dönüştürürler. Akan su içindeki enerji miktarını suyun akış veya düşüş hızı tayin eder. Büyük bir nehirde akan su büyük miktarda enerji taşımaktadır. Ya da su çok yüksek bir noktadan düşürüldüğünde de yine yüksek miktarda enerji elde edilir. Her iki yolla da kanal ya da borular içine alınan su, türbinlere doğru akar, elektrik üretimi için pervane gibi kolları olan türbinlerin dönmesini sağlar. Türbinler jeneratörlere bağlıdır ve mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler.

Hidroelektrik santraller;

- Yenilenebilir kaynak olan sudan enerji elde etmeleri,
- Sera gazı emisyonu yaratmamaları,
- İnşaatın yerli imkânlarla yapılabilmesi,
- Teknik ömrünün uzun olması ve yakıt giderlerinin olmaması,
- İşletme bakım giderlerinin düşük olması,
- İstihdam imkânı yaratmaları,
- Kırsal kesimlerde ekonomik ve sosyal yapıyı canlandırmaları yönünden en önemli yenilenebilir enerji kaynağıdır.

Hidroelektrik Santral Sınıflaması

En genel anlamıyla Hidroelektrik Santraller, Düşülerine Göre:

- Alçak düşülü HES'ler ($H < 10\text{m}$)
- Orta düşülü HES'ler ($H = 10\text{--}50\text{ m}$ arası)
- Yüksek düşülü HES'ler ($H > 50\text{ m}$ den büyük düşülü)

Depolama Yapılarına Göre:

- Depolamalı (rezervuarlı) HES'ler
- Nehir Tipi (regülatör) HES'ler olarak sınıflandırılabilir.

Çanakkale İli İç Suları

Akarsular

İl sınırları içinde Biga Yarımadasında yer alan Kocabaşçayı, Bayramdere, Umurbey Çayı ve Sarıçay Kuzey Marmara Havzasında, Menderes Çayı, Tuzla Çayı ve Mıhlı Çayı ise Güney Marmara Havzasında yer almaktadır (Tablo 1). Bu çaylardan özellikle Sarıçay, Kocabaş Çayı ve Menderes Çayı drenaj alanları itibarı ile birçok yerleşim yeri ile etkileşim içinde bulunduğu için kirlilik tehdidi altında kalmaktadırlar.

Göl-Gölet ve Rezervuarlar

İl sınırları içinde kayda değer doğal bir göl bulunmamaktadır. Biga İlçesi, Yeniçiftlik Beldesi yakınlarındaki Acı Ece Gölü 1960 yıllarda kurutulduktan sonra civar yerleşim yerlerindeki çiftçiler tarafından yıllardır tarım arazisi olarak kullanılmaktadır. Ancak çok küçük çaplı bir gölalanı olan Ece Gölü kış aylarında suyla dolarak doğal bir göl halini almaktadır. Bu nedenle bu göl alanının ilgili kurumların ve yöre halkının çabalarıyla yeniden doğal hayata kazandırılması ekolojik dengenin korunması açısından büyük önem arz etmektedir.

Çanakkale Atikhisar Barajı ve sulama kanalları ile 6850 Hektar, Gökçeada İlçesinde de Çınarlı Ovası sulama kanalları ile 820 Hektar tarım arazisi sulanmaktadır. Bununla beraber İl genelinde; Toprak su Kooperatifinin pompaj ile aldığı yeraltı suları ile 380 Ha., Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü gölet ve yerüstü sulama şebekeleriyle 20.009 Hektar ve halkın kendi çabasıyla da 17.365 Hektar tarım arazisi sulanmaktadır.

Çanakkale il merkezinin içme suyu Atikhisar Barajı'ndan sağlanmaktadır. Barajdan gelen su, Çanakkale Belediyesi arıtma tesislerinde ileri bir arıtmadan geçirilerek şehre verilmektedir. İl genelinde 494 memba, 32 keson kuyu ve 102 adet sondaj kuyusu içme suyu kaynağı olarak Çanakkale ilinde yaşayanların su ihtiyacını karşılamaktadır. İl sınırları içinde bulunan inşaatı tamamlanmış; içme, sulama ve taşkın önleme amaçlı olarak faaliyette bulunan barajların genel özellikleri aşağıda belirtilmiştir (Tablo 2).

[Kaynak: Çanakkale İli'nin Önemli İç suları ve Kirletici Kaynakları, Çanakkale On sekiz Mart Üniversitesi]

Tablo 1. Çanakkale ilindeki Önemli Akarsu Kaynakları

Akarsu	Uzunluk	Min. Debi (m ³)	Mak. Debi (m ³)	Kaynak	Mansabı
Menderes Çayı	110 km	60-70	1 530	Kazdağı	Çanakkale Boğazı
Tuzla Çayı	52 km	10-15	1 400	Kazdağı	Ege Denizi
Sarıçay	40 km	15-20	1 300	Kazdağı	Çanakkale Boğazı
Kocabaş Çayı	80 km	15-20	1 345	Kazdağı	Marmara Denizi
Mıhlı Çayı	12 km	75		Kazdağı	Ege Denizi
Kavak Çayı	50 km	10-15	1 100	Korudağı	Saroz Körfezi

Sulak Alanlar

İl sınırları içerisinde Ramsar sözleşmesi listesinde bulunan A sınıfı sulak alan bulunmamaktadır. Bununla beraber Çanakkale İli sulak alanlar açısından önemli potansiyele sahiptir. Ancak, il genelinde sulak alan özelliği gösteren alanlarda koruma amaçlı bilimsel bir çalışma yapılmadığı için söz konusu alanlar olumsuz koşulların (yapılaşma, kaçak avcılık, otlatma baskısı vb.) etkisi altındadır. Bu nedenle İl sınırları içindeki sulak alanlarda, bilimsel araştırmalar sonucu ortaya konulacak envanter çalışmalarının oluşturulması ve bu yerlerin Milli Parklar Genel Müdürlüğü'nün en sıkı koruma şekli olan Tabiat Koruma Alanı statüsüne alınması gerekmektedir. İl sınırları içinde sulak alan özelliği gösteren alanların korunması ile ilgili yasal bir mevzuat olmadığı için bu yerler ile ilgili ayrıntılı bir bilgi bulunmamaktadır.

Tablo 2. İl Sınırları İçindeki Barajların Genel Özellikleri

Atikhisar Barajı			
Bulunduğu Mevkii	:Çanakkale Atikhisar Köyü	Aktif Hacim	:52,5 hm3
Amacı	:Sulama, İçme Suyu ve Taşkın Önleme	Toplam Gövde Hacmi	:2,2 hm3
Üzerinde Kurulduğu Akarsu	:Sarıçay	Yıllık Ortalama Su	:51,4 m3/yıl
Tipi	:Toprak Dolgu	Yağış Alanı	:337 km2
Yüzölçümü	:3,662 km2	Topl. Depolama Hacmi	:54,9 hm3
Yüksekliği (Temelden)	:43,20 m	Kret Uzunluğu	:407,76 m
Yüksekliği (Talvegten)	:33,2 m	Dolu Sav. Debisi	:1 473 m3/sn
Gökçeada Barajı			
Bulunduğu Mevkii	:Gökçeada Zeytinli Köyü	Aktif Hacim	:16 hm3
Amacı	:Sulama, İçme Suyu ve Taşkın Önleme	Toplam Gövde Hacmi	:0,6 hm3
Üzerinde Kurulduğu Akarsu	:Büyükdere	Yıllık Ortalama Su	:12,8 hm3/yıl
Tipi	:Zonlu Toprak Dolgu	Yağış Alanı	:31,1 km2
Yüzölçümü	:1,269 km2	Topl. Depolama Hacmi	:16,8 hm3
Yüksekliği (Temelden)	:51 m	Kret Uzunluğu	:318,13 m
Yüksekliği (Talvegten)	:33 m	Dolu Sav. Debisi	:163 m3/sn
Bayramiç Barajı			
Bulunduğu Mevkii	:Bayramiç	Aktif Hacim	:83 hm3
Amacı	:Sulama, İçme Suyu ve Taşkın Önleme	Toplam Gövde Hacmi	:4,0 hm3
Üzerinde Kurulduğu Akarsu	:Menderes Çayı	Yıllık Ortalama Su	:460 m3/yıl
Tipi	:Zonlu Toprak Dolgu	Yağış Alanı	:435 km2
Yüzölçümü	:5,847 km2	Toplam Depolama Hacmi	:86,5 hm3
Yüksekliği (Temelden)	:55,5 m	Kret Uzunluğu	:685 m
Yüksekliği (Talvegten)	:61 m	Dolu Sav. Debisi	:880 m3/sn
Tayfur Barajı			
Bulunduğu Mevkii	:Gelibolu, Tayfur Köyü	Aktif Hacim	:4,1 hm3
Amacı	:İçme Suyu	Topl. Gövde Hacmi	:0,3 hm3
Üzerinde Kurulduğu Akarsu	:Büyükdere	Yıllık Ortalama Su	:16 hm3/yıl
Tipi	:Kil Çekirdek, Kaya Dolgu	Yağış Alanı	:13,6 km2
Yüzölçümü	:0,6 km2	Toplam Depolama Hacmi	:4,3 hm3
Yüksekliği (Temelden)	:37,75 m	Kret Uzunluğu	:130 m
Yüksekliği (Talvegten)	:39,2 m	Dolu Sav. Debisi	:170 m3/sn
Bakacak Barajı			
Bulunduğu Mevkii	:Biga, Bakacak Köyü	Aktif Hacim	:132,5 hm3
Amacı	:Sulama ve Taşkın Önleme	Topl. Gövde Hacmi	:2,2 hm3
Üzerinde Kurulduğu Akarsu	:Kocaçay	Yıllık Ortalama Su	:63,8 hm3/yıl
Tipi	:Kil Çekirdek, Kaya Dolgu	Yağış Alanı	:251,4 km2
Yüzölçümü	:9,1 km2	Toplam Depolama Hacmi	:139 hm3
Yüksekliği (Temelden)	:50 m	Kret Uzunluğu	:424 m
Yüksekliği (Talvegten)	:65 m	Dolu Sav. Debisi	:501 m3/sn

Tablo 3.İl Sınırları İçinde Bulunan Başlıca Göletler ve Özellikleri

Çan Küçükü Göleti			
Bulunduğu Mevkii	:Çan, Küçükü Köyü	Gövde Dolgu Hacmi	:136 286,46 m3
Amacı	:Sulama	Depolama Hacmi	:4 480 000 m3
Tipi	:Homojen Dolgu	Kret Uzunluğu	:424 m
Göl Alanı	:520 000 m2		
Biga Kozçeşme Göleti			
Bulunduğu Mevkii	:Biga, Kozçeşme Beldesi	Gövde Dolgu Hacmi	:0,4 hm3
Amacı	:Sulama	Depolama Hacmi	:4,9 hm3
Tipi	:Homojen Dolgu	Gölet Yüksekliği	:27,6 m
Lapseki Alpagut Göleti			
Bulunduğu Mevkii	:Lapseki, Alpagut Köyü	Göl Alanı	:266 000 m2
Amacı	:Sulama	Gölet Yüksekliği	:24 m
Tipi	:Homojen Dolgu	Kret Uzunluğu	:95 m
Çan Koyunyeri Göleti			
Bulunduğu Mevkii	:Çan, Koyunyeri Köyü	Gölet Yüksekliği	:25 m
Amacı	:Sulama	Depolama Hacmi	:2 693 380 m3
Tipi	:Kil Çekirdekli Kaya Dolgu	Kret Uzunluğu	:92 m
Göl Alanı	:295 000 m2		
Ezine Uluköy Göleti			
Bulunduğu Mevkii	:Ezine, Uluköy	Gölet Yüksekliği	:24,5 m
Amacı	:Sulama	Depolama Hacmi	:2 296 000 m3
Tipi	:Homojen Dolgu	Kret Uzunluğu	:334 m
Göl Alanı	:396 000 m2		
Gelibolu Fındıklı Göleti			
Bulunduğu Mevkii	:Gelibolu, Fındıklı	Gövde Dolgu Hacmi	:172 646 m3
Amacı	:Sulama	Depolama Hacmi	:850 625 m3
Tipi	:Homojen Dolgu	Kret Uzunluğu	:350 m
Göl Alanı	:124 000 m2	Gölet Yüksekliği	:20,50 m

Balıkesir İli İç Suları

Akarsular

Balıkesir, akarsular bakımından zengindir. Fakat bunlar küçük olup, büyük nehirler yoktur. Başlıca akarsularından;

Susurluk (Simav)Çayı; Kütahya'nın Şaphane Dağından çıkarak, Bursa'da Nilüfer Çayı ile birleşip Ballıkaya'da Marmara Denizine dökülür.

Gönen Çayı; Kaz Dağından çıkarak Kazak, Bakırçay ve Akkayası çaylarını alır ve Erdek Körfezine dökülür.

Havran Çayı; Uzunluğu 36 km olan ve Madra Dağları'nın kuzey ve batı yamaçlarıyla, Kaz Dağları'nın güney kesimlerinden doğan küçük derelerin beslediği akarsu, ormanlarla kaplı vadiler içinden geçer. Havran Ovası'ndan sonra Burhaniye İlçesi'nin 1,5 km güneyini görerek, Edremit Körfezi'nde Ege Denizi'ne dökülür. Ayrıca Atnos Deresi, Kızıklı Dere, Kara Dere, Koca Çay, Zeytin Çayı ve Kirmasti Çayı diğer bilinen çaylardır.

Göller

Manyas Gölü: Türkiye'nin altıncı büyük gölüdür. 178-192 kilometrekaredir. Derinliği azdır. Deniz seviyesinden 20 m yüksekliktedir. Koca çay ile beslenir. Karadere ile Susurluk Çayını besler. Manyas Gölünün en önemli tarafı, göl kenarında milli park halinde bulunan "Kuş Cenneti" isimli kısmıdır.

Tabak Gölü: Edremit Körfezinden Ege Denizine dökülen Havran, Zeytinli ve Kızılköçeli çayları büyük bir bataklık meydana getirirler. Bu bataklığın ortasındaki su birikintisine "Tabak Gölü" denir.

Çay Gören Baraj Gölü: Susurluk Çayı üzerinde kurulan bir baraj gölüdür. Yüzölçümü 780 hektardır.

2.3.1. Körfezde Hidroelektrik Enerji Potansiyeli

Bölgede durgun su sistemi olarak değerlendirilebilecek büyüklükte bir göl bulunmamaktadır. Ancak bazı bölgelerde sulama amaçlı yapılmış küçük ölçekte suni göletler bulunmaktadır. Bölgede bulunan baraj gölleri, içme suyu ve sulama suyu kaynağı olarak kullanılmaktadır. Körfez bölgesindeki akarsuların ve göllerin sulama amaçlı kullanılması, turizm bölgesi olması ve bölge insanının çevre duyarlılıkları nedeniyle ve en önemlisi ticari olarak verim almanın zor olmasından dolayı HES'lerin bu bölgede olmayışının en büyük sebebidir.

Körfez Bölgesindeki Barajlar

	Barajın Yeri	Tuzla Çayı üzerinde Ayvacık ilçesine 8 km mesafededir
	Akarsuyu	Tuzla Çayı
	Amacı	Sulama+içmesuyu
	İnşaatın (başlama-bitiş) yılı	2002-2008
	Gövde dolgu tipi	Kil çekirdekli kum-çakıl dolgu
	Gövde hacmi	1,072 hm ³
	Yükseklik (talvegden)	49 m
	Normal su kotunda göl hacmi	39 hm ³
	Normal su kotunda göl alanı	3,42 km ²
	Sulama alanı	3 368ha
	Güç	
	Yıllık Üretim	

	İnşaat Halinde - [2014 DSİ verileri] Havran Barajı	Barajın Yeri	Havran ilçesinin 9 km doğusunda havran çayı üzerinde boğaz ağzı mevkindedir
		Akarsuyu	Havran Çayı
		Amacı	Sulama+Taşkın
		İnşaatın (başlama-bitiş) yılı	1995 - 2009
		Gövde dolgu tipi	Kil çekirdekli kaya dolgu
		Gövde hacmi	1,05 hm ³
		Yükseklik (talvegden)	63,5 m
		Normal su kotunda göl hacmi	66,5 hm ³
		Normal su kotunda göl alanı	3,15 km ²
		Sulama alanı	3 060 ha
		Güç	
		Yıllık Üretim	

Alternatif HES Projeleri

Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller (PHES)

Genel olarak termik santraller talep değişimlerine kolayca uyum sağlayamamaları nedeniyle baz yükte, hidroelektrik santraller ise kolayca işletilip durdurulabilen ve aynı zamanda kısa bir sürede tam kapasite yüke çıkışa uyum sağlayabilmeleri nedeni ile pik talebin karşılanmasında kullanılmaktadır. Pik talebin karşılanmasında rezervuarlı HES'lerin yetersiz kalması durumunda PHES'lere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu santraller genel olarak, güç talebinin düşük olduğu zamanlarda suyu yüksekte bir haznede depolamak ve bu şekilde biriktirilen sudan puant zamanlarda hidroelektrik enerji elde etmek amacıyla planlanmaktadır.

İlk pompaj depolamalı sistem kullanımı 1890'larda İtalya ve İsviçre'dedir. PHES'lerin dünyadaki durumuna bakıldığında; yaklaşık olarak 135000 MW'ın üzerinde kurulu güç ile 39 ülkede işletmededir. Bu ülkeler arasında 25000 MW'lık Kurulu güç ile Japonya ilk sırada yer almaktadır. Bu güç Japonya'nın toplam kurulu gücünün yaklaşık %10'una karşılık gelmektedir. Çin'in PHES potansiyeli hızla artmakta ve yakın gelecekte dünya ülkeleri arasında ilk sırayı alması beklendiği ifade edilmektedir. Elektrik enerjisinin %99'unu hidrolik kaynaklardan elde eden Norveç'te yaklaşık 1300 MW kurulu güçte PHES işletmededir. Ülkemizin hidrolik kaynaklarının tamamının işletmeye alınmadığı gerekçesi ile PHES planlamalarına karşı çıkanların Norveç örneği dikkate alındığında bu görüşlerinin doğru olmadığı görülmektedir. Kaldı ki hidrolik kaynaklarımızın tamamen işletmeye alındığını kabul etsek bile bu potansiyel 2020 yılı itibari ile enerji ihtiyacımızın yaklaşık %30'unu karşılamaktadır. PHES'ler gelişmiş ülkelerin yanı sıra gelişmekte olan ülkelerde de planlanmakta ve işletmede olduklarını görüyoruz. Bu duruma en iyi örnek komşumuz İran'da şu sıralarda işletmeye girecek olan 1040 MW Kurulu güçteki Siah Bishe PHES'dir.



Şekil 5. Dünyadaki PHES Örnekleri

Genel olarak PHES'lerin dünyadaki yapılış amaçları; pik talebin karşılanması, güvenli bir güç kontrol sistemi tesis etmek, frekans kontrolü yapmak, rüzgâr enerjisinin depolanmasını sağlamak, büyük kapasiteli santrallerin (termik, nükleer) devre dışı kalmaları durumunda yedek güç olarak planlanması, sulama suyu temin etmek, yeni teknolojilere sahip olmak olarak özetlemek mümkündür. (İleride Anlatılacak Projeler için Kullanılması Hidroelektrik enerjisinden düşüğe olsa yararlanmamızı sağlayabilir)

PHES'lerde uygulanan kriterlere bakıldığında, genel olarak iki kriterden bahsedilebilir. Bunlardan birincisi planlama ve projelendirme kriterleridir. Burada, PHES'in planlaması ve projelendirilmesinde, topografik, jeolojik, çevresel koşullar, termik ve nükleer santrallere, yük merkezlerine yakınlık-uzaklık ve ekonomik kriterlerin belirleyici olduğu görülmektedir. İkinci önemli kriter ise işletme kriterleridir. PHES'lerin işletme kriterleri depolamalı HES'lerin işletme kriterlerinden çok farklı değildir. Bunun yanı sıra PHES'lerden üretilen enerjinin fiyatlandırılmasında ekonomik bir ayrıcalığın verilmediği görülmektedir.

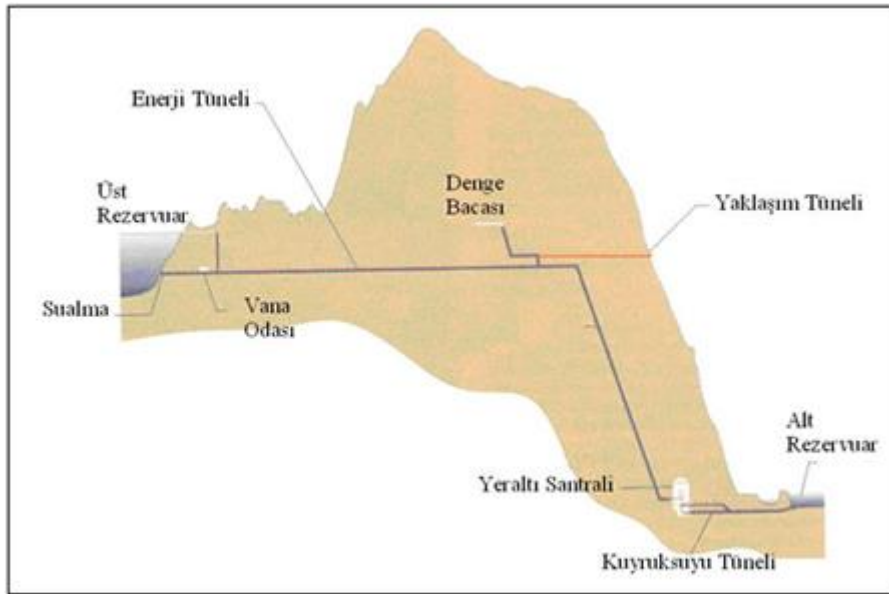
Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerden Faydalanılması

Enerjiyi depolamanın bir yolu da sistemin güç talebinin düşük olduğunda suyu yüksekte bir haznede depolamak ve bu şekilde biriktirilen sudan puant - elektrik enerjisi tüketiminin en yüksek olduğu zaman aralığını veya peak (İngilizcesi) noktası - zamanlarda hidroelektrik enerji elde etmektir. Pompaj depolamalı santraller hidrolik, termik ve rüzgar santrallerinden kurulu enterkonnekte sistemin günlük, haftalık veya sezonluk işletme şartlarını düzenlemekte olup, normal hidroelektrik santrallerde olduğu gibi nehir akımından etkilenmeyip talebin az olduğu ve enerji üretimine gerek olmadığı durumlarda durdurulabilir.

Pompaj depolamalı HES'ler rezervuarlarının büyüklüğüne ve işletme politikasına göre günlük-haftalık veya sezonluk biriktirme yapabilmektedir. Günlük çevrimde, pik saatlerde üretimde kullanılan suyun tamamı aynı gün pik dışı saatlerde üst rezervuara pompalanır. Haftalık çevrimde ise, hafta içi günlerde pik saatlerde üretimde kullanılan suyun bir kısmı aynı gün pik dışı saatlerde üst rezervuara pompalanır, hafta içi günlerin sonunda tamamen boşalan üst rezervuar hafta sonu günlerinde (Cumartesi, Pazar) pik dışı saatlerde pompaj yapılarak tekrar doldurulur. Sezonluk biriktirmede ise nehir akımının ve enerjinin fazla olduğu dönemde su, üst rezervuara pompalanır ve akımın az olduğu dönemde üst rezervuarda depolanan sudan firm enerjiyi arttırmak için enerji üretilir.

Pompaj depolamalı santralin alt ve üst olmak üzere iki rezervuarı olup, rezervuarlar inşa edilecek havuzlar dışında nehir, doğal göl, mevcut baraj rezervuarı veya deniz olabilir. İnşaat edilecek havuzların geçirimsizliği asfalt, beton veya geomembran gibi değişik malzemelerle sağlanabilmektedir.

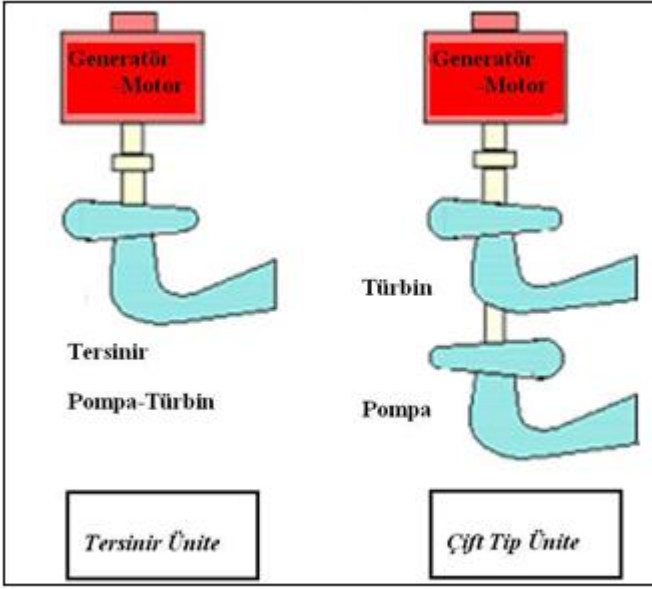
Su alma yapısı üst rezervuarın yanında veya altında olacak şekilde yapılabilmektedir. Çoğunlukla yeraltı santralli pompaj depolamalı HES'lerde iletim yapısı olarak şaft ve enerji tüneli kullanılıp, santralle alt rezervuar arasındaki bağlantı da kuyruksuyu tüneli ile sağlanmaktadır. Olabilecek farklı kesit örnekleri aşağıda gösterilmiştir.



Pompaj depolamalı HES Kesit Örnekleri

Pompaj depolamalı HES'lerde pompa türbin ayrı ayrı kullanılabileceği gibi aynı tersinir türbinler de kullanılabilir. Tersinir türbin/jeneratör sisteminde türbin pompa gibi de çalışmaktadır (genellikle francis türbin). Pompaj depolamalı hidroelektrik santraller yüke uyabilmede esneklik sağlama, yedek enerji tutabilme, güç faktörünü iyileştirme ve frekans regülasyonu yapabilme gibi avantajlar getirmektedir. Pompaj depolamalı santraller mevcut depolamalar ile birlikte kullanılabildiği gibi ada gibi ana karadan uzak yerleşim alanları içinde bir alternatif çözüm teşkil etmektedir. ***Pompaj depolamalı santrallerin de dahil olduğu hidroelektrik santraller fosil yakıtlı santrallerden gelen enerjinin daha az kullanılmasını sağlayarak küresel ısınma probleminin başı çektiği diğer bir çok çevre problemi için de çözüm teşkil edebilmektedir.***

Pompaj depolamalı santraller pik güç talebini karşılamak üzere enerji ihtiyacının en fazla olduğu yerlerde planlanmaktadır. Böylece iletim hattı kısa ve yük kayıpları az olacaktır.



Tersinir ve Çift Tip Üniteler

Ayrıca pompaj depolamalı santraller, yenilenebilir enerjinin yükselişe geçtiği günümüzde özellikle rüzgar santrallerinden üretilen enerjiyi de güvenilir hale getirmek amacıyla kullanılabilir. Bunun için rüzgar santrallerinden elde edilen enerjinin pompaj depolamalı bir tesis ile entegre edilerek daha avantajlı hale getirilmesi mümkündür.

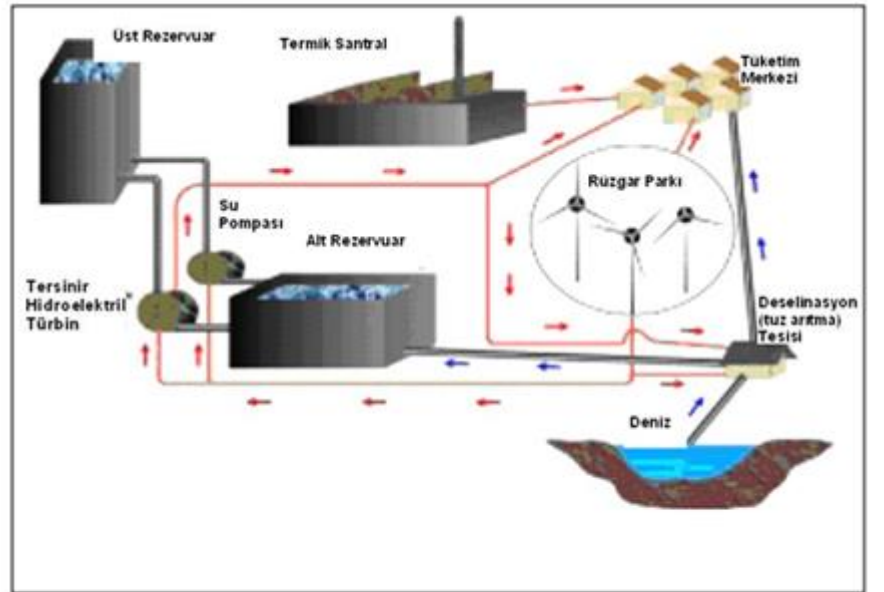
Ülkemizin yaklaşık 48000 MW'lık rüzgâr enerjisi potansiyeli bulunmaktadır. Buna rağmen rüzgardan elde edilen enerjinin güvenilir olmaması gibi bazı bilinen dezavantajları sebebiyle enterkonnekte sistemde kendine yer bulmakta zorluk çekmektedir. Rüzgârın da sisteme dâhil edilmesi amacıyla pilot bir bölge seçilerek, rüzgâr-pompaj depolamalı HES hibrit sistem fizibilite çalışmasına da başlanmıştır. Pompaj depolamalı santraller pik güç talebini karşılamak üzere enerji ihtiyacının en fazla olduğu

yerlerde planlanmaktadır. Böylece iletim hattı kısa ve yük kayıpları az olacaktır. Ayrıca pompaj depolamalı santraller, yenilenebilir enerjinin yükselişe geçtiği günümüzde özellikle rüzgâr santrallerinden üretilen enerjiyi de güvenilir hale getirmek amacıyla kullanılabilir. Bunun için rüzgar santrallerinden elde edilen enerjinin pompaj depolamalı bir tesis ile entegre edilerek daha avantajlı hale getirilmesi mümkündür.

Rüzgâr Pompaj Depolamalı HES Hibrit Enerji Projesi

Pompaj depolamalı HES'ler rüzgar enerjisi kaynaklarına dayalı elektrik enerjisi üretimi yapan tesislerin sayılarının artışına bağlı olarak şebeke üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılmasına, fazla üretim anında bu enerjinin depolanmasına, şebeke işletimi açısından voltaj ve frekans kontrolü özelinde olmak üzere yan hizmetlerde kullanılmasına, ülkemizde yapımı düşünülen ve baz olarak işletilen nükleer santrallerden üretilen enerjinin talebin az olduğu saatlerde depolanarak puant saatlerde kullanılmasına imkan vermektedir. Bu amaçla Rüzgâr Enerjisi ve Pompaj Depolamalı HES'ten oluşan hibrit sistem ile rüzgâr gücündeki değişkenliği düzeltilmesi planlanmıştır.

Rüzgâr enerjisi ve Pompaj Depolamalı HES'ten oluşan hibrit sistem ile rüzgâr gücündeki değişkenliği düzeltmek suretiyle yaklaşık 48.000 MW büyüklüğünde öngörülen ekonomik rüzgâr enerjisi potansiyelinden etkin şekilde yararlanılabilmesi öngörülmektedir. Bu proje kapsamında öncelikle rüzgârdan elde edilecek elektriksel gücün düzgün bir şekilde şebekeye verilmesinin yanı sıra, rüzgâr gücünün planlı aralıklarla ve düzgün bir şekilde şebekeye aktarılması da mümkün olacaktır. Bu proje ile Ülkemizin ekonomik rüzgâr potansiyelinin tamamen değerlendirilmesi hedeflenmektedir.



Karadan Uzak Yerleşim Alanları İçin Elektrik ve Su Temin Sistemi Şematik Sunumu

2.4. Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli

Rüzgâr enerjisi; doğal, yenilenebilir, temiz ve sonsuz bir güç olup kaynağı güneştir. Güneşin dünyaya gönderdiği enerjinin %1-2 gibi küçük bir miktarı rüzgâr enerjisine dönüşmektedir. Güneşin, yer yüzeyini ve atmosferi homojen ısıtmamasının bir sonucu olarak ortaya çıkan sıcaklık ve basınç farkından dolayı hava akımı oluşur. Bir hava kütlesi mevcut durumundan daha fazla ısınır, atmosferin yukarısına doğru yükselir ve bu hava kütlelerinin yükselmesiyle boşalan yere, aynı hacimdeki soğuk hava kütlesi yerleşir. Bu hava kütlelerinin yer değiştirmelerine rüzgâr adı verilmektedir. Diğer bir ifadeyle rüzgâr; birbirine komşu bulunan iki basınç bölgesi arasındaki basınç farklarından dolayı meydana gelen ve yüksek basınç merkezinden alçak basınç merkezine doğru hareket eden hava akımıdır.

Rüzgârlar yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına akarken; dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesi, yüzey sürtünmeleri, yerel ısı yayılımı, rüzgâr önündeki farklı atmosferik olaylar ve arazinin topografik yapısı gibi nedenlerden dolayı şekillenir. Rüzgârın özellikleri, yerel coğrafi farklılıklar ve yeryüzünün homojen olmayan ısınmasına bağlı olarak, zamansal ve yöresel değişiklik gösterir. Rüzgâr hız ve yön olmak üzere iki parametre ile ifade edilir. Rüzgâr hızı yükseklikle artar ve teorik gücü de hızının küpü ile orantılı olarak değişir.

Başka bir ifadeyle Rüzgâr, güneş radyasyonunun yer yüzeyini farklı ısıtmasından kaynaklanır. Yer yüzeyinin farklı ısınması, havanın sıcaklığının, neminin ve basıncının farklı olmasına, bu farklı basınç da havanın hareketine neden olur. Meteorolojik açıdan rüzgâr aşağıdaki yerlerde oluşabilir:

- Basınç değişiminin fazla olduğu yerler,
- Yüksek, engebesiz tepe ve vadiler,
- Güçlü jeostrofik rüzgârların etkisi altında kalan bölgeler,
- Kıyı şeritleri,
- Kanal etkilerinin meydana geldiği dağ silsileleri, vadiler ve tepeler.

Rüzgârın özellikleri, yerel coğrafi farklılıklar ve yeryüzünün homojen olmayan ısınmasına bağlı olarak, zamansal ve yöresel değişiklik gösterir. Rüzgârdan üretilen elektrik enerjisinin türbin göbek (hub) yüksekliğindeki ortalama rüzgâr hızının bir fonksiyonu olarak sınıflanması aşağıda verilmektedir. Buna göre bulunan yerin ortalama rüzgâr hızı;

- 6.5 m/s rüzgâr hızı enerji açısından orta düzey,
- 7.5 m/s iyi,
- 8.5 m/s ve yukarısı hızlar çok iyi olarak değerlendirilmektedir.

Rüzgâr enerjisi, ilkçağdan beri türbinin shaft gücünden yararlanılarak su pompalama, çeşitli ürünleri kesme, biçme, öğütme, sıkıştırma, yağ çıkarma gibi mekanik enerjiye gerek duyulan yerlerde kullanılmaktadır. Rüzgâr enerjisinin en etkin kullanım biçimleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Mekanik uygulamalar (su pompalama sistemi)
- Elektriksel uygulamalar (şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantısız-stand alone sistemler)
- Isıl enerjisi uygulamaları

Rüzgâr türbinleri

Rüzgâr türbinleri, rüzgâr enerji santrallerinin ana yapı elemanı olup hareket halindeki havanın kinetik enerjisini öncelikle mekanik enerjiye ve sonrasında elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir.

Rüzgâr türbinleri dönüş eksenlerinin doğrultusuna göre yatay eksenli veya dikey eksenli olarak imal edilirler. Bu tiplerden en fazla kullanılanı yatay eksenli rüzgâr türbinleridir. Bu tip rüzgâr türbinleri bir, iki, üç veya çok kanatlı yapılmaktadır. Yatay eksenli rüzgâr türbinleri; önden rüzgârlı (up-wind), arkadan rüzgârlı (down-wind) türbin adını alırlar.

Dikey eksenli rüzgâr türbinlerinin eksenleri rüzgâr yönüne dik ve dikey olup kanatları da dikey vaziyettedir. Elektrik üretim amaçlı şebeke bağlantılı modern rüzgâr türbinleri çoğunlukla 3 kanatlı, yatay eksenli ve up-wind türü rüzgâr türbinleridir.

Günümüzde teknolojik gelişmelere paralel olarak büyük güçlü rüzgâr enerji santrallerinde 1,0-7,5 MW gücünde yatay eksenli rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır. Üç kanatlı rüzgâr türbinlerinin kanat çapları **100 m** ve üzeri değerine ulaşmıştır. Modern rüzgâr türbinlerinin rotor göbekleri (hub) yer seviyesinden **60-120 m** yükseklikte bir kule üzerinde bulunur. Bir rüzgâr türbininden elde edilecek enerji miktarı birinci dereceden türbin hub yüksekliğindeki rüzgâr hızına bağlı olmaktadır. Hub yüksekliğinin artırılması, mevcut rüzgâr gücünden maksimum düzeyde yararlanılmasını sağlayacaktır.

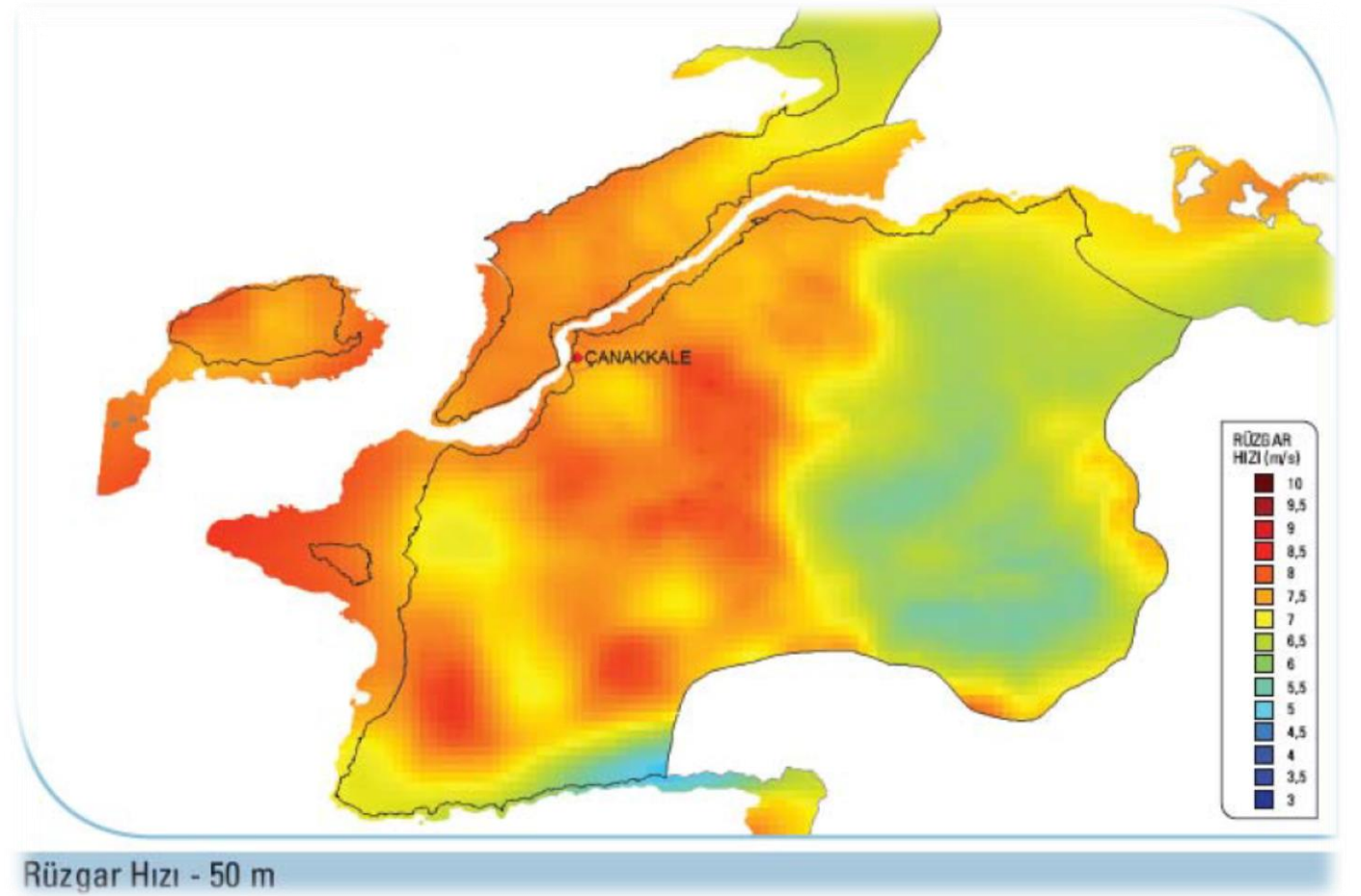
Rüzgâr türbinleri, elektrik enerjisi üretimine ancak belirli bir rüzgâr hızında başlayabilmektedir. Bir rüzgâr türbini cut-in ve cut-out rüzgâr hızları arasında enerji üretimini gerçekleştirir. *Modern rüzgar türbinlerinin cut-in – devreye girme - hızları 2-4 m/s, nominal hızları 10-15 m/s ve cut out - devreden çıkma - hızları ise 25-35 m/s arasındadır.* Her bir rüzgâr türbini için belirlenmiş bir rüzgâr hızında, sistemden elde edilen güç en büyük değere ulaşır. Bu en büyük güce nominal güç ve bu rüzgar hızına nominal hız adı verilmektedir. Sistemin hasar görmemesi için belirli bir rüzgâr hızından sonra rüzgâr türbinlerinin stop konumuna geçmesi otomatik olarak sağlanır. Bu maksimum hıza sistemin cut out hızı adı verilmektedir.

Türkiye'de yer seviyesinden 50 metre yükseklikte ve 7.5 m/s üzeri rüzgar hızlarına sahip alanlarda kilometrekare başına 5 MW gücünde rüzgar santrali kurulabileceği kabul edilmiştir.

Çanakkale İli Rüzgâr Kaynak Bilgileri

Rüzgâr Dağılımı – 50 metre

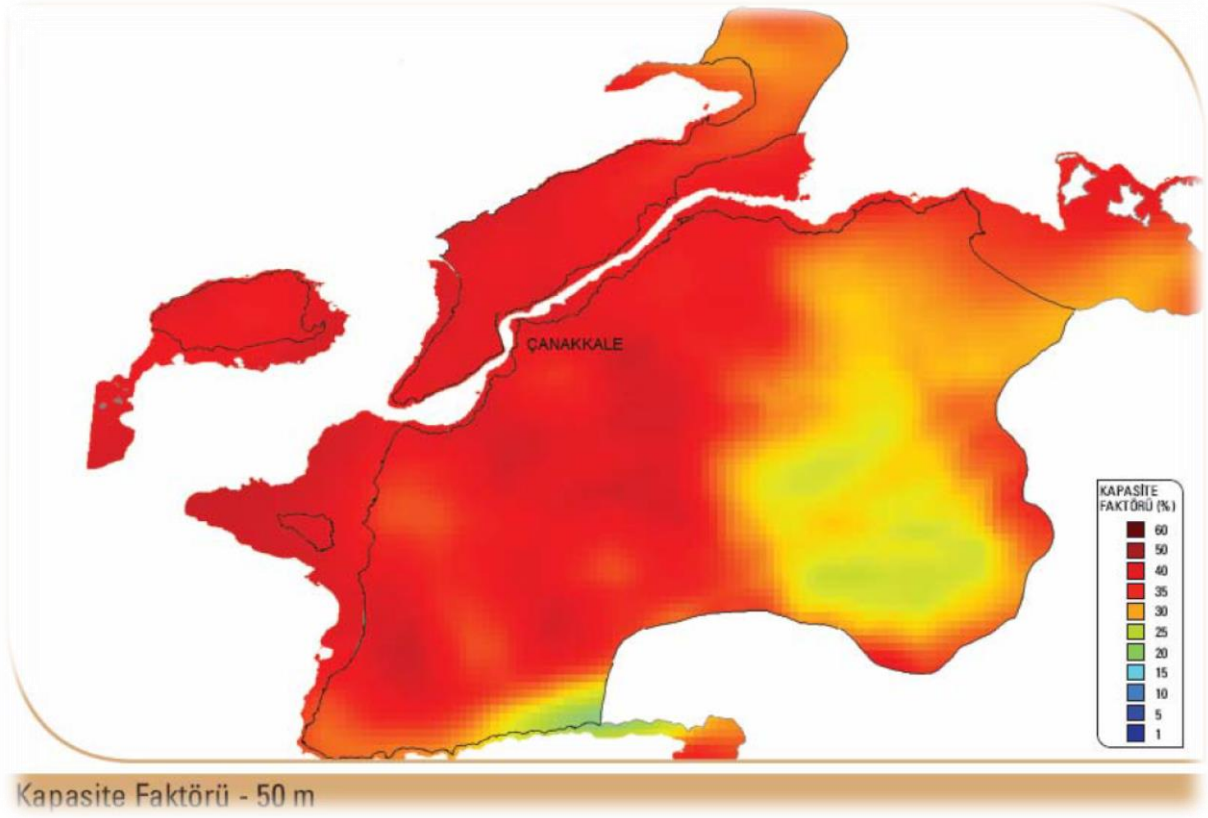
Ekonomik RES yatırımı için 7 m/s veya üzerinde rüzgâr hızı gerekmektedir.



Şekil 6. Çanakkale Rüzgâr Hız Dağılımı

Kapasite Faktörü Dağılımı - 50 metre

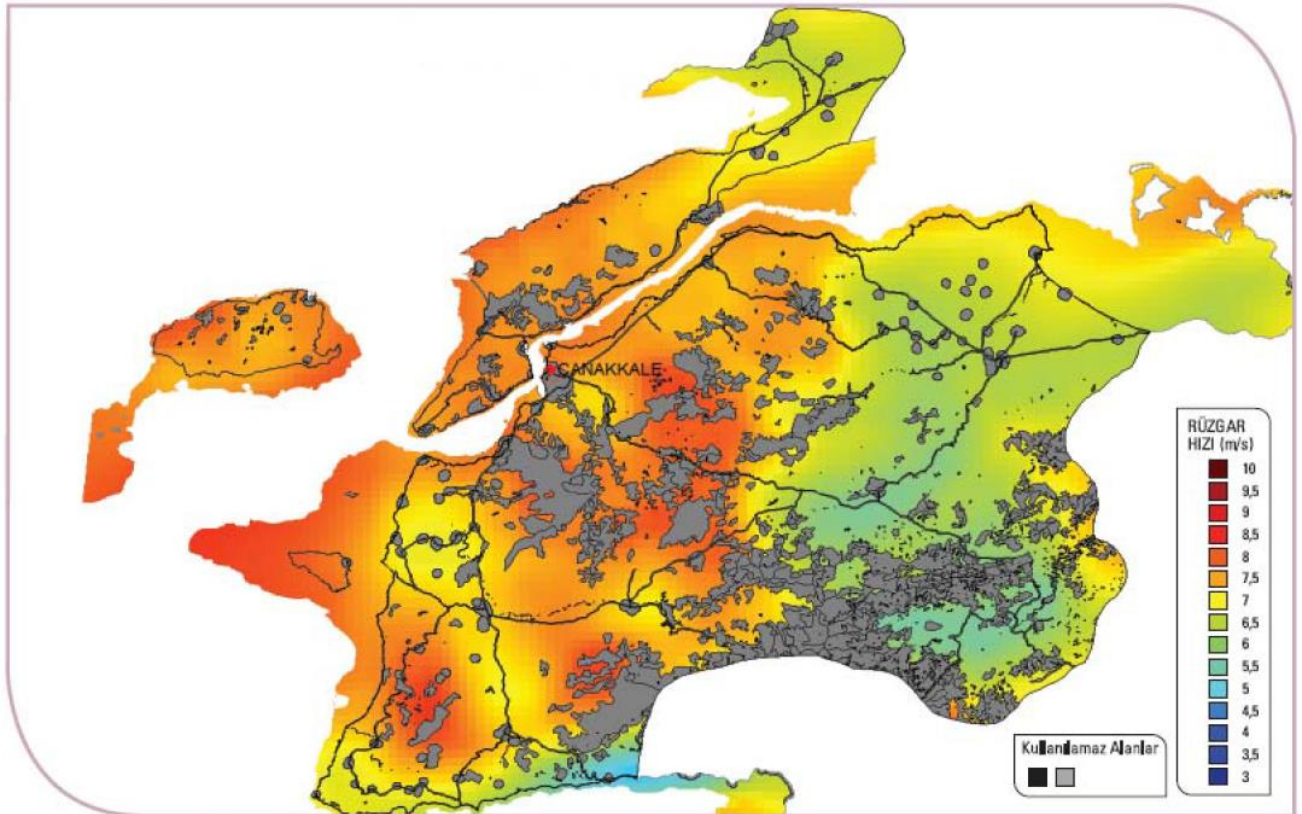
Ekonomik RES yatırımı için %35 veya üzerinde kapasite faktörü gerekmektedir.



Şekil 7. Çanakkale Kapasite Faktörü Dağılımı

Rüzgâr Enerjisi Santrallerinin Kurulabilceği Alanlar

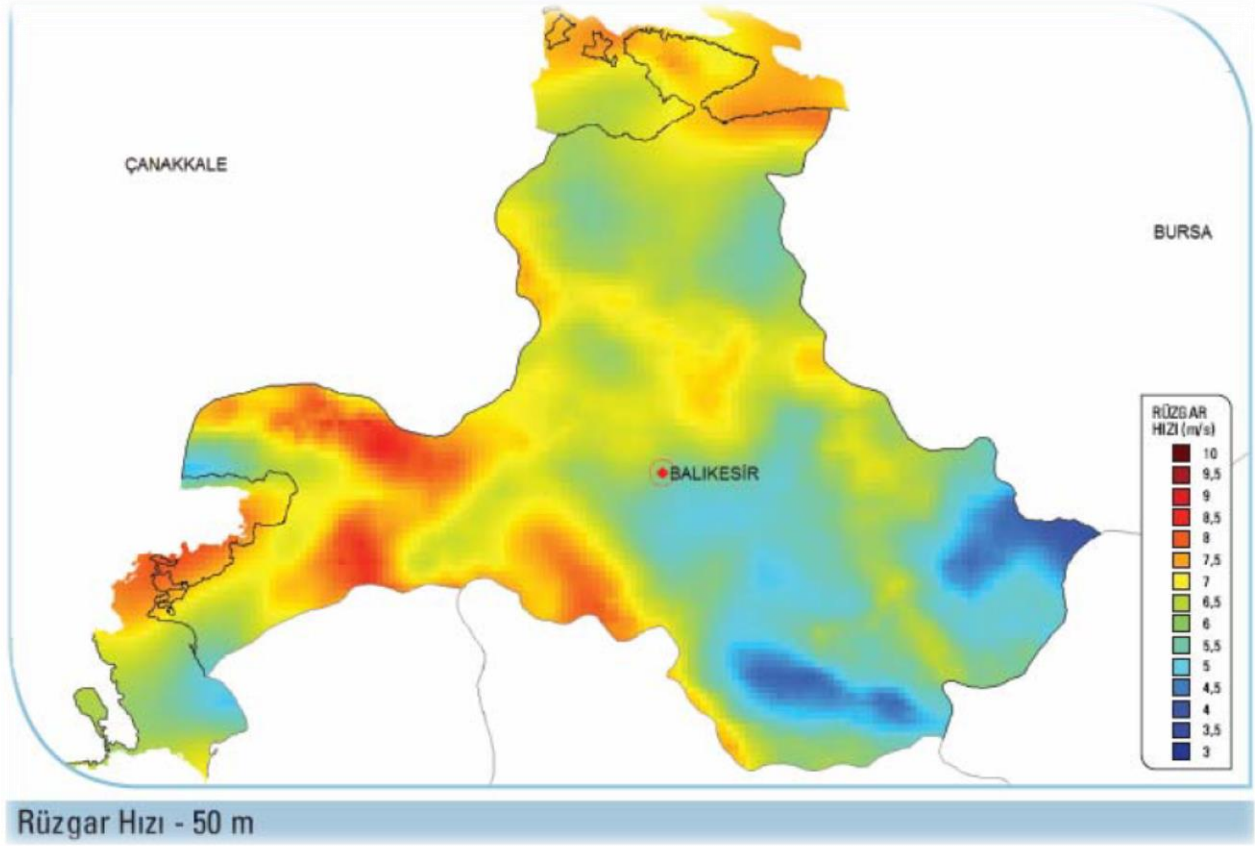
Gri renkli alanlara RES kurulamayacağı belirtilmiştir.



Şekil 8. Çanakkale RES için Kullanılamaz Alanlar

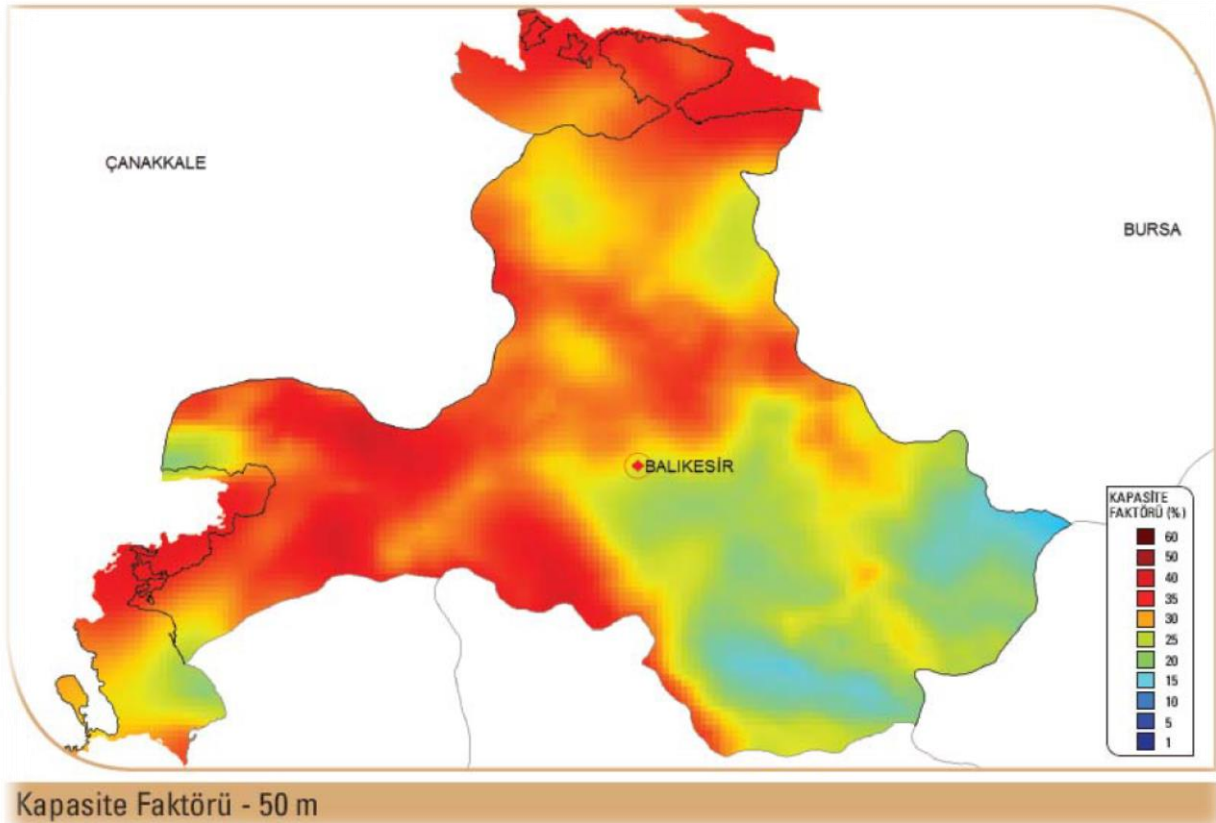
Balıkesir İli Rüzgâr Kaynak Bilgileri

Rüzgâr Dağılımı - 50 metre

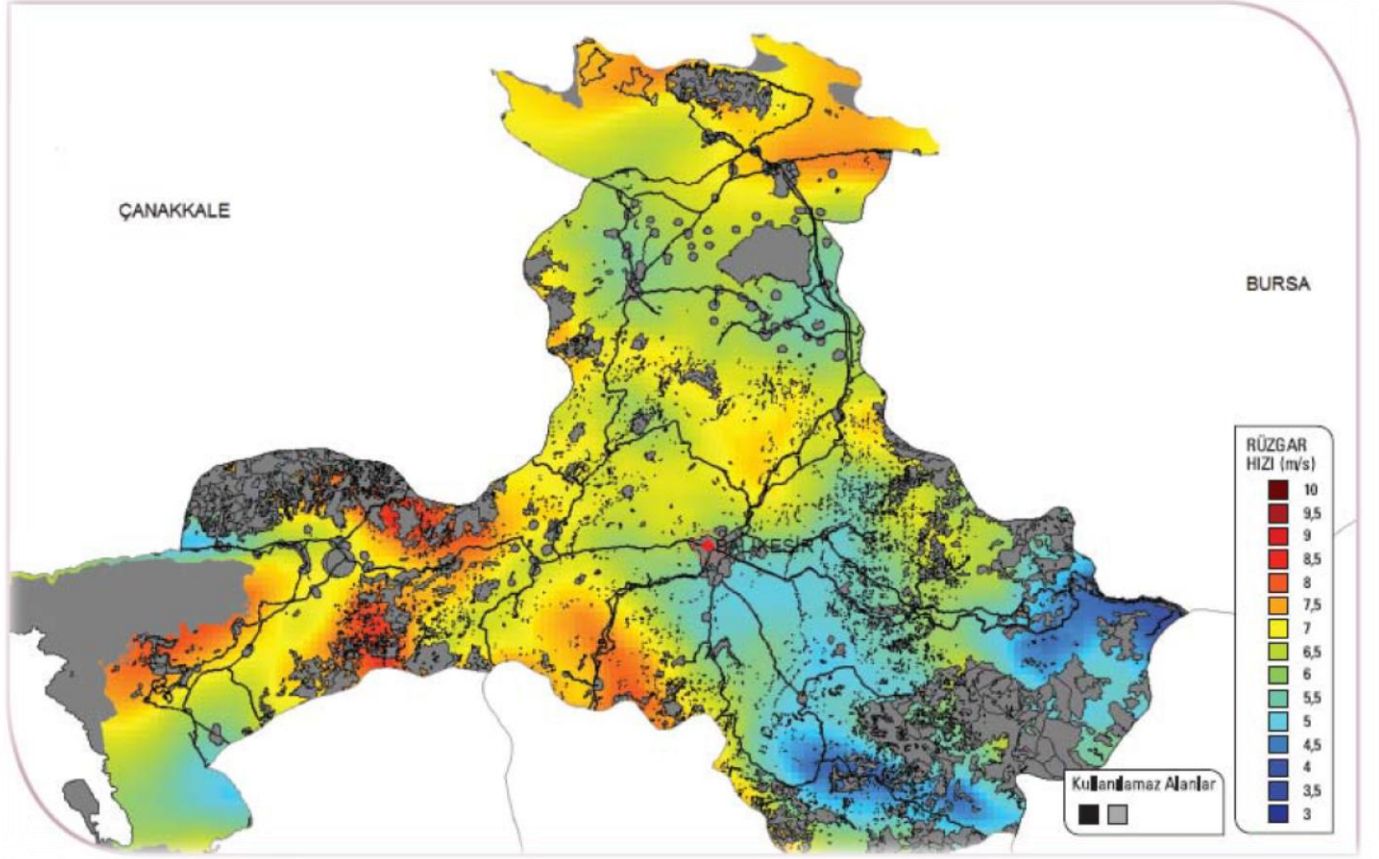


Şekil 9. Balıkesir Rüzgâr Hız Dağılımı

Kapasite Faktörü Dağılımı - 50 metre



Şekil 10. Balıkesir Kapasite Faktörü Dağılımı



Şekil 11. Balıkesir RES İçin Kullanılamaz Alanlar

2.4.1. Körfezde Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli

Körfez bölgesinde rüzgâr hızı en an 5 m/s olmakla birlikte büyük bir bölgenin hız ortalaması 7 m/s hızdadır. Kapasite faktörü %35' in üstünde olması ekonomik bir RES yapımı sağlayacağını göstermektedir. Yani bu da bize ticari olarak enerji elde edebileceğimizi göstermektedir. Körfez bölgesinde verimin çok yüksek olduğu bazı noktalarda RES'lerin kurulamayacağı kabul edilmiştir. Aynı şekilde körfez denizi üstünde de RES'ler kurulamamaktadır. Bütün faktörler değerlendirildiğinde ayvacık bölgesi ve civarında verimli bir RES kurulabilir. Aynı şekilde bölgedeki bir PHES ile daha randımanlı hibrit bir sistem tasarımına gidilebilir. Ayvacık bölgesinde ayrıca kömür yataklarının olması termik santrallerle de bütünleşik bir sistem tasarımı yapılabileceğini göstermektedir.

Körfez Bölgesindeki RES'ler

SARES (İşletilmektedir)

Kurulu Güç: 22.5 MW

Firma: GARET ENERJİ ÜRETİM VE TİCARET A.Ş.

Türbin Sayısı: 9

İl: ÇANAKKALE

İlçe: EZİNE

Üretime Geçiş Yılı: 2010

Türbin Markası: GE

Türbin Gücü: 2.5 MW

Türbin Kanat Çapı: 100 metre

Türbin Rotor Göbek Yüksekliği: 85 metre

Ayvacık RES (Lisanslı)

Kurulu Güç: 5.0 MW

Firma: AYRES AYVACIK RÜZGÂR ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİM LTD.ŞTİ.

Türbin Sayısı: 4

İl: ÇANAKKALE

İlçe: AYVACIK/ Tavşanlı Köyü

Üretime Geçiş Yılı: 2011

Türbin Markası: Vestas

Türbin Gücü: 1.25 MW

Türbin Kanat Çapı: 80 metre

Türbin Rotor Göbek Yüksekliği: 90 metre

Çataltepe RES (Lisanslı)

Kurulu Güç: 16.0 MW

Firma: ALİZE ENERJİ ELEKTRİK ÜRETİM A.Ş.

Türbin Sayısı: 8

İl: BALIKESİR

İlçe: HAVRAN/ Kocadağ Köyü

Üretime Geçiş Yılı: 2011

Türbin Markası: Enercon

Türbin Gücü: 2 MW

Türbin Kanat Çapı: 78 metre

Türbin Rotor Göbek Yüksekliği: 82 metre

Alibey RES (Lisanslı)

Kurulu Güç: 30.0 MW

Firma: BALIKESİR RÜZGÂR ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ SANTRALI LTD. ŞTİ.

Türbin Sayısı: 24

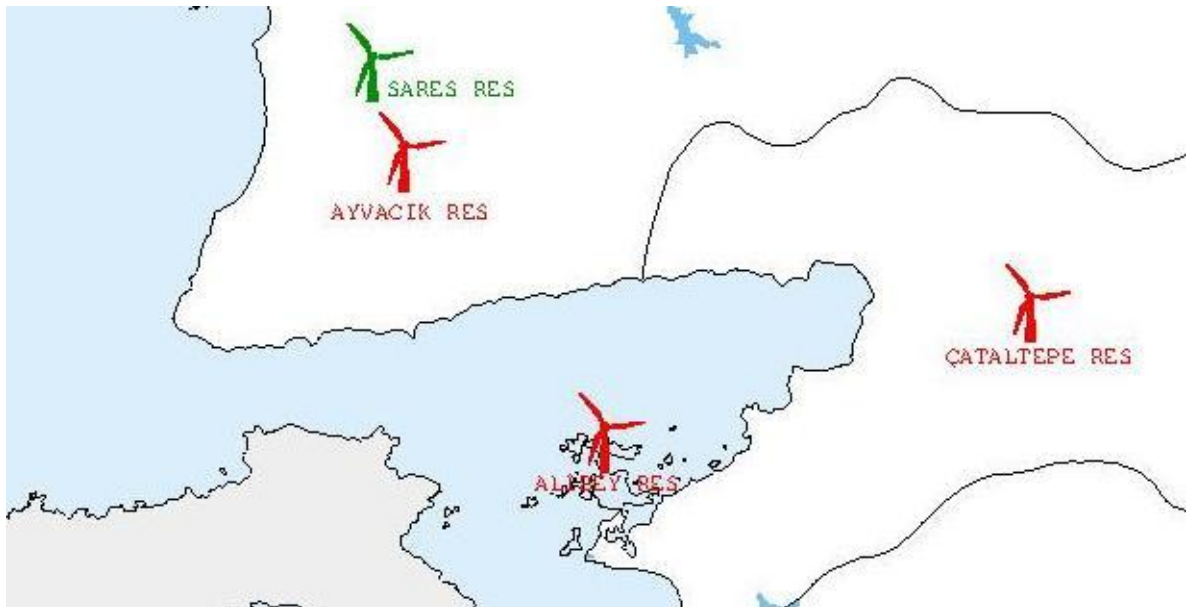
İl: BALIKESİR

İlçe: AYVALIK/ Alibey Adası, Derviş Tepe, Alibey Tepe, Çöm Tepe, Ak Tepe, Deve boyun Tepe

Üretime Geçiş Yılı: 2011

Türbin Markası: Enercon

Türbin Gücü: 1.25 MW



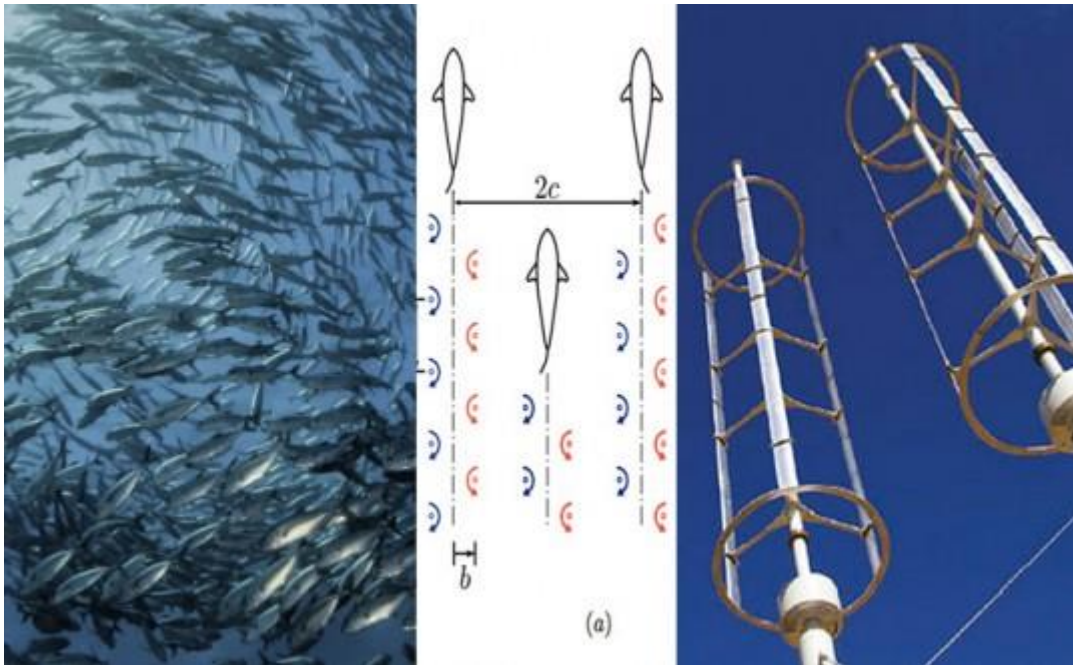
Şekil 12. Körfez Bölgesi RES Haritası

Alternatif Rüzgar Türbinleri Tasarımı: Biyobenzetim ile Yüksek Verimli Türbinler

Günümüzde endüstriyel ve teknolojik tasarımların vazgeçilmezi biyobenzetim yöntemi en az uğraş ile en yüksek verim elde edilmesini sağlıyor. Bu yöntem kullanılarak tasarlanan yüksek verimli ve ucuz rüzgâr türbinler elde edilebilir. Peki, biyobenzetim nedir? Aslında mucitlerin ve mühendislerin hep esin kaynağı olan DOĞA ve CANLILAR' daki tasarımıdır. Yani biyobenzetim doğa tasarımı anlamına gelmektedir. Bu yöntem çok eski zamanlardan beri kullanılmaktadır. Uçaklar için kuşkanatları, Binaların serinletilmesi için termitlerin yuvalarını, daha verimli rüzgâr türbinleri için balina yüzgeçlerinin yapısı ve hatta bu yöntemle Mercedes-Benz, kirpi balığının bir küpe benzeyen şeklini örnek alan yeni bir otomobil tasarladı. Denemeler, tasarımın otomobilin çevresindeki hava akımını hızlandırarak 3.8 litre benzinle 113 kilometre yol alabilmesini sağladığı gözlemlendi. 2008 Beejing Olimpiyatları'nda önde gelen yüzücüler, geçmişe oranlar çok daha fazla rekor kırdı. Bu, bazı insanların sürtünmeyi azaltan yeni Speedo, Fastskin mayolarını köpekbalığı derisinin mikroskop altındaki görüntüsünden esinlenen bir teknolojiyle yarattı. Köpekbalığı derisinde, binlerce şerit oluşturan, dişe benzer pullar bulunur. Köpekbalığı uzmanı George Burgess, suyun, "bu mikroskobik boyuttaki şeritlerden akıp giderek" sürtünmeyi azalttığını belirtiyor. Speedo'nun yeni mayoları da aynı şeyi yapıyor. [National Geographic Dergisi]

Dikey Rüzgâr Türbinleri

Rüzgâr türbini tasarımları son zamanlarda oldukça düzeldi ancak rüzgâr çiftlikleri hala yeterince verimli değil. Standart üç bıçaklı rüzgâr türbinlerinin tercih edilmesinin sebebi tek bir direkle ayakta durabilmesi ve nispeten az yer kaplamasıdır. Ancak birden fazla 3 bıçaklı rüzgâr türbini bir arada kullanıldığında gövde ve kanatlardan kaynaklanan rüzgâr kesme, pervanenin dönmesi sebebiyle istenmeyen girdap oluşumu gibi fiziksel sorunlar rüzgâr çiftliklerinde verimin düşmesine neden olur. CalTech Biyofizikçisi John Dabiri, dikey rüzgâr türbinlerinin bu soruna çözüm olacağını belirtiyor. MacArthur Vakfından aldığı hibe ile çalışmalarına devam eden Dabiri, yüzme okullarındaki balıklardan esinlenip, biyobenzetim yolu ile balık anatomisine uygun olarak tasarladığı rüzgâr türbinleri sayesinde girdap ve rüzgâr kesme gibi sorunları ortadan kaldırdı.



Şekil 13. Biyobenzetim Tasarımlı Dikey Rüzgâr Türbini

Dikey tasarlandığı için standart üç bıçaklı türbinlerden daha az yer kaplayan yeni nesil türbinlerle daha az alanda daha fazla elektrik üretilebiliyor.

Magnetic Levitation (Manyetik Kaldırma) Rüzgâr Türbini

Türbin, Arizona merkezli bir şirket tarafından tasarlandı ve bu tasarımla yaklaşık 750.000 evin ihtiyacını karşılayacak olan 1GW'lık enerji üretilmesi planlanıyor.

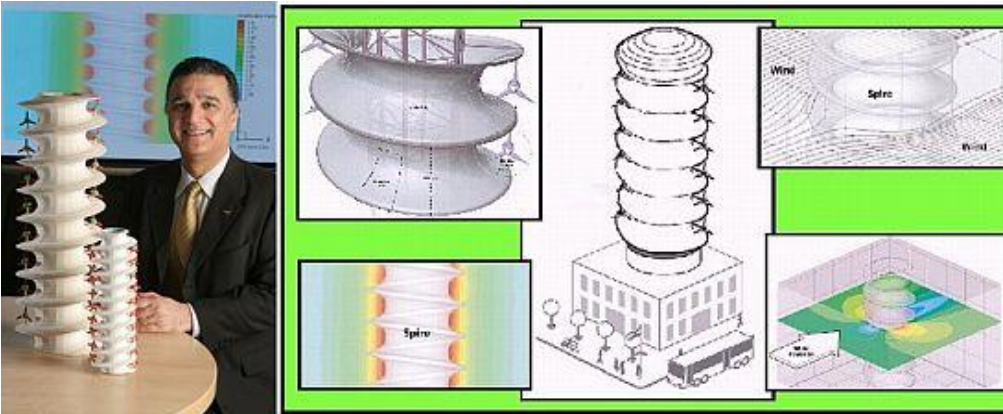


Şekil 14. Mega Boyutlu Dikey Rüzgâr Türbini Örneği

2.4.2. Rüzgâr Enerjisi Sistemlerinde Yeni Tasarımlar

Havanın hızla yer değiştirmesi ile içindeki parçacıkların hareketi de hızlı olur. Havanın bu özelliğini kinetik enerjiye dönüştürme işlemine Rüzgâr Enerjisi adı verilir. İnsanların havanın bu büyük gücünü keşfetmesiyle birlikte Rüzgâr Enerjisi Teknolojisi serüveni başlamış oldu. Bu büyük güçten maksimum ölçüde yararlanma düşüncesi ise uzmanları sürekli yeni ve farklı tasarımlar yapmaya zorluyor. Son yıllarda geliştirilen tasarımlardan birkaçına göz atalım:

Helis Rüzgâr Türbini



Cleveland State Üniversitesi'nden Prof. Dr. Majid Rashidi tarafından tasarlanan türbin, binaların çatılarına monte edilebilen, silo biçiminde bir rüzgâr deflektörü. Tasarım çok düşük rüzgâr hızlarında bile elektrik üretimini mümkün kılan pek çok mini türbin içeriyor. Kurulan sistemin ev, ofis ve okulların

ihtiyaçları olan enerjinin 4'te 1'ini, kendilerinin sağlamasına olanak sunuyor.

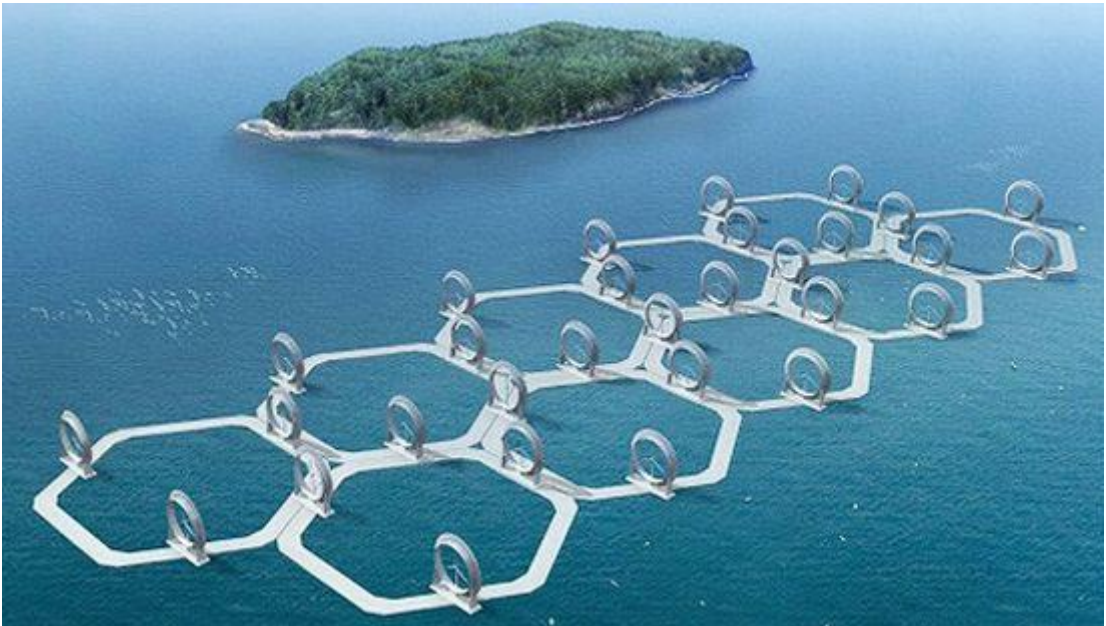
Sky Serpent

Daug Selsam'ın Sky Serpent'i daha düşük maliyetle rüzgar yakalamak için küçük rotorlardan oluşan bir dizi kullanır. Verimliliği arttırmanın anahtarı, her rotorun kendi rüzgâr akışını yakalayabileceğinden emin olmaktır. Rotorlar arasındaki ideal boşluk ve rüzgârla ilgili shaft için uygun değer açının hesaplanması gerekir.



Rüzgâr Merceği Türbinleri

Kyushu Üniversitesi'nden Profesör Yuji Ohya'nın geliştirdiği sistem, 2010 Yokohama Uluslararası Yenilenebilir Enerji Fuarı'nda sergilendi. Petek benzeri bir yapıya sahip olan sistem, offshore türbinlerinin üretebildiği rüzgâr enerjisi miktarını üçe katlıyor. Rüzgâr Merceği bir büyüteç gibi çalışıyor. Güneşten gelen ışığı yoğunlaştırmanın yanı sıra, rüzgâr akışını da yoğunlaştırması bu merceğin en büyük özelliğidir.



Ne Fark Yaratacak?

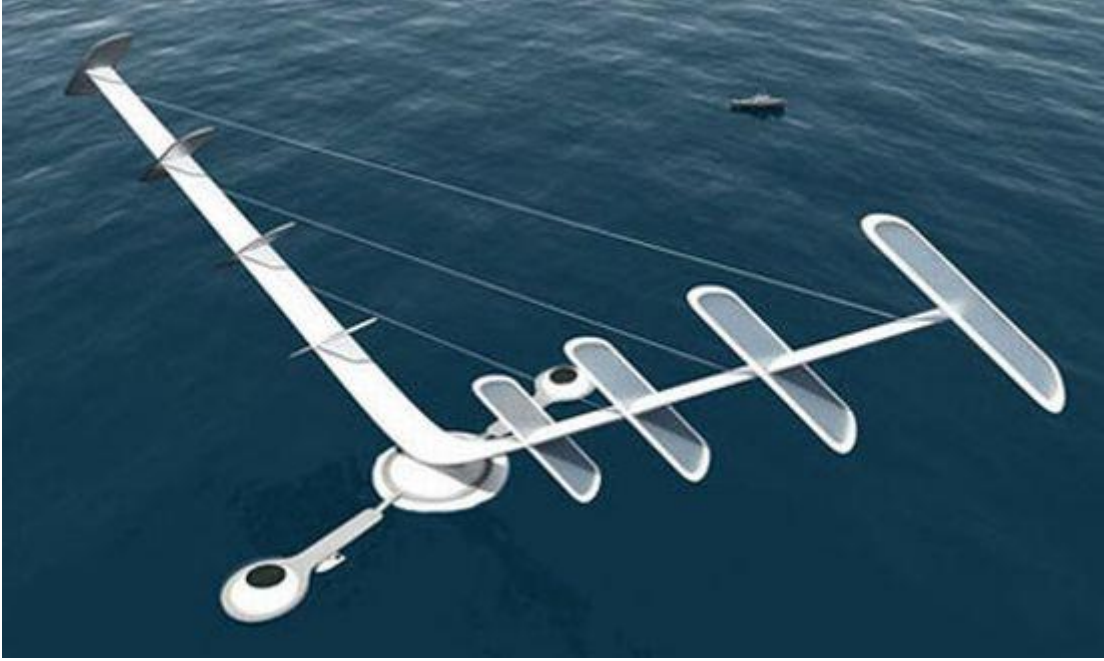
Yaklaşık 112 metre çapındaki her bir mercek, ortalama bir evin ihtiyaç duyduğu yeterli enerjiyi karşılayabilecek. Ayrıca sistem benzersiz altıgen özelliği sayesinde, geleneksel türbinlerin manzara üzerinde çirkin bir görüntü oluşturduğunu iddia eden birçok eleştirinin sempatisini kazanabilir.

Olası Problemler

Sistem düşük bir maliyetle yenilenebilir enerji sağlamayı vaat etmesine rağmen, rüzgar durumlarının yönleri ve şiddetlerindeki farklılıklar nedeniyle platformun Japonya hariç diğer ülkelere kurulması zor olabilir.

Aerogenerator

İskoç firma WindPower'ın geliştirdiği Aerogenerator, dev bir döner yıkama hattına benziyor. 144 metre yüksekliğindeki V şeklindeki yapı, daha bilinen rüzgâr türbinleri tasarımlarının yatay millerine karşılık olarak, güç üretmek için dönen dikey bir mil aracılığıyla offshore yerlere monte edilebilir.



Ne Fark Yaratacak?

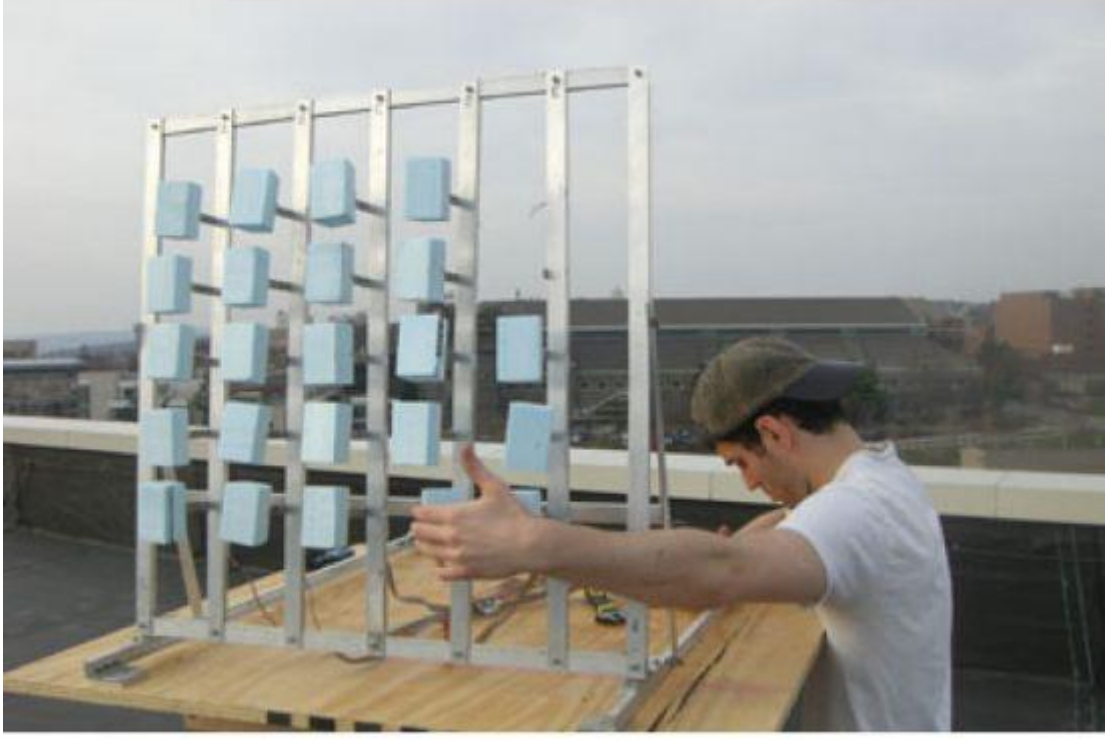
Aerogenerator'un tasarımcıları, sistemin sadece 9 MW'a kadar yenilenebilir elektrik üretmekle kalmayacağını, ayrıca sıradan yatay eksenli rüzgâr türbinleri için gerekli her zamanki dişli mekanizmalara gerek kalmadan, her yönden gelen rüzgârı toplama özelliğine sahip olacağını da iddia ediyorlar. Ayrıca tasarımcılar sistemin geniş, yatay eksenli rüzgâr türbinleri ile ilgili problemlerin üstesinden geleceğini de söylüyorlar.

Olası Problemler

Türbin kanatlarının ağırlığı çok fazla olabilir. Türbinler döndüklerinde üzerlerine büyük bir yük binmiş olacak, çünkü yerçekimi kanatları yükseldikçe sıkıştırır ve alçaldıkça da uzatır. Bununla birlikte daha büyük türbinler için daha sağlam bıçaklar gerekiyor, bu da türbinin maliyetinin artması demek.

Vibro-Wind Kurulumu

Vibro-Wind Araştırma Grubu'ndan araştırmacılar, rüzgar enerjisindeki titreşimleri elektriğe dönüştüren düşük maliyetli bir yöntem geliştirdi. Sistem, bugün bir sürü bina çatısında yer alan güneş panellerine benziyor. Araştırmacılar, en hafif bir esintiden bile üreteceği enerjiyi depo edecek olan Vibro-Wind panellerinin yakında binalarda yerini almasını umuyor.



Ne Fark Yaratacak?

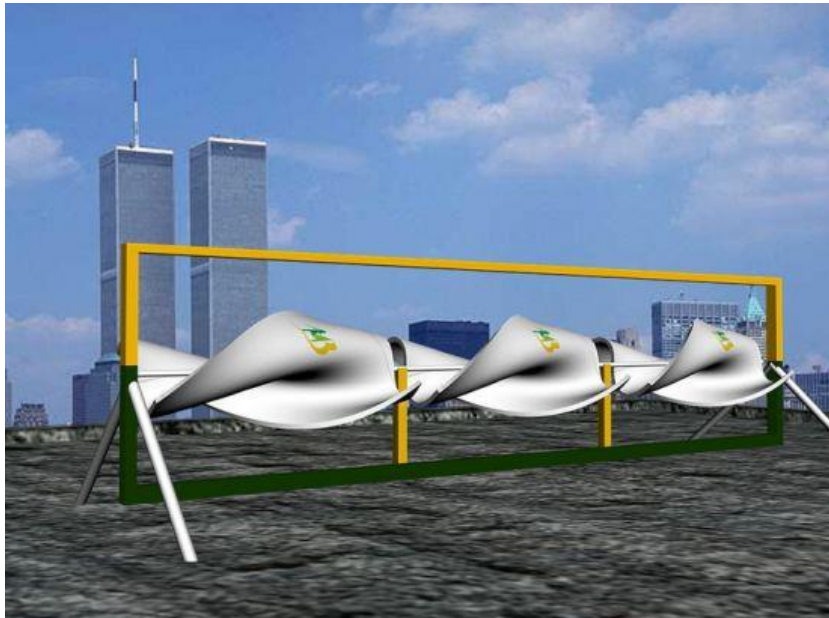
Geleneksel rüzgâr enerjisi toplama sistemleri geniş, pahalı türbinlerin kullanımını gerektirirken, Vibro-Wind kurulumu çok az alana ve daha az maliyete ihtiyaç duyuyor. Ayrıca kurulum, rüzgârın kendisi yerine rüzgârın oluşturduğu titreşimlerden elektrik üretiyor, bu da kurulumun verimliliğini artıran en büyük etken.

Olası Problemler

Geliştirici ekip, hala bu enerji toplayıcı panelleri binaların içine entegre etmek için çalışıyor. Kurulumla ilgili sorunlar bittiğinde, sistemin ne kadar enerji üretebileceğini görmek güzel olacak.

2.4.3. Geleceğin Rüzgâr Türbinlerinde Yeni Tasarımlar için Biyobenzetim

Yakın gelecekte Biyobenzetim ve Nanoteknoloji ile yeni, daha verimli ve mukavemetli türbinler elde edilebilecektir. Son yıllarda yatay ve düşey rüzgâr türbinlerinin üstün yönlerini birleştirecek yeni tasarımlar göze çarpmaktadır. Biyobenzetim yolu ile tasarlanan ve hibrit bir tasarıma sahip türbin yapısının tasarım resmi aşağıdaki gibidir;

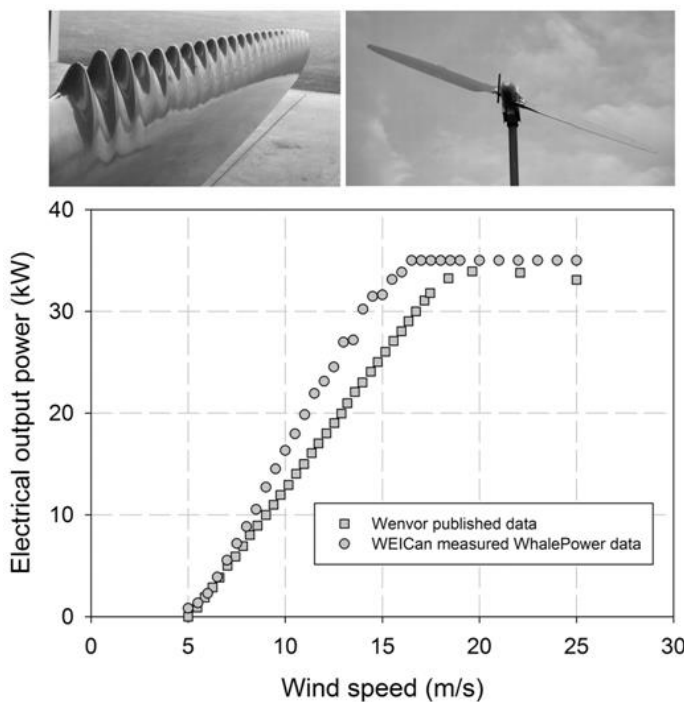


Böyle bir türbin binaların çatılarına seri biçimde yerleştirilebilir. Yapılan çalışmalarda en iyi verimde türbinin çalışması için çatı tasarımının oval bir yüzey şeklinde olması gerektiği tespit edilmiştir. Türbinin maliyeti yatay türbinlere oranla çok düşüktür ve ileri teknoloji gerekmeden üretimi yapılabilir. Çok Düşük rüzgâr hızların da çalışması mümkün olduğundan ve diğer düşey tip türbinlere göre yüksek hızlardaki titreşimin çok daha az olması sebebiyle çok kullanışlıdır. Bu tip tasarımların uygulamadaki kullanımlarına örnek olarak aşağıdaki resim verilebilir;



Şekil 15. Otoban için Türbin Tasarımı

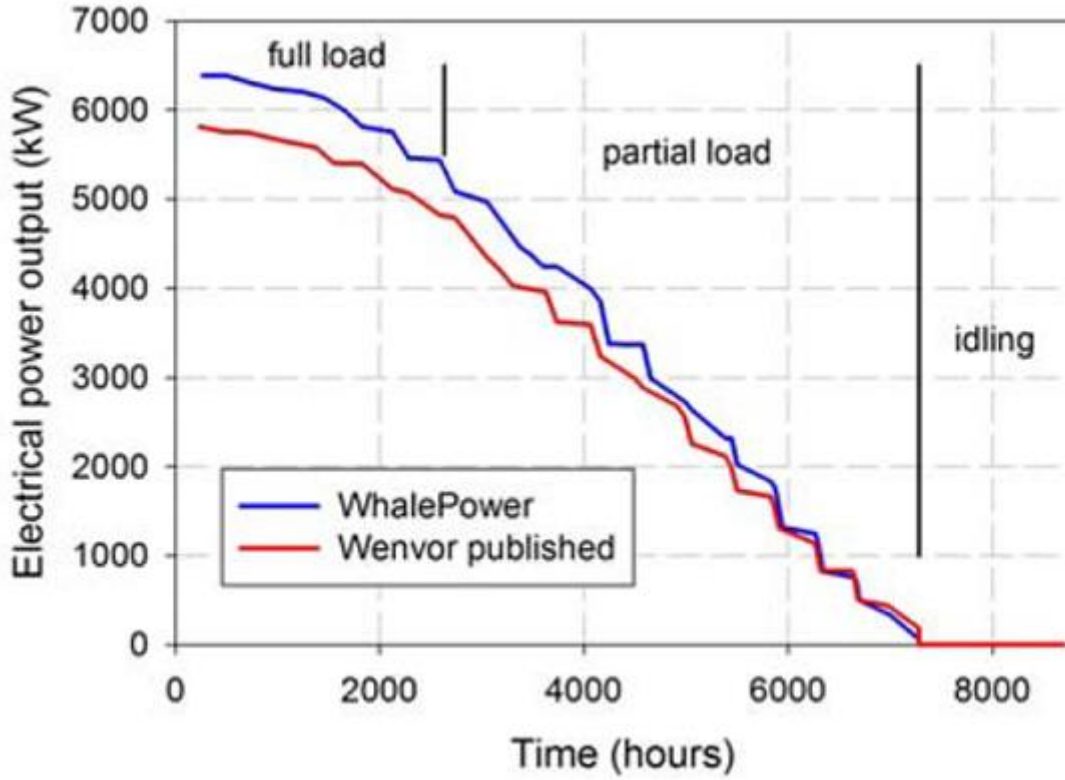
Rüzgâr Enerjisinde Yenilikçi Bir Teknoloji Kambur Balinalar



Şekil 16. Balina Sırtı Tasarımı

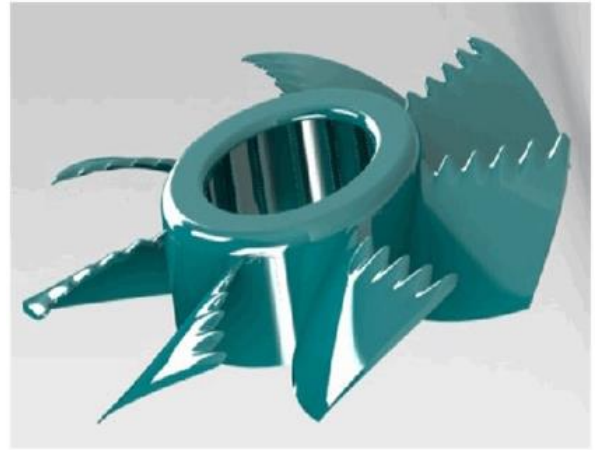
Araştırmaların ilk meyvesi 2008 yılının ilk yarısında Kanada Rüzgâr Enerjisi Enstitüsünde (WeICan) alındı. Yeni tasarım, 5 metrelik tüberküllü kanatlara sahip olan bir rüzgâr türbinin maksimum güce 12.5 m/s hızda ulaştığı tespit edildi. Oysa daha önce kullanılan klasik kanatların bu hızla ancak 15 m/s hızda ulaşabilmektedir. Bu da yıllık olarak yüzde yirmiye yakın bir verimlilik artışına denk gelmektedir. Yan tarafta Kanada'da testlerde kullanılan tüberküllü kanat görülüyor. Yapılan testlerde tüberküllü kanadın ürettiği elektrik enerjisinin klasik modelden daha fazla olduğu görülmekte.

Tüberkül teknolojisinde türbinden yararlanılan saat sayısı klasik modelden daha fazla bu özellik bu teknolojinin rüzgar hızı düşük yerlerde bile kullanılabileceğini gösteriyor.



Şekil 17. Zamana Bağlı olarak Elektriksel Çıkış Gücü

Rüzgâr tüneli testlerine göre tasarlanmış bir yeni nesil bir pervane. Bu pervaneler geleneksel modellere göre daha fazla hava çeviriyor ve daha az enerji kullanıyor.



Şekil 18. Tüberkül teknolojisiyle üretilmiş Pervaneler

Yine tüberkül teknolojisiyle üretilmiş bilgisayar fanı yapılan ölçümlerde verimliliğin %11'e kadar arttığı tespit edilmiştir.

Rüzgâr enerjisi şüphesiz gelecek yüzyılın en önemli enerji kaynaklarından biri olmaya aday. Bu enerji türünün daha verimli, ucuz ve yaygın olarak kullanılması dünyamız için oldukça önemli. Tüberkül teknolojisi uygulanabilirliği ve verimliliği ile gelecek için umut vaat eden çözümler arasında. Öte yandan bu teknolojinin bilgisayar fanlarından dizel motorlara kadar geniş bir yelpazede kullanılmasının amaçlanması bu teknolojinin tahmin ettiğimizden çok daha hızlı gelişebileceğini gösteriyor. [ASME, Mechanical Engineering, Sayı 5, Mayıs, 2011]

2.5. Güneş Enerjisi Potansiyeli

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile (hidrojen gazının helyuma dönüşmesi) açığa çıkan ışıma enerjisidir. Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, yaklaşık olarak 1370 W/m^2 değerindedir, ancak yeryüzüne ulaşan miktarı atmosferden dolayı $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir. Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip olması bakımından çok şanslıdır.

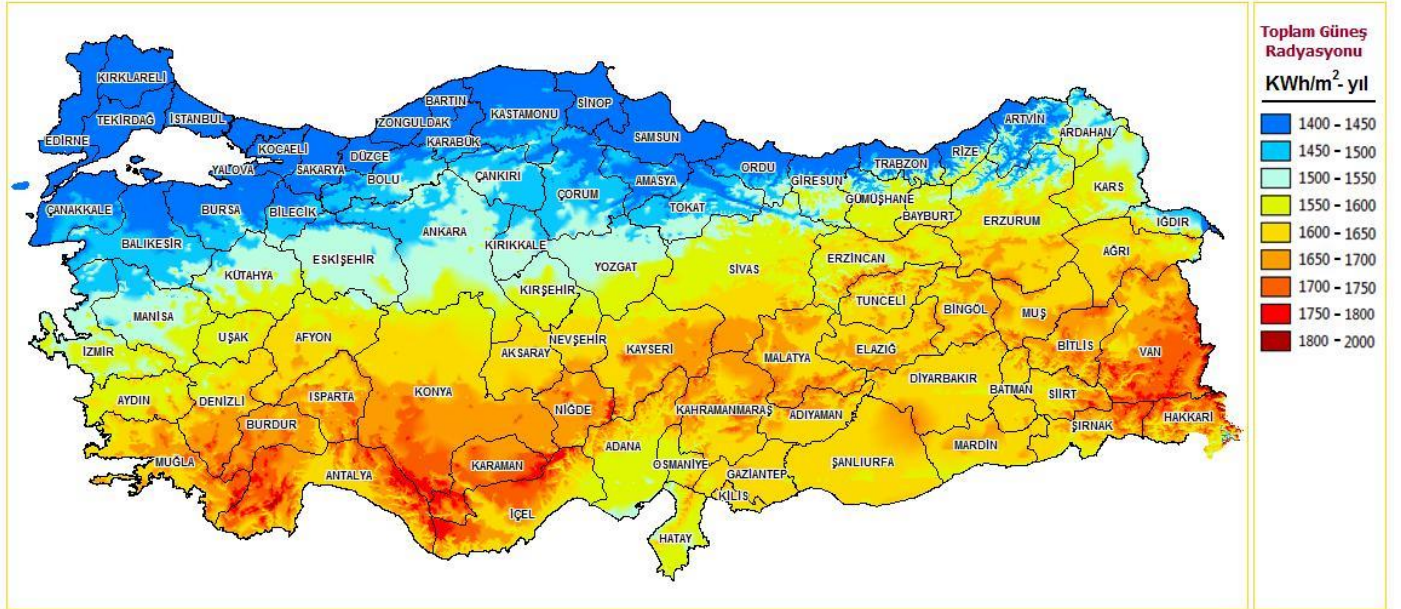
Isıl Güneş Teknolojileri ve Odaklanmış Güneş Enerjisi (CSP): Güneş enerjisinden ısı elde edilen bu sistemlerde, ısı doğrudan kullanılabilirliği gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir.

Güneş Hücreleri: Fotovoltaik güneş elektrliği sistemleri de denilen yarıiletken malzemeler güneş ışığını doğrudan elektrliğe çevirirler.

Ülkemizde 2012 yılı itibari ile toplam kurulu güneş kolektör alanı yaklaşık $18.640.000 \text{ m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Yıllık düzlemsel güneş kolektörü üretimi $1.164.000 \text{ m}^2$, vakum tüplü kolektör ise 57.600 m^2 olarak hesap edilmiştir. Üretilen düzlemsel kolektörlerin %50'si, vakum tüplü kolektörlerin tamamı ülke içerisinde kullanıldığı bilinmektedir. 2012 yılında güneş kolektörleri ile yaklaşık olarak 768.000 TEP (Ton Eşdeğer Petrol) ısı enerjisi üretilmiştir. Üretilen ısı enerjisinin, 2012 yılı için konutlarda kullanım miktarı 500.000 TEP, endüstriyel amaçlı kullanım miktarı 268.000 TEP olarak hesaplanmıştır.

Fotovoltaik sistemlerin kullanımının yaygınlaşması için gerekli olan 5346 sayılı yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunu 29.12.2010 yılında revize edilmiş ve 2013 de mevzuat çalışmaları tamamlanmıştır. Son yıllarda fotovoltaik sistemlerin maliyetlerin düşmesi ve verimliliğin artması ile de yaygın kullanım olacağı beklenmektedir.

Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli



Şekil 19. Türkiye GEPA Haritası

2.5.1. Güneş Enerjisi Teknolojileri

Yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermekle birlikte iki ana gruba ayrılabilir:

Fotovoltaik Güneş Teknolojisi: Fotovoltaik hücreler denen yarı-iletken malzemeler güneş ışığını doğrudan elektrliğe çevirirler.

Isıl Güneş Teknolojileri: Bu sistemlerde öncelikle güneş enerjisinden ısı elde edilir. Bu ısı doğrudan kullanılabilirliği gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir.

2.5.1.1. Fotovoltaik Hücreler

Güneş hücreleri (fotovoltaik hücreler), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş hücreleri alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0,1- 0,4 mm arasındadır.

Güneş hücreleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Hücrenin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir.

Güneş enerjisi, güneş hücresinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 30 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş hücresi birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş hücresi modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç Watt'tan MEGA Watt'lara kadar sistem oluşturulur.

Laboratuvarlarda ulaşılan en yüksek hücre verimleri 1 cm 2 'lik hücre alanı için:

Kristalsi güneş hücresi için: %24.5

Polikristalsi : %19.8

Amorfsi : %12.7

Çok Katlı Güneş Hücreleri : %40

Son Yıllarda Üzerinde Çalışılan Güneş Pilleri

Ticari ortama girmiş olan geleneksel Si güneş hücrelerinin yerini alabilecek verimleri aynı ama üretim teknolojileri daha kolay ve daha ucuz olan güneş hücreleri üzerinde de son yıllarda çalışmalar yoğunlaştırılmıştır.

Bunlar; fotoelektrokimyasal çok kristalli Titanyum Dioksit hücreler, polimer yapılı Plastik hücreler ve güneş spektrumunun çeşitli dalga boylarına uyum sağlayacak şekilde üretilen enerji bant aralığına sahip Kuantum güneş hücreleri gibi yeni teknolojilerdir.



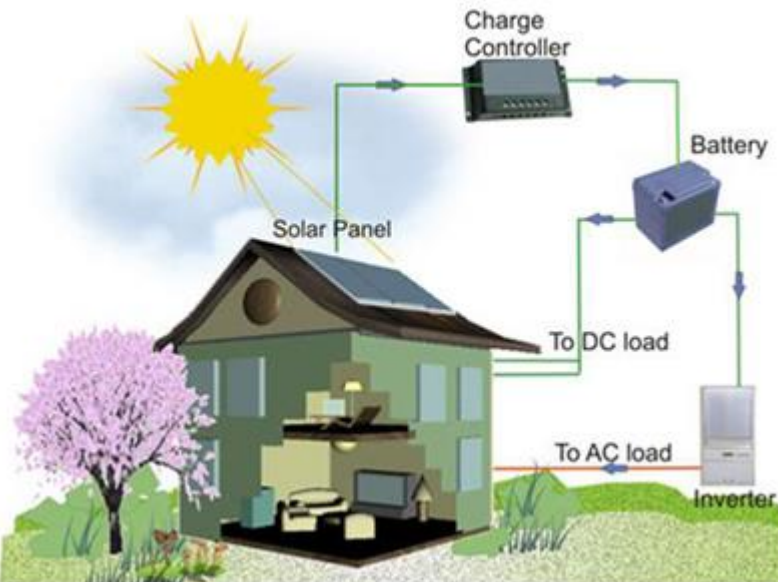
Güneş Pili



Fotovoltaik Model

Fotovoltaik Sistemler

Güneş hücreleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Fotovoltaik modüller uygulamaya bağlı olarak, akümülatörler, invertörler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir fotovoltaik sistemi oluştururlar. Bu sistemler, geçmiş zamanlarda sadece yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımanın zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırken, artık şebeke bağlantısı olan yerleşim yerlerinde de şebeke bağlantılı olarak evlerin çatılarına ve büyük ölçekli santral uygulamalarında da kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Bunun dışında dizel jeneratörler ya da başka güç sistemleri ile birlikte karma olarak kullanılmaları da mümkündür.



Şebekeden bağımsız sistemlerde yeterli sayıda fotovoltaik modül, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör bulundurulur. Fotovoltaik modüller gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu akümülatörde depolar, yüke

gerekli olan enerji akümülatörden alınır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi ise akünün durumuna göre, ya fotovoltaik modüllerden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir invertör (DC-AC Dönüştürücü) eklenerek akümülatördeki DC gerilim, 220 V, 50 Hz.lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli destek elektronik devreler sisteme katılabilir. Bazı sistemlerde, fotovoltaik modüllerin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici cihazda bulunur.

Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler yüksek güçte, santral boyutunda sistemler şeklinde olabileceği gibi daha çok görülen uygulaması binalarda küçük güçlü kullanım şeklindedir. Bu sistemlerde örneğin bir konutun elektrik gereksinimi karşılanırken, üretilen fazla enerji elektrik şebekesine verilir, yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alınır. Böyle bir sistemde enerji depolaması yapmaya gerek yoktur, yalnızca üretilen DC elektriğin, AC elektriğe çevrilmesi ve şebeke uyumlu olması yeterlidir.

Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik Sistemler

Silisyum bazlı düzlemsel fotovoltaik malzemeden oluşan hücre yüzeyine çarpan güneş ışığı, elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu sistemlerde kullanılan malzeme ve hücre alanı büyük, verim düşüktür bu da maliyeti artırmaktadır. Silisyum olmayan ince film veya CPV (yoğunlaştırıcı fotovoltaik) teknolojileri ile silisyum veya diğer yarıiletken malzemenin kullanımını azaltmak mümkündür. Böylece, fosil yakıtlardan oluşan geleneksel şebeke elektriği ile güneş santral sistemlerinin ürettiği elektrik rekabet edebilecektir. İnce film teknolojilerinin üretimi ucuz olmasına rağmen, daha nadir kullanılması ve kaynak malzemenin (Ga, In gibi) pahalı olması, verimli ve güvenilir olmalarına rağmen, yaygın kullanımını kısıtlamaktadır.



Diğer yandan, CPV teknolojisi, daha az malzeme kullanılması dolayısıyla daha düşük fiyat, yüksek verim ve daha etkin pratik bir yol sunmaktadır. Optik yoğunlaştırıcılar (CPV), güneş ışınlarını çok küçük bir alan kaplayan (1 cm^2) hücrenin üzerine odaklar ve güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. CPV teknolojilerinde pahalı olmayan aynalar ve mercekler gibi optik malzemeler kullanılır.

CPV yoğunlaştırıcıdaki ışığın odaklandığı hedef alana bir PV yarıiletken malzeme yerleştirilir, diğer düzlemsel güneş hücrelerine göre daha küçük alana merceklerle sağlanan daha yüksek yoğunluktaki ışık ışınlarının düşürülmesi ile daha yüksek verimde enerji üretimi sağlanmaktadır. Burada kullanılan PV malzeme Si dan 10 kat daha pahalı olmasına rağmen yüksek verim ve az malzeme kullanımından dolayı toplam maliyet daha düşük olmaktadır.

CPV sisteminde kullanılan çok eklemli güneş hücreleri, dönüşüm veriminin artmasına yardımcı olmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalara göre; çok eklemli güneş hücrelerinin kullanılmasıyla verimi % 40 'a ulaşmıştır. Bu çok eklemli PV sistemler, güneş spektrumunun önemli bir kısmını kullanarak, gelen güneş enerjisini daha verimli bir şekilde elektrik enerjisine dönüştürmektedirler.



Concentrix

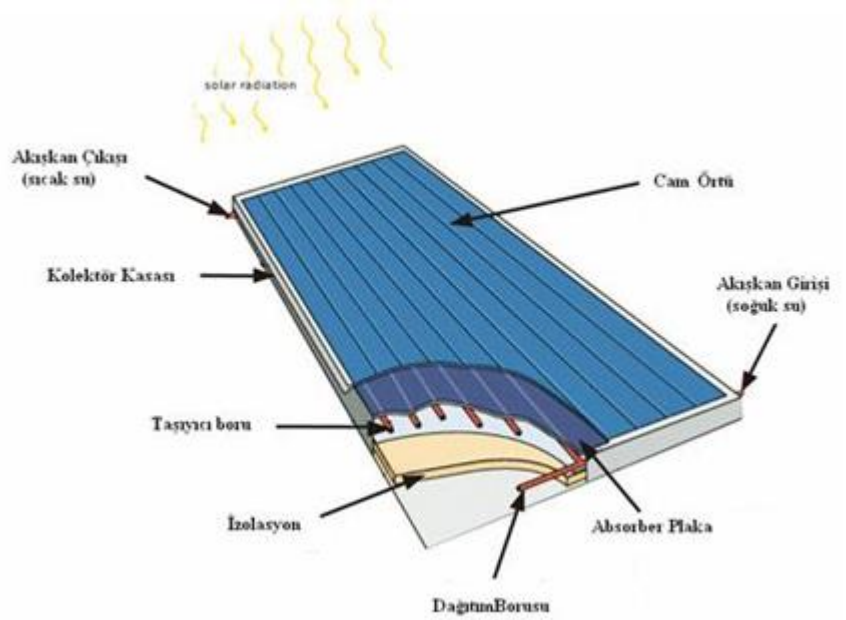
Yandaki resimde geleneksel PV modülden daha küçük, ince, düzlemsel, yüksek performanslı ve düşük fiyatlı bir CPV modül örneği görülmektedir. Bu CPV modüllerin düzlemsel PV ler ile karşılaştırıldığında avantajları:

- Verilen bir alana düşen güneş enerjisinden üretilen aynı miktardaki enerji için, diğer PV sistemlere göre aktif yarıiletken malzemenin maliyeti 1/1000 i kadardır.
- Güneşten üretilen elektriğin fiyatı günümüzde kullanılanın yarısından azdır.
- Düzlemsel PV 'nin veriminin iki katı verime sahiptir.

2.5.1.2. Isıl Güneş Teknolojileri

A-) Düşük Sıcaklık Sistemleri

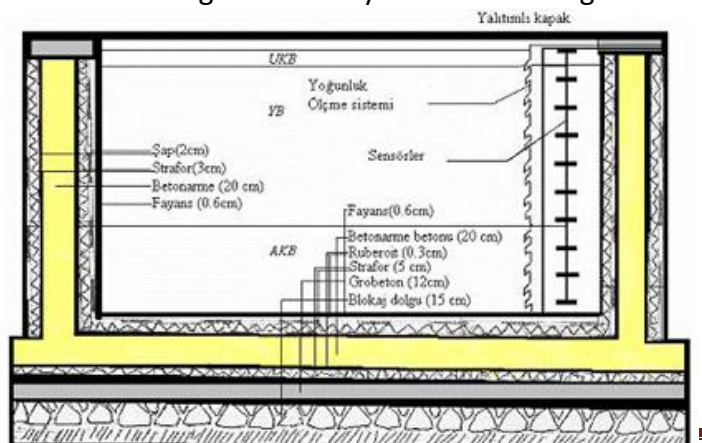
Düzlemsel Güneş Kolektörleri: Güneş enerjisini toplayan ve bir akışkana ısı olarak aktaran çeşitli tür ve biçimlerdeki aygıtlardır. En çok evlerde sıcak su ısıtma amacıyla kullanılmaktadır. Ulaştıkları sıcaklık 70°C civarındadır. Düzlemsel güneş kolektörleri, üstten alta doğru, camdan yapılan üst örtü, cam ile absorban plaka arasında yeterince boşluk, metal veya plastik absorban plaka, arka ve yan yalıtım ve bu bölümleri içine alan bir kasadan oluşmuştur. Absorban plakanın yüzeyi genellikle koyu renkte olup bazen seçiciliği artıran bir madde ile kaplanır. Kolektörler, yönenin enlemine bağlı olarak güneşi maksimum alacak şekilde, sabit bir açıyla yerleştirilirler. Güneş kolektörlü sistemler tabii dolaşimli ve pompalı olmak üzere ikiye ayrılır. Bu sistemler evlerin yanında, yüzme havuzları ve sanayi tesisleri için de sıcak su sağlanmasında kullanılır. Bu konudaki Ar-Ge çalışmaları sürmekle birlikte, bu sistemler tamamen ticari ortama girmiş durumdadırlar. Dünya genelinde kurulu bulunan güneş kolektörü alanı 30 milyon m²'nin üzerindedir. En fazla güneş kolektörü bulunan ülkeler arasında Çin, ABD, Japonya, Avustralya İsrail ve Yunanistan yer almaktadır. Türkiye 18 milyon m² kurulu kolektör alanı ile dünyanın önde gelen ülkelerinden biri konumundadır.



Vakumlu Güneş Kolektörleri: Bu sistemlerde, vakumlu cam borular ve gerekirse absorban yüzeyine gelen enerjiyi artırmak için metal ya da cam yansıtıcılar kullanılır. Bunların çıkışları daha yüksek sıcaklıkta olduğu için (100- 120°C), düzlemsel kolektörlerin kullanıldığı yerlerde ve ayrıca yiyecek dondurma, bina soğutma gibi daha geniş bir yelpazede kullanılabilirler.



Güneş Havuzları: Yaklaşık 5- 6 metre derinlikteki suyla kaplı havuzun siyah renkli zemini, güneş ışınımını yakalayıp 90°C sıcaklıkta sıcak su elde etmeye kullanılır. Havuzdaki ısıtımın dağılımı suya eklenen tuz konsantrasyonu ile düzenlenir, tuz konsantrasyonu en üstten alta doğru artar. Böylece en üstte soğuk su yüzeyi bulursa bile havuzun alt kısmında doymuş tuz konsantrasyonu bulunan bölgede sıcaklık yüksek olur. Bu sıcak su bir eşanjöre pompalanarak ısı olarak yararlanılabileceği gibi Rankin çevrimi ile elektrik üretiminde de kullanılabilir. Güneş havuzları konusunda en fazla İsrail'de çalışma ve uygulama yapılmıştır. Bu ülkede 150 kW gücünde 5 MW gücünde iki sistemin yanında Avustralya'da 15 kW ve ABD'de 400 kW gücünde güneş havuzları bulunmaktadır.

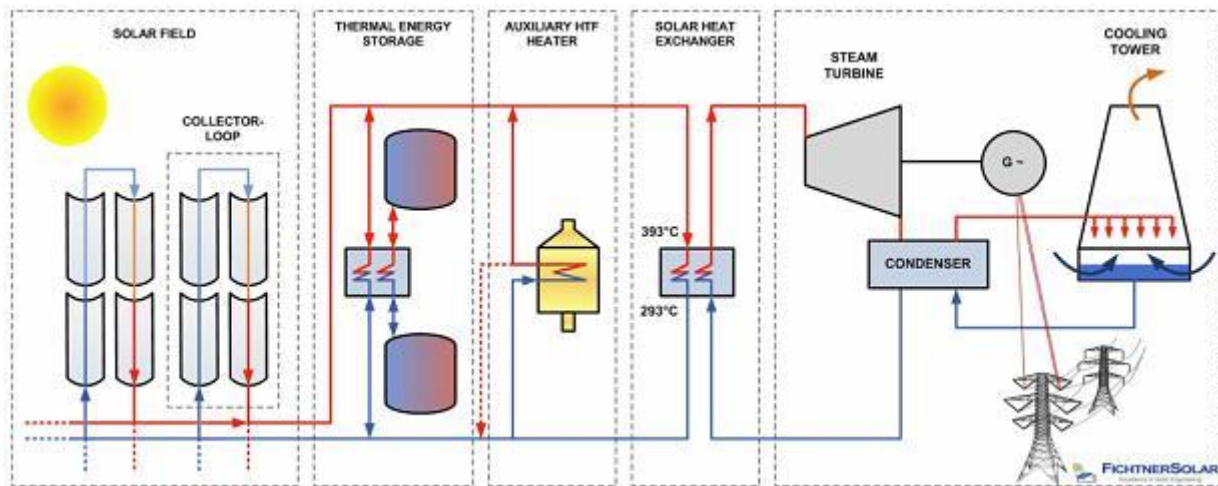




Güneş Bacaları: Bu yöntemde güneşin ısı etkisinden dolayı oluşan hava hareketinden yararlanılarak elektrik üretilir. Güneşe maruz bırakılan şeffaf malzemeye kaplı bir yapının içindeki toprak ve hava, çevre sıcaklığından daha çok ısınacaktır. Isınan hava yükseleceği için, çatı eğimli yapılar, hava akışı çok yüksek bir bacaya yönlendirilirse baca içinde 15 m/sn hızda hava akışı-rüzgâr oluşacaktır. Baca girişine yerleştirilecek yatay rüzgâr türbini bu rüzgârı elektriğe çevirecektir. Bir tesisin gücü 30-100 MW arasında olabilir. Deneysel bir kaç sistem dışında uygulaması yoktur.

B-)Yoğunlaştırıcı Sistemler

Parabolik Oluk Kolektörler: Parabolik güneş kolektörleri diğer termoelektrik teknolojilerine göre en yaygın kullanılan teknolojidir. Kolektörler, kesiti parabolik olan yoğunlaştırıcı dizilerden oluşur. Kolektörün iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş enerjisini, kolektörün odağında yer alan ve boydan boya uzanan siyah bir absorban boruya odaklarlar. Kolektörler genellikle, güneşin doğudan batıya hareketini izleyen tek eksenli bir izleme sistemi üzerine yerleştirilirler. Enerjiyi toplamak için absorban boruda ısı transfer akışkanı olarak ısı transfer yağı kullanılmakla birlikte, çevreye zarar vermeyen ve daha ucuz olan suyun kullanılmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir. Toplanan ısı, elektrik üretimi için enerji santraline gönderilir. Bu sistemlerde yüksek yoğunlaştırma kapasitesi sayesinde yüksek sıcaklıklara (350- 400°C) ulaşılmaktadır. MW başına maliyet yaklaşık olarak 5 Milyon € olup 35000 m²/MW alan gerekmektedir. Doğrusal yoğunlaştırıcı termal sistemler ticari ortama girmiş olup, bu sistemlerin en büyük ve en tanınmış olanı 354 MW gücündeki Kramer&Junction eski Luz International santralidir.



Şekil 20. Parabolik Oluk Kolektörler



Parabolik Çanak Sistemler: İki eksenli güneşi takip ederek, sürekli olarak güneş ışınlarını odak noktasına yoğunlaştırırlar. Termal enerji, odaklama bölgesinden uygun bir çalışma sıvısı ile alınarak, termodinamik bir dolaşıma gönderilebilir ya da odak bölgesine monte edilen bir Stirling makine yardımı ile elektrik enerjisine çevrilir. Çanak-Stirling bileşimiyle güneş enerjisinin elektriğe dönüştürülmesinde % 30 civarında verime ulaşılmaktadır.

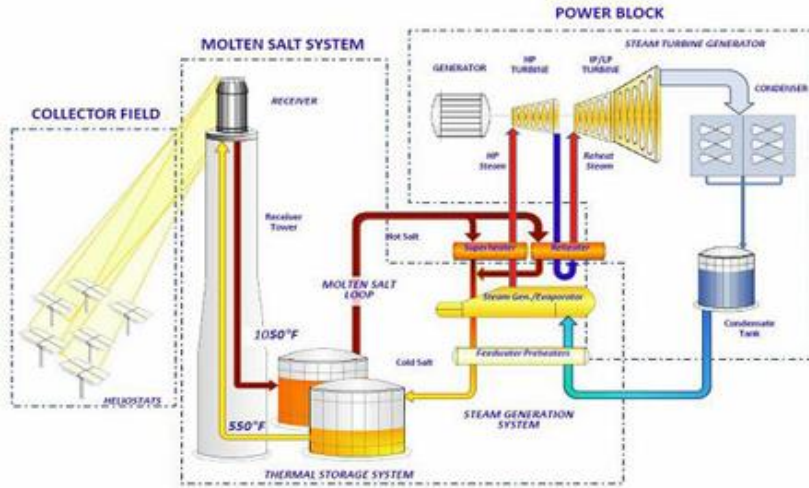
Diğer teknolojilere göre avantaj ve dezavantajları;

- Noktasal odaklama yapan bu teknolojiye termik kayıp yoktur.
- Güneş yoğunlaştırma oranları yaklaşık olarak parabolik olukta 80 ve kule teknolojisinde 1000 iken, bu teknolojiye 15000'dir.
- Özel bir Stirling motor kullanılmaktadır. Az üretilen bu motor, içinde receiver ve içi helyum ve hidrojen dolu tüpleri bulundurmaktadır.
- 10 kW için 1 milyon €'luk yatırım maliyeti ile oldukça pahalı bir teknolojidir.

Merkezi Alıcı Sistemler: Tek tek odaklama yapan ve heliostat adı verilen ve 100 m2 den daha büyük yüzeye sahip aynalar, güneş enerjisini, bir kule üzerine monte edilmiş Alıcı deni (Receiver) yüksek ısı absorbe katsayısına sahip ısı eşanjörüne yansıtır ve yoğunlaştırır. Alıcıda bulunan ve içinden ısı transfer akışkanı geçen boru yumağı, güneş enerjisini üç boyutta hacimsel olarak absorbe eder. Bu sıvı, Rankine makineye pompalanarak elektrik üretilir. Bu sistemlerde ısı transfer akışkanı olarak sıvı tuz veya hava kullanılmakta ve 800°C sıcaklığa ulaşılmaktadır. Heliostatlar bilgisayar tarafından sürekli kontrol edilerek, alıcının sürekli güneş alması sağlanır. Bu sistemlerin kapasite ve sıcaklıkları, sanayi ile kıyaslanabilir düzeyde olup Ar-Ge çalışmaları devam etmektedir. MW başına maliyet yaklaşık olarak 3,5-4,5 Milyon € olup 35000 m2/MW alan

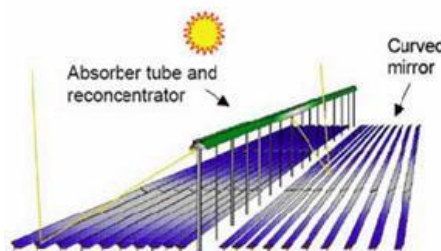


gerekmektedir. Bu sistemlerin faaliyette olanlarından en büyüğü 20 MW gücündeki İspanya'nın Sevilla şehrinde bulunan PS20 santralidir.



Fresnel Oluk Teknolojisi: Doğrusal Fresnel Oluk Teknolojisinde de parabolik oluk teknolojisi gibi doğrusal yoğunlaştırma yapılır. Parabolik oluktan farkı ise alıcı sabit bir yükseklikte olup yansıtma işlemi güneşi takip edebilen sıra sıra dizilmiş düz aynalarla gerçekleştirilir. Sistemde bulunan alıcı (receiver) yansıtıcı aynalardan yaklaşık 10 m yüksekte bulunur. Bu yükseklik, optik verimin parabolik oluk kolektörlere göre düşük olmasına neden olmaktadır. Çünkü yansıma kayıpları, ışıının dağılması nedeniyle oldukça fazladır. Buna bağlı olarak termik verim de düşük olmaktadır.

Parabolik oluk teknolojisine göre daha düşük maliyetli olan bu sistemde, receiver yüksekliğini düşürmek suretiyle verim artırılabilir, ancak bu durumda da, güneş enerjisi toplama alanı küçüleceğinden daha çok panel kullanmak



gerekecektir. Bu da, maliyeti yükseltecek bir unsurdur. Yansıtıcı aynaların bir hizada olmaları yerine, yandan boyuna bakıldığında parçalı parabolik oluklu sisteme benzer bir kesit şeklinde dizilmesiyle de verim artırılabilir.

Dünyada fresnel teknolojisi ile kurulan en büyük tesis İspanya'nın Murcia bölgesinde bulunan 31,4 MW gücündeki Puerto Errad 1+2 santralidir.

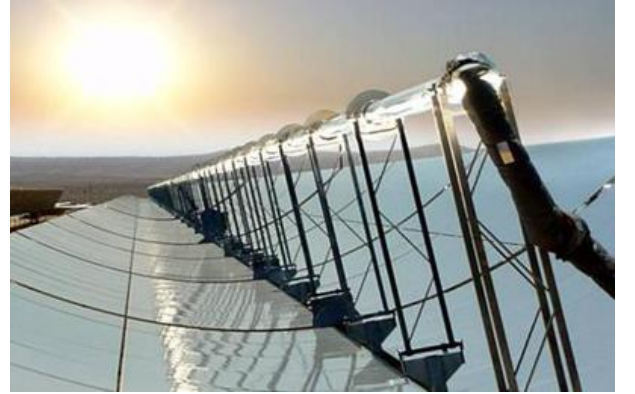
Yoğunlaştırıcı Güneş Enerjisi Sistemleri

Güneş enerjisi uygulamalarında düzlemsel güneş kolektör sistemlerinin yanı sıra daha yüksek sıcaklıklara ulaşmak için yoğunlaştırıcı kolektör sistemleri kullanılmaktadır. Düzlemsel güneş kolektörleri için kullanılan kavram ve tarifler, yoğunlaştırıcı kolektörler için de geçerlidir. Bununla birlikte yoğunlaştırıcı kolektör teknolojisinin daha karmaşık olması nedeniyle, yeni tariflerin yapılması gereklidir.

Kolektörlerde güneş enerjisinin düştüğü net alana 'açıklık alanı' ve güneş enerjisinin yutularak ısı enerjisine dönüştürüldüğü yüzeye 'alıcı yüzey' denir. Düzlemsel güneş kolektörlerinde açıklık alanı ile alıcı yüzey alanı birbirine eşittir. Yoğunlaştırıcı kolektörlerde ise güneş enerjisi, alıcı yüzeye gelmeden önce optik olarak yoğunlaştırıldığı için alıcı yüzey, açıklık alanından daha küçük olmaktadır.

Güneş enerjisini yoğunlaştıran kolektörlerde en önemli kavramlardan biri 'yoğunlaştırma oranı' dır. Yoğunlaştırma oranı; açıklık alanının alıcı yüzey alanına oranı şeklinde tarif edilir. Yoğunlaştırma oranı, iki boyutlu yoğunlaştırıcılarda (parabolik oluk) 300, üç boyutlu yoğunlaştırıcılarda (parabolik çanak) 40000 mertebesinde dir.

Doğrusal Yoğunlaştırıcılar: Parabolik oluk kolektörler, doğrusal yoğunlaştırma yapan ve kesiti parabolik olan dizilerden oluşur. Oluğun iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş enerjisini parabolğin odağında yer alan ve boydan boya uzanan siyah bir absorban boruya yansıtır. Orta derecede sıcaklık isteyen uygulamalarda kullanılan bu sistemlerde, güneş enerjisi bir doğru üzerinde yoğunlaştırılacağından tek boyutlu hareket ile güneşi izlemek yeterlidir.



Noktasal Yoğunlaştırıcılar: İki boyutta güneşi izleyip noktasal yoğunlaştırma yapan ve daha yüksek sıcaklıklara ulaşan bu tür sistemler, parabolik çanak ve merkezi alıcı olmak üzere iki gruba ayrılır.

Parabolik çanak kolektörler iki eksen de güneşi takip ederek sürekli olarak güneşi odak noktasına yoğunlaştırırlar.

Merkezi alıcı sistemde, tek tek odaklama yapan ve heliostat adı verilen düzlemsel aynalardan oluşan bir alan, güneş enerjisini, bir kule üzerine monte edilmiş ve alıcı denilen ısı eşanjörüne yansıtır. Heliostatlar bilgisayar tarafından kontrol edilerek, alıcının devamlı güneş alması sağlanır.

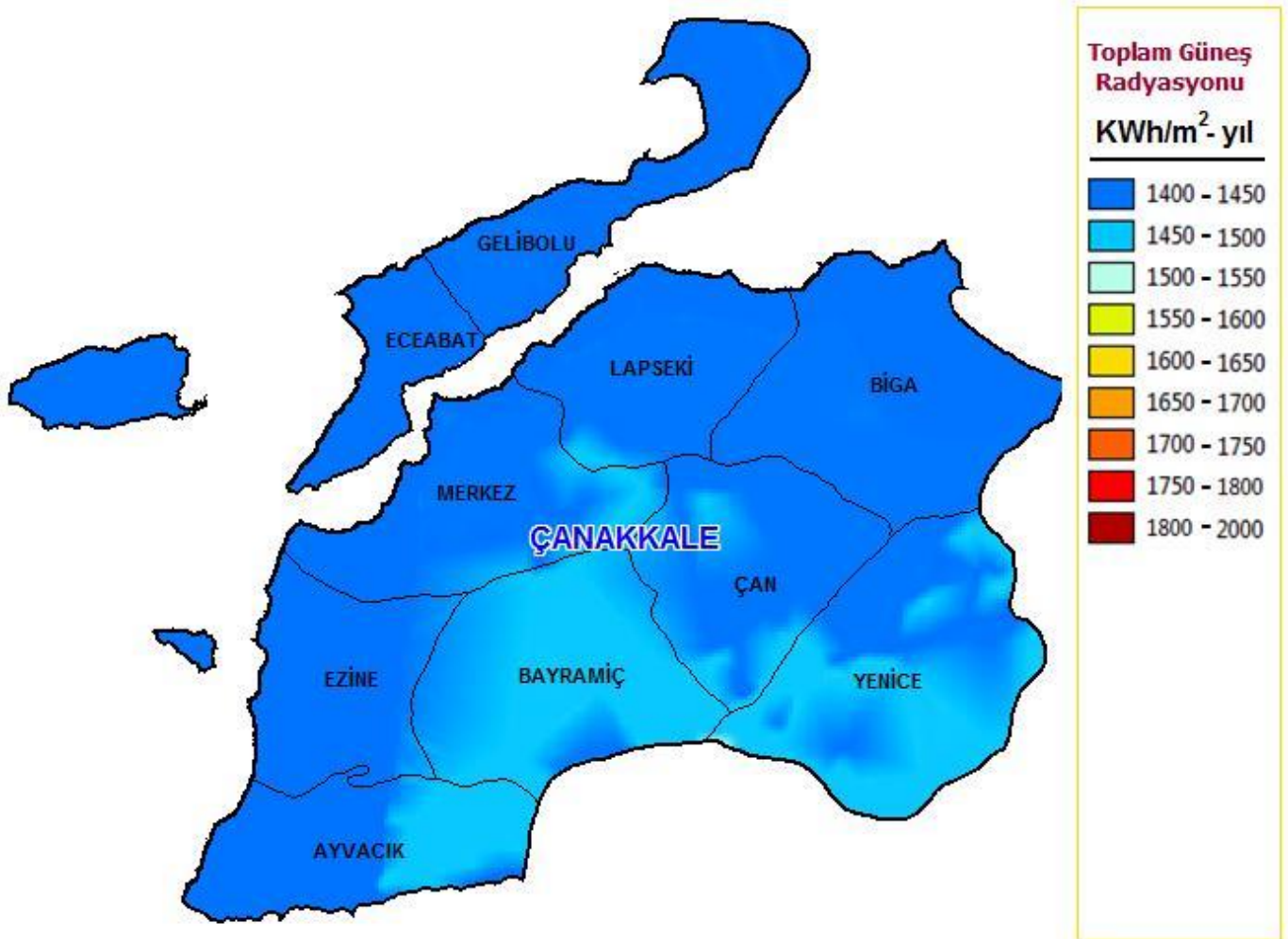
Yoğunlaştırıcı Sistemler İle Elektrik Üretimi

Bugüne kadar güneş enerjisi ile elektrik üretiminde başlıca iki sistem kullanılmıştır. Birincisi, güneş enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik sistemlerdir. Fakat son 20 yıl içerisinde fotovoltaik sistem uygulamalarının artışına rağmen, teknolojinin karmaşıklığı ve maliyetinin yüksek oluşu, geniş çapta elektrik üretimi için yetersiz olduğunu ortaya çıkarmıştır. İkinci seçenek ise, güneş enerjisinin yoğunlaştırıcı sistemler kullanılarak odaklanması sonucunda elde edilen kızgın buhardan, konvansiyonel yöntemlerle elektrik üretimidir.

Güneş termal güç santralleri, birincil enerji kaynağı olarak güneş enerjisini kullanan elektrik üretim sistemleridir. Bu sistemler temelde aynı yöntemle çalışmakla birlikte, güneş enerjisini toplama yöntemleri, yani kullanılan kolektörler bakımından farklılık gösterirler. Toplama elemanı olarak parabolik oluk kolektörlerin kullanıldığı güç santrallerinde, çalışma sıvısı kolektörlerin odaklarına yerleştirilmiş olan absorban boru içerisinde dolaştırılır. Daha sonra, ısınan bu sıvıdan eşanjörler yardımı ile kızgın buhar elde edilir. Parabolik çanak kolektörler kullanılan sistemlerde de ya aynı yöntem kullanılır ya da merkeze yerleştirilen bir motor (Stirling) yardımı ile direkt olarak elektrik üretilir. Merkezi alıcılı sistemlerde ise, güneş ışınları düzlemsel aynalar (heliostat) yardımı ile alıcı denilen ısı eşanjörüne yansıtılır. Alıcıda ısıtılan çalışma sıvısından konvansiyonel yollarla elektrik elde edilir.

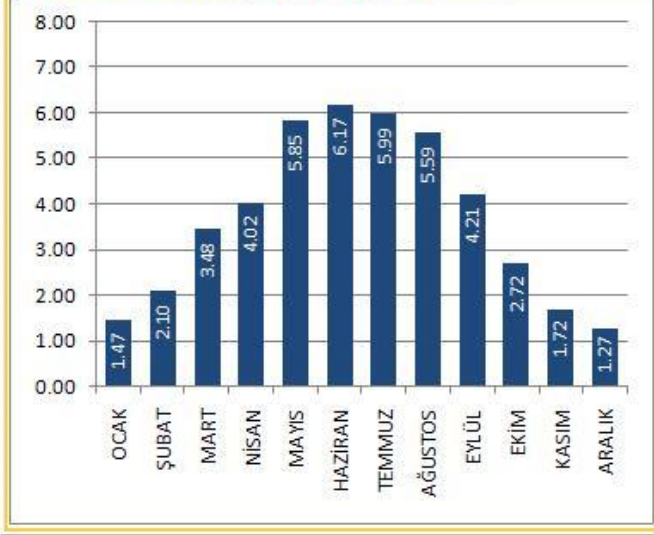
2.5.2. Körfezde Güneş Enerjisi Potansiyeli

Çanakkale İli Güneş Enerjisi Potansiyeli

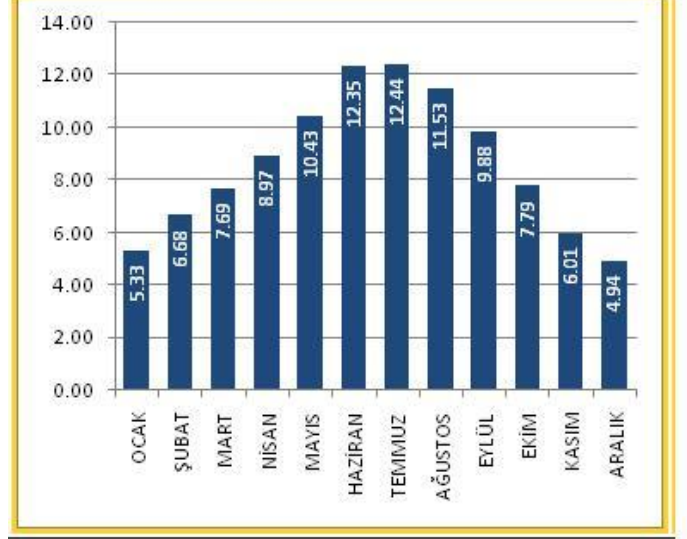


Şekil 21. Çanakkale İli Güneş Enerjisi Potansiyeli

AYVACIK Global Radyasyon Değerleri (KWh/m²-gün)

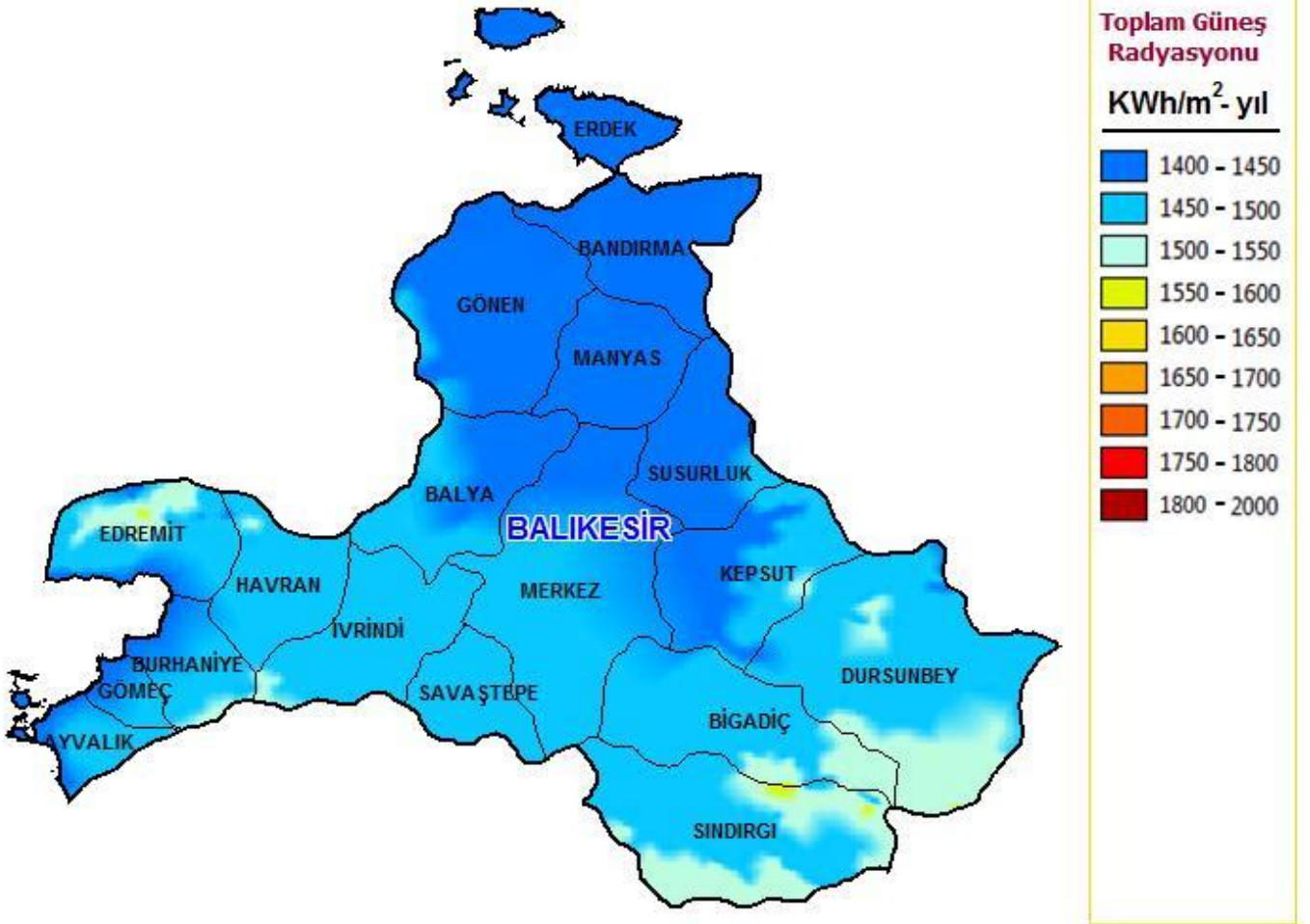


AYVACIK Güneşlenme Süreleri (Saat)



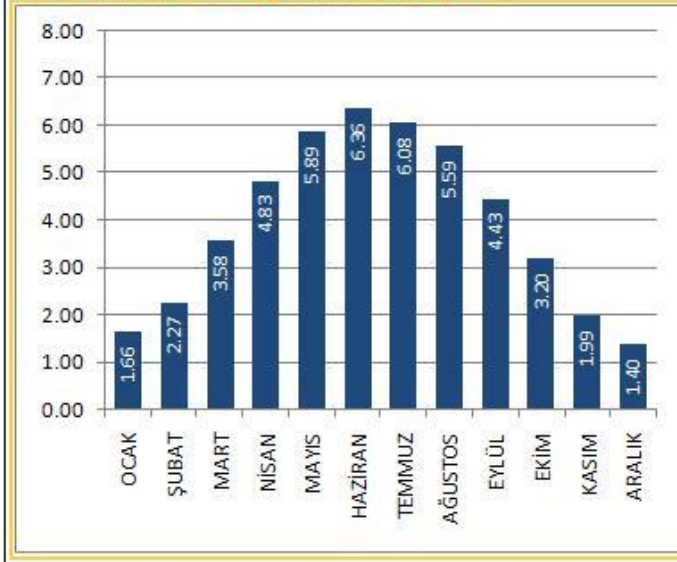
Şekil 22. Ayvacık Güneş Enerjisi Potansiyeli

Balıkesir İli Güneş Enerjisi Potansiyeli

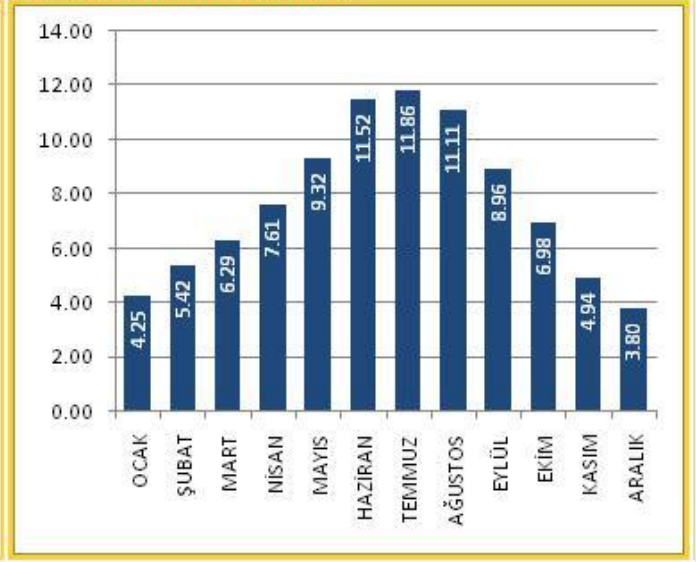


Şekil 23. Balıkesir İli Güneş Enerjisi Potansiyeli

EDREMIT Global Radvasyon Değerleri (KWh/m²-gün)

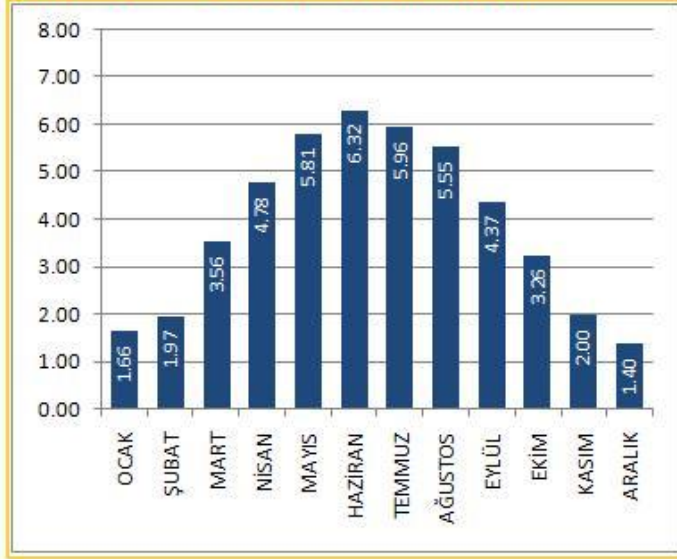


EDREMIT Güneşlenme Süreleri (Saat)

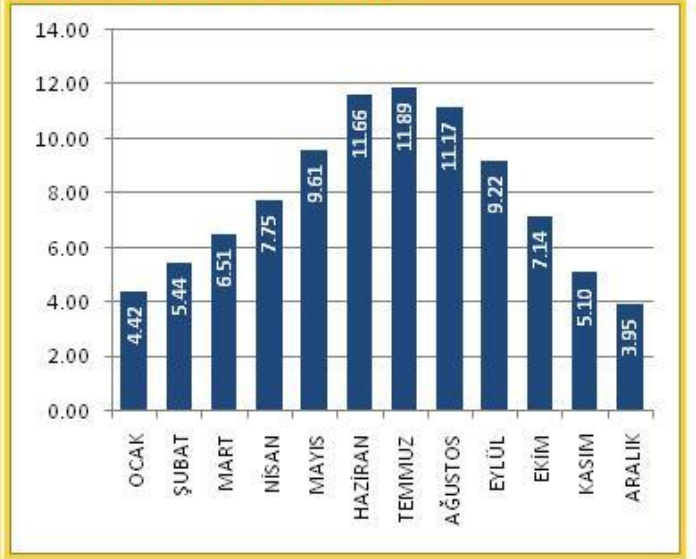


Şekil 24. Edremit Güneş Enerjisi Potansiyeli

BURHANİYE Global Radvasyon Değerleri (KWh/m²-gün)

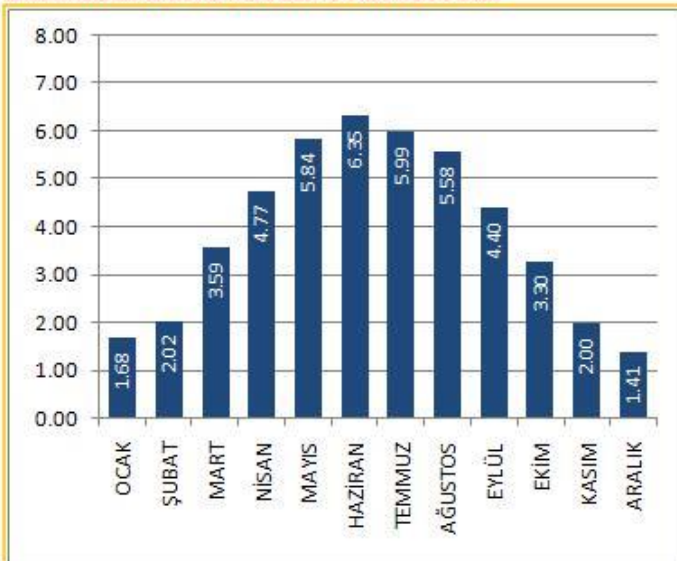


BURHANİYE Güneşlenme Süreleri (Saat)

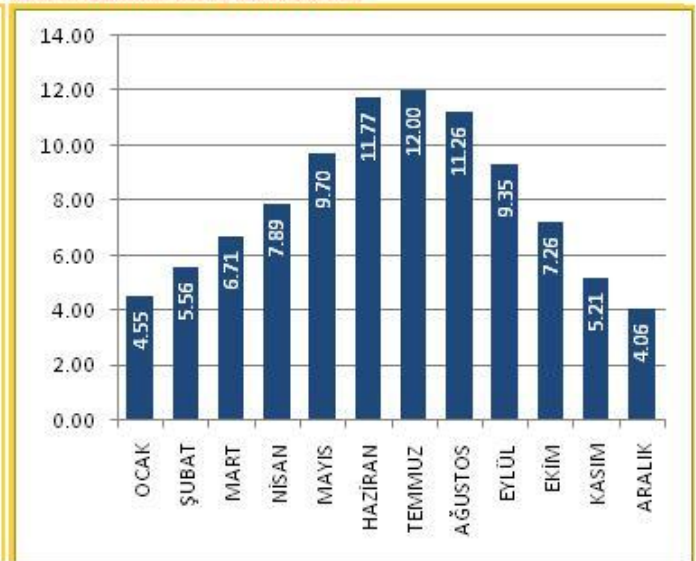


Şekil 25. Burhaniye Güneş Enerjisi Potansiyeli

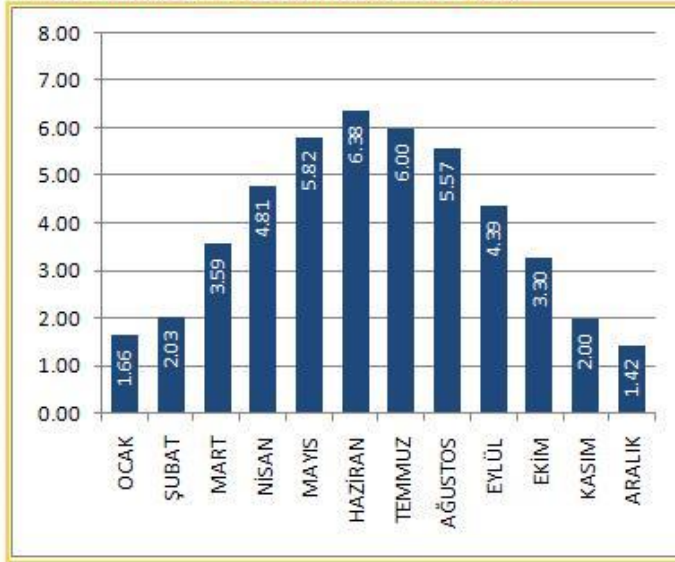
GÖMEC Global Radvasyon Değerleri (KWh/m²-gün)



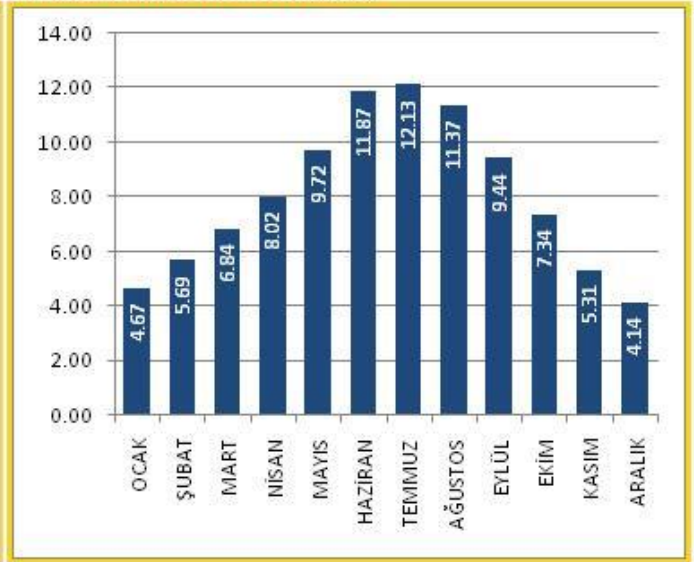
GÖMEC Güneşlenme Süreleri (Saat)



Şekil 26. Gömeç Güneş Enerjisi Potansiyeli

AYVALIK Global Radyasyon Değerleri (KWh/m²-gün)

AYVALIK Güneşlenme Süreleri (Saat)



Şekil 27. Aylık Güneş Enerjisi Potansiyeli

Edremit Körfezi Güneş Enerjisi Potansiyeli Açısından Değerlendirilmesi

* Yaz Dönemleri boyunca (Haziran-Temmuz-Ağustos-Eylül) ortalama radyasyon değerleri;

Ayvalık Bölgesi: 5.585 KWh/m² – gün

Gömeç Bölgesi: 5.58 KWh/m² – gün

Burhaniye Bölgesi: 5.55 KWh/m² – gün

Edremit Bölgesi: 5.61 KWh/m² – gün

Ayvacık Bölgesi: 5.49 KWh/m² – gün

** Körfezin Ortalama Radyasyon Değeri: 5.56 KWh/m² – gün => Aylık Enerji 5.56*30 gün = 167 KWh/m²

*** Bir ailenin aylık tüketeceği ortalama enerji tüketimi 200 KWh olarak alırsak, 1 metre karelik alan içerisinde 200-167=33 KWh fazladan enerji potansiyeli olduğunu görebiliriz.

Eğer yüksek verimli bir güneş santrali olursa bölgenin yaz aylarında enerji ihtiyacının çoğunun karşılanacağı görülmektedir. Körfez bölgesinin nüfuzu yoğunlukla tatilcilerden oluştuğundan dolayı kış aylarında puant değerler oluşmayacak ve çift yönlü sayaçlar kullanıldığı takdirde ev çatılarına yerleştirilmiş güneş panellerinde üretilen elektrik, depolanmaya gerek kalmadan devlete satılabilecek veya kullanım dönemlerinde sayaçtan düşülebilecektir. Böyle bir uygulama hem ülke ekonomisi hem de çevre için çok önemli bir kazanç sağlayacağı görülmektedir.

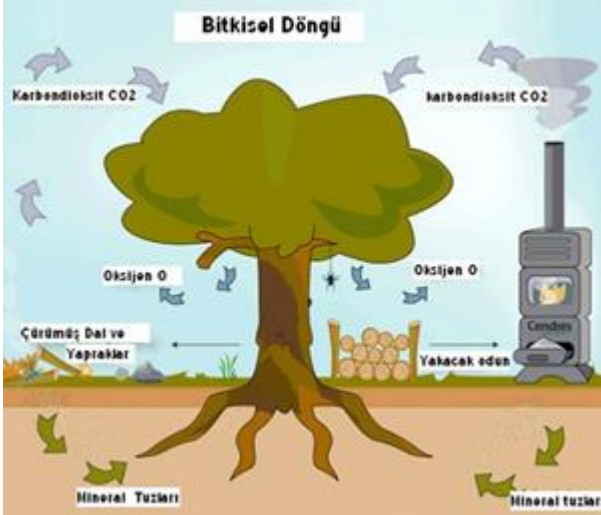
Güneş enerjisi teknolojileri diğer yenilebilir enerji sistemleri ile bütünleşik olarak çalıştırıldığında çok verimli olabilmektedirler. Rüzgâr türbinleri, PHES sistemleri gibi diğer alternatif enerji kaynakları ile eş güdümlü kullanıldığında enerjinin en çok tüketildiği puant dönemlerde sürekli enerji ihtiyacını karşılayabilirler. Ayrıca elektriğin ulaştırılmasının zor olduğu bölgelerde en önemli çözüm güneş enerjisi olarak göze çarpmaktadır.

Körfez bölgesinin enerji ihtiyacı en fazla yaz dönemlerinde olduğundan puant dönemler için kombine bir sistemin olması faydalı olacaktır. Bölgede site türünde evlerin yoğunlukta olması ve gece hayatının uzun olması nedeniyle aydınlatma önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Sitelerin ve yolların aydınlatılması için güneş sistemlerinin kullanılması uzun vadede ekonomik sonuçlar verebilmektedir. Ayrıca böyle bir sistem kurulduktan sonra çift yönlü sayaçlar sayesinde turizm sezonu olmayan dönemlerde enerji kazancı sağlanabilmektedir. Yaklaşık olarak 8 Aylık bir dönemde evlerin çatılarına yerleştirilmiş her bir fotovoltaik güneş sistemleri sayesinde, kullanılmayan dönemlerde enerji satılabilmektedir.

2.6. Biokütle Enerjisi Potansiyeli

Hızlı bir artış gösteren nüfus ve sanayileşme enerji ihtiyacını da beraberinde getirmiştir. Enerjinin çevresel kirliliğe yol açmadan sürdürülebilir olarak sağlanabilmesi için kullanılacak kaynakların başında ise biokütle enerjisi gelmektedir.

Biokütle enerjisi tükenmez bir kaynak olması, her yerde elde edilebilmesi, özellikle kırsal alanlar için sosyoekonomik gelişmelere yardımcı olması nedeniyle uygun ve önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir.



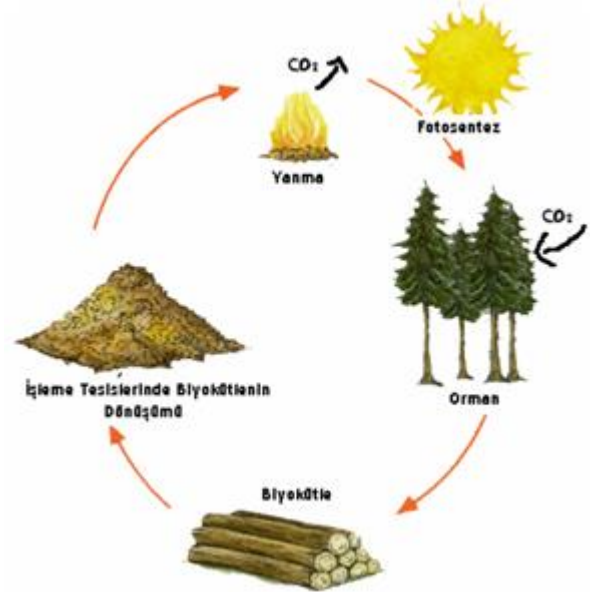
Biokütle için mısır, buğday gibi özel olarak yetiştirilen bitkiler, otlar, yosunlar, denizdeki algler, hayvan dışkıları, gübre ve sanayi atıkları, evlerden atılan tüm organik çöpler (meyve ve sebze artıkları) kaynak oluşturmaktadır. Petrol, kömür, doğal gaz gibi tükenmekte olan enerji kaynaklarının kısıtlı olması, ayrıca bunların çevre kirliliği oluşturması nedeniyle, biokütle kullanımı enerji sorununu çözmek için giderek önem kazanmaktadır.

Bitkilerin ve canlı organizmaların kökeni olarak ortaya çıkan biokütle, genelde güneş enerjisinin fotosentez yardımıyla depolayan bitkisel organizmalar olarak adlandırılır. Biokütle, bir türe veya çeşitli türlerden oluşan bir topluma ait yaşayan organizmaların belirli bir zamanda sahip olduğu toplam kütle olarak da tanımlanabilir.

Fotosentez yoluyla enerji kaynağı olan organik maddeler sentezleşirken tüm canlıların solunumu için gerekli olan oksijeni de atmosfere verir. Üretilen organik maddelerin yakılması sonucu ortaya çıkan karbondioksit ise, daha önce bu maddelerin oluşması sırasında atmosferden alınmış olduğundan, biokütleden enerji elde edilmesi sırasında çevre, CO₂ salımı açısından korunmuş olacaktır. Bitkiler yalnız besin kaynağı değil, aynı zamanda çevre dostu tükenmez enerji kaynaklarıdır.

Bitkilerin toprak altında milyonlarca yıl kalmasıyla oluşan fosil yakıtlar, aslında yukarıda tanımlanan biokütle ile aynı özellikleri taşımalarına karşın yer altındaki sıcaklık ve basınçla değişime uğradıklarından, yakıldıklarında havaya birçok zararlı madde atarlar.

Ayrıca, milyonlarca yılda oluşan bu birikimin kısa süre içinde yakılması havada ki karbondioksit dengesinin bozulmasına yol açar ve bu da küresel ısınmaya neden olur.



Biokütle Enerjisinin Avantajları

Fosil yakıt kaynakları kullanılarak yapılan enerji üretiminin çevreye zarar verdiği bilinmektedir. Artık kullanılacak olan herhangi bir enerji kaynağı çevre etkisi ile birlikte değerlendirilmektedir. Küresel çevre sorunları doğrudan doğruya tüketilen enerjiye, daha doğrusu yüksek oranda kükürt ve diğer zararlı maddeleri içeren fosil yakıt kullanımına bağlıdır. Dünyada son yüzyılda enerji tüketimi 17 kat artarken fosil yakıtlardan kaynaklanan ve atmosfere atılan CO₂, SO₂ ve NO_x gibi zararlı gazlarda aynı oranda artmıştır. Biokütlenin bölgesel ve modern işletilmesi ile özellikle enerji hatlarından uzak bölgelerde, gelişen ve kendi kendine yetecek enerjilerini de elde eden yerleşim alanları oluşturmak mümkündür. Biokütleden enerji eldesi için, daha çok tarım işçiliğine gerek duyulduğundan, biyoenerji konusu, özellikle kırsal kesimde iş alanları yaratma açısından ideal bir seçenektir. Gelişmekte olan ülkelerin karşılaştığı en büyük sorunlardan biri olan kırsal kesimden büyük şehirlere göç olayını da bu şekilde önlemek mümkün olabilir. Biokütlenin

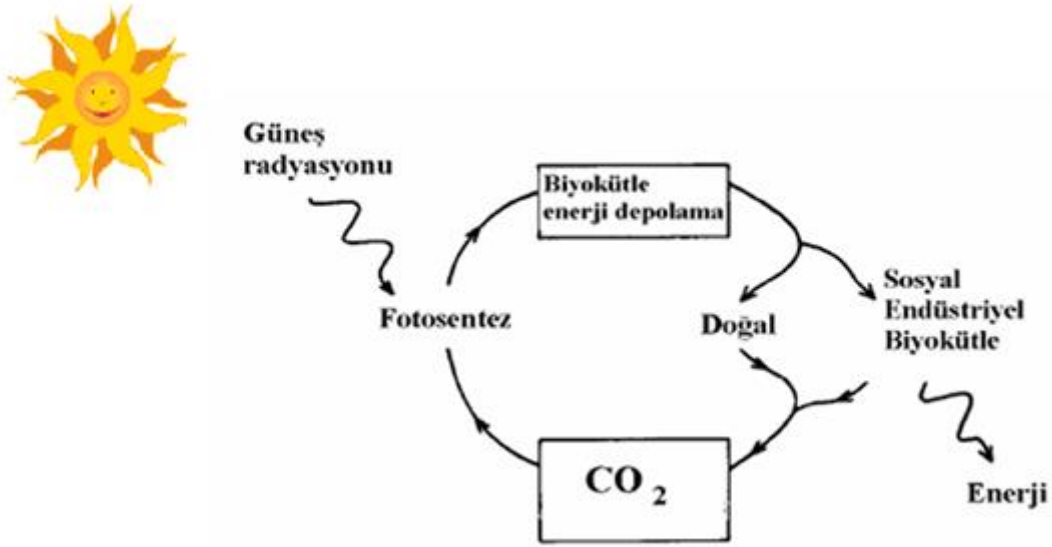
oldukça çorak alanlarda yetişmesi ile daha önce yararlanılamayan toprakların kullanılması ve kırsal alanların yetiştiricilik açısından değerlendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Biokütlenin Enerji Kaynağı Olarak Avantajları

- Hemen her yerde yetiştirilebilmesi
- Üretim ve çevrim teknolojilerinin iyi bilinmesi
- Her ölçekte enerji verimi için uygun olması
- Düşük ışık şiddetlerinin yeterli olması
- Depolanabilir olması
- 5-35°C arasında sıcaklık gerektirmesi
- Sosyo-ekonomik gelişmelerde önemli olması
- Çevre kirliliği oluşturmaması
- Sera etkisi oluşturmaması
- Asit yağmurlarına yol açmaması

Biokütle Yetiştiriciliği

Biokütle yetiştiriciliğinin amacı enerji ormanları ve enerji tarımı ile modern biokütle yakıt hammaddesini elde etmektir. Ormancılık ve tarıma dayalı bu yetiştiriciliğin temelinde bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yoluyla bünyelerinde depolamaları esası yatmakta olup hızlı fotosentezle çabuk büyüyen bitkiler üzerinde durulmaktadır.



Şekil 28. Enerji Çevrimi

Enerji kaynakları arasında en çok bilinen ve ilk kullanılan odundur. Biokütle enerjisi olarak odun, yetişmesi uzun yıllar alan ağaçların kesilmesi ile elde edildiğinde, ormanların yok olmasına ve büyük çevre felaketlerine yol açmaktadır. Günümüzde biokütle enerjisini klasik ve modern olarak iki sınıfta ayırmak olanaklıdır:

- Ağaç kesiminde elde edilen odun ve hayvan atıklarından oluşan tezeğin basit şekilde yakılması klasik biokütle enerjisi,
- Enerji bitkileri, enerji ormanları ve ağaç endüstrisi atıklarından elde edilen biodizel, etanol gibi çeşitli yakıtlar, tarım kesimindeki bitkisel ve hayvansal atıklar, kentsel atıklar, tarıma dayalı endüstri atıkları modern biokütle enerjisinin kaynağı olarak tanımlanır.

Modern biokütle eldesini aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz:

- a) Enerji Ormanları
- b) Enerji Tarımı - Yüksek verimli enerji bitkileri

a) Enerji Ormanları

Bugün dünyada karakavak, balzam kavakları, titrek kavaklar, söğüt, okaliptüs ve yarı kurak alan bitkisi olarak da cynara gibi hızlı büyüyen ağaçlar enerji amacıyla yetiştirilmektedir.



Bu ağaçlar oldukça değişik iklim ve toprak koşullarında yetişebildiği gibi büyüme hızları da diğer ağaçlara göre 10-20 kat arasında değişmektedir. Günümüzde biyoteknolojik yöntemlerle enerji ağaçlarının büyüme hızları daha da artırılabilir. Bu ağaçların genelde her 5 yılda bir budanarak yeniden büyümeleri sağlanır ve hasat edilen dallar biokütle kaynağı olarak kullanılır. Enerji ormanlarından elde edilen ortalama yıllık verim, hektardan 22 ton dolayında biokütle olmaktadır. Enerji ağaçları ile hem var olan ormanların korunması, hem de çevre kirliliğini azaltmak olanaklıdır.

b) Enerji Tarımı - Yüksek verimli enerji bitkileri

Son yıllarda, yüksek büyüme hızlarına sahip ve oldukça verimsiz topraklarda bile yetişebilen enerji bitkileri üzerine yapılan çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu bitkilerle, günümüzde enerji tarımı olarak da tanımlanabilen tek yıllık veya çok yıllık bitkilerle yapılabilen yeni bir tarım türü geliştirilmiştir. Enerji tarımında kullanılan bitkilerin bazılarının tohumları genetik mühendisliği yardımıyla geliştirilmektedir.

Enerji bitkileri C4 tipi bitki (Panicum-, Pennsitum-, şeker kamışı, mısır, şeker pancarı, tatlı darı (sweet sorghum), ülkemizde fazla tanınmayan Miscanthus guruhu olarak adlandırılmaktadır.

C4 Bitkilerinin Genel Özellikleri

- Yüksek sıcaklığa gereksinim duyarlar,
- Suya gereksinimleri daha azdır,
- Mevsimsel kuraklığa dayanıklıdır,
- Başlangıçta 4 karbon atomu içeren organik molekülleri bağlarlar,
- Işık şiddetini kullanma yetenekleri yüksektir.



Bazı bitkiler, havadaki karbondioksit derişimi belli bir oranın altına düştüğünde, solunum yapamazlar. Fakat C4 bitkilerinin en önemli özelliklerinden biri atmosferdeki her karbondioksit molekülünü soğurabilmesidir. Diğer kültür bitkilerine göre ise fotosentezde karbondioksiti (CO₂) daha iyi değerlendirebilmektedir.

Biokütle Çevrim Teknolojisi

Biokütle materyalleri biokütle çevrim teknikleri ile işlenerek katı, sıvı ve gaz yakıtlara çevrilir. Çevrim sonunda biyodizel, biyogaz, biyoetanol, pirolitik gaz gibi ana ürün olan yakıtların yanı sıra, gübre, hidrojen gibi yan ürünler de elde edilmektedir. Biokütleden enerjinin yanı sıra, mobilya, kâğıt, yalıtım malzemesi yapımı alanlarında da yararlanılmaktadır.

Biyokütle	Çevrim Yön.	Yakıtlar	Uygulama alanları
• Orman artıkları	Havasız Çürütme	Biyogaz	Elektrik üretimi, ısınma
• Tarım atıkları	Piroliz	Etanol	Isınma, ulaşım araçları
• Enerji bitkileri	Doğrudan yakma	Hidrojen	Isınma
• Hayvansal atıklar	Fermantasyon, havasız çürütme	Metan	Ulaşım araçları, ısınma
• Çöpler (organik)	Gazlaştırma	Metanol	Uçaklar
• Algler	Hidroliz		Sentetik yağ, Roketler
• Enerji ormanları	Biyofotoliz	Motorin	Ürün kurutma
• Bitkisel ve Hayvansal yağlar	Esterleşme reaksiyonu	Motorin	Ulaşım araçları, ısınma, seracılık

Şekil 29. Biokütle Ürün Teknolojisi

Biokütle Kaynakları Kullanılan Çevrim Teknikleri, Bu Teknikler Kullanılarak Elde Edilen Yakıtlar Ve Uygulama Alanları

Doğrudan Yakma

Biokütlenin doğrudan yakılarak enerji üretilmesi, bilinen en eski yöntem olmasına karşın, son yıllarda verimi yükseltmek için yeni yakma sistemleri geliştirilmektedir. Yanma, biokütle içindeki yanabilir maddelerin oksijenle hızlı kimyasal tepkimesi olarak tanımlanır. Bu ısıveren bir tepkimedir ve kimyasal tepkime sonucu ortaya çıkan atık maddeler karbondioksit, su buharı ve bazı metal oksitlerdir.

Havasız Çürütme

Havasız çürütme biyolojik bir işlem olup, oksijensiz ortamda yaşayabilen mikroorganizmalar tarafından yapılır ve organik madde + bakteri + su = metan + karbondioksit + hidrojen, kükürt + kararlı, gübre + bakteri olarak ifade edilir. Bu işlem ancak tümüyle oksijensiz bir ortamda gerçekleşebilir. Bilindiği gibi biokütle, mikroorganizmalar yardımıyla, oksijensiz ortamda fermantasyona uğrayarak, geride değerli bir gübre, metan gazı ve karbondioksit bırakmaktadır.

Fermantasyon

Bioküttelede, bilindiği üzere değişik oranlarda, *hemiselüloz ve lignin* bulunmaktadır. Selüloz enzimatik hidrolizin arkasından uygulanan, kimyasal hidroliz, enzimler veya kimyasal işlemler ile glikozla parçalanabilir. Kimyasal hidroliz şartları bazen glikozu bozabildiği için, bu işlem son derece dikkatle yapılması gerekmektedir. Glikozun fermantasyonu ile etanol, aseton, bütanol ve ham petrol ürünlerinden elde edilen ürünlere eş değer birçok kimyasal ürün elde edilebilir.

Piroliz

Piroliz, biokütleden gaz elde etmek için kullanılan en eski ve basit bir yöntem olup, oksijensiz ortamda odunun 900°C'ye kadar ısıtılması ile oluşan kimyasal ve fiziksel olaylar dizisi olarak tanımlanır. Piroliz sonucu gazlar, katran, organik bileşikler, su ve odun kömürü gibi maddeler elde edilir.

Gazlaştırma

Gazlaştırma, karbon içeren biokütle gibi katıların yüksek sıcaklıkta bozunması ile yanabilir gaz elde etme işlemidir. Bu işlem sırasında denetimli bir şekilde yakıt hücresine verilen hava ile biokütle yakılır ve çıkan ürünler arasında hidrojen, metan gibi yanabilir gazların yanı sıra karbon monoksit, karbondioksit ve azot bulunur.

Biyofotoliz

Biyofotoliz, bazı mikroskobik alglerden güneş enerjisi yardımıyla hidrojen ve oksijen elde edilme işlemidir. Deniz suyu içindeki bu algler bir tür güneş pili gibi çalışarak deniz suyunu foto sentetik olarak ayrıştırmaktadır.

2.6.1. Biokütleden Enerjisi Elde Edilmesi

Yenilenebilir biokütle ve biokütleden elde edilen yakıtlar çevresel fayda sağlaması sebebiyle günümüz enerji kullanımında kolaylıkla fosil yakıtların yerine geçebilecektir.

Biokütlenin gazlaştırılması; katı yakıtların ısı çevirim teknolojisiyle yanabilen bir gaza dönüştürülmesi işlemidir. Sınırlandırılmış oksijen, hava, buhar veya bunların kombinasyonları reaksiyonu başlatmaktadır. *Üretilen gaz karbon monoksit, karbondioksit, hidrojen, metan, su ve azot'un yanı sıra kömür parçacıkları, kül ve katran gibi artıkları da içermektedir.* Üretilen gaz temizlendikten sonra kazanlarda, motorlarda, türbinlerde ısı ve güç üretilmek üzere kullanılmaktadır. Gazlaştırma tekniği ile biokütleden, yüksek bir randımanla petrolle çalışan güç ve ısı sağlayan türbinlerde kullanılacak bir gaz yakıt elde edilebilir.

Biokütle kaynaklarının sağlanması fosil kaynak sağlanmasından daha pahalıdır. Fakat biokütle yenilenebilir bir kaynak olmasıyla tükenmekte olan fosil yakıtların yanında sürdürülebilir global enerjinin önemli bir unsurudur. Buna ilaveten sera gazları emisyonu ve karbon döngüsünü azaltıp, kırsal ekonominin gelişimiyle yeşil endüstriyi desteklemektedir. Biokütlenin gazlaştırılması ile elde edilen gaz yakıt doğal gazın kullanıldığı yerlerde küçük modifikasyonlar yapılarak kullanımı yaygınlaştırılabilir ve gelecekte kolaylıkla doğal gazın kullanıldığı yerlerde enerjinin büyük bir kısmı bu yakıttan sağlanabilir.

Biokütleden gazlaştırılma ile elde edilen temizlenmiş gaz yakıt ısı ve buhar üreten kazanlarda direk yakılarak veya Stirling motorlarda %20-30 verimlilikte elektrik üretimi için kullanılabilir. Basınçlı gazlaştırma türbinlerinde ise %40 veya daha fazla verimlilikte elektrik üretimi yapılabilir.

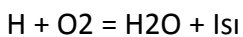
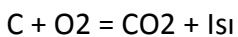
Gazlaştırma

Gazlaştırma 18. yy'ın sonlarından bu yana bilinen bir teknolojidir. Özellikle gelişmekte olan ülkeler için günümüzden geleceğe önemli bir rol oynayan biokütlenin kullanılabilir olduğu o yıllardan bu yana ispatlanmıştır. Bilinen bir husus da bir enerji kaynağı olarak kullanılan biokütlenin birçok dezavantajının olduğudur. Düşük enerji yoğunluğuna sahip (yaklaşık 16-20 MJ/kg) ham biokütle kaynakları direk olarak yakıldığı takdirde, çok düşük randıman sağlar ve iç ve dış mekânlarda yüksek seviyede hava kirliliği oluşmasına neden olur.

Gazlaştırma biokütleden gaz yakıt elde edilen termokimyasal bir dönüşüm sürecidir. Diğer bir deyişle biokütle termokimyasal bir dönüşümle gaz yakıtı dönüştürülür. Modernize edilmiş biokütle enerjisi teknolojilerinin amacı üretim ve kullanım sırasında emisyonları azaltırken yakıtın yoğunluğunu arttırmaktır. Gazlaştırma süreci Dört Safhaya Ayrılır:

a) Oksidasyon

Biokütlenin organik molekülleri karbon (C) ve hidrojen (H), yukarıdaki reaksiyonlar gereğince, okside olarak ısı enerjisi açığa çıkarılırlar. Bu reaksiyonlar sıcaklığın dışarıya verildiği ekzotermik reaksiyonlardır. Bunlar sırasıyla karbondioksit ve su buharına dönüşürler. Yanma sonucu yanmayan inorganik minerallerin bulunduğu kül de açığa çıkmaktadır.



b) Piroliz (Distilasyon)

Organik maddeler oksijensiz ortamda ısıtılırsa ortaya çıkan termal parçalanma sürecine piroliz adı verilir. Oksijensiz ortamda 500-600 °C' a kadar yapılan ısıtmada; gaz bileşenleri, uçucu yoğunlaşabilir maddeler, mangal kömürü ve kül açığa çıkar. Yüksek sıcaklığa çıktığında ise gaz bileşenleri ve odun gazı açığa çıkar.

Piroliz süreci şu şekilde gerçekleşmektedir: Oksijensiz ortamda karmaşık organik moleküller 400-600 °C sıcaklık bölgesinde parçalanarak yanabilir, yanamaz gazlar, katran ve zift açığa çıkar.

c) Reaksiyon (Karbonlaştırma)

Karbonlaştırmada; odun, turba, maden kömürü gibi organik maddeler havasız ortamda kimyasal parçalanmaya uğrarlar. Bu işlem de farklı sıcaklık bölgelerinde gerçekleşir (150 - 500 °C). Karbonlaşma işlemi sonucu açığa çıkan gaz bileşenleri: %50 CO₂ , %35 CO, %10 CH₄ , %5 diğer hidrokarbon ve H₂'dir. Gaz karışımının yaklaşık kalori değeri 8.9 MJ/m³'tür. Odunun karbonlaştırılmasındaki sıvı ürünler ise sulu kısım ve katrandır.

d) Gazlaştırma (İndirgenme)

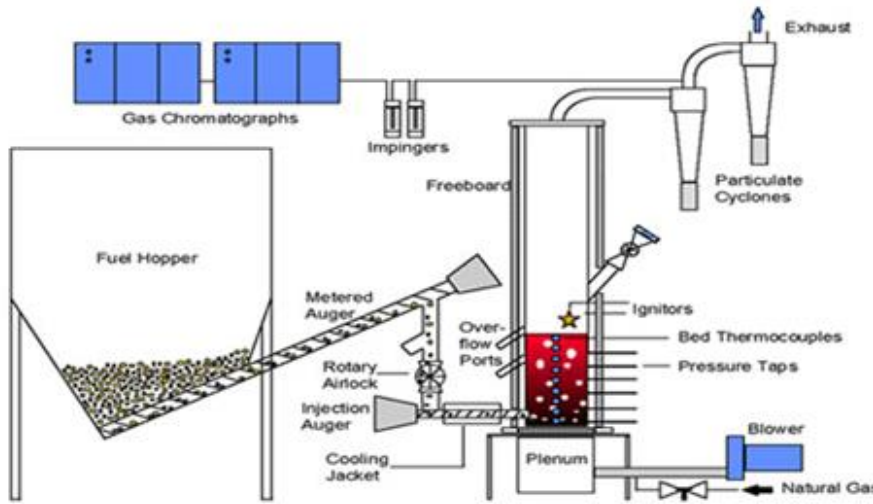
Organik maddelerin gazlaştırılmasında yaklaşık 500 °C sıcaklığa kadar olan süreç piroliz safhası olup burada; karbon, gazlar (kalori değeri 20 MJ/m³'e kadar çıkabilir) ve katran elde edilir. Isıtma 1000 °C'a kadar çıktığında karbon da su buharıyla tepkimeye girerek CO ve H₂ üretilir. Ham maddedeki değişken oksijen oranına bağlı olarak gazlaştırma işlemi için ilave oksijen girdisi gerekemeyebilir.

Gazlaştırmada önemli olan biokütlenin nem oranının % 30'u geçmemesidir. Nem oranı arttıkça gazın kalori değeri düşmektedir. Ayrıca hacimsel olarak yanabilir gaz olan CO miktarı düşerken CO₂ miktarı da artmaktadır. Bitkisel atıklar yakılırsa kısmi yanmada kalori değeri 4.5-6 MJ/m³ olan gaz üretilir.

Oluşan karbondioksit ve hidrojen reaksiyonları gereğince indirgenme reaksiyonu olan ikinci bir işleme tabii olarak karbon monoksit ve hidrojene dönüşürler. Bunun yanı sıra kömür ve katran da oluşur teknoloji gereğince katrana dönüşen kömür gazlaştırılır. Oluşan gazlar yanıcı gazdır ve ürünlerdeki partikül madde konsantrasyonu azalmıştır.

Biokütlenin Gazlaştırılması

Fosil yakıtlar, nükleer enerji ve büyük ölçekli hidrolik projeleri gibi geleneksel enerji kaynakları dünya enerji piyasasına hâkim durumdadırlar. Diğer enerji kaynakları bu geleneksel kaynaklarla rekabet edecek yeterlilikte değildir. Son yıllarda biokütle enerjisinin kullanımı araştırma ve geliştirme birimleri ve hükümetler tarafından büyük ilgi görmektedir. Biokütle enerjisinin farklı yollardan enerji sağlayabilmesi için birçok formları oluşturulmaktadır.



Güvenilirliği sağlamak ve işlem verimliliği için biokütle yakıtların gazlaştırılmasında proses ayrıntılarının kesinleştirilmesi gerekmektedir. Tüm gazlaştırıcı tiplerinde biokütlenin boyutu, nem ve kül içeriğinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Eksik yakıt hazırlığı gazlaştırma prosesinde teknik problemlerin sıkça oluşmasına sebep olur. Bu yüzden güzel bir organizasyon ve kontrol yakıt hazırlama yöntemi çok önemlidir.

Gazlaştırma Gazının Kullanıldığı Yerler

Katran, kömür ve kül üretilen gazdan arta kalan atıklar olarak bilinen yan ürünlerdir. Üretilen gazın içten yanmalı motorlarda yanabilmesi için katran ve partiküllerin temizlenmesi gerekir. Üretilen gazın yanabilen içeriği başlıca karbon monoksit, hidrojen ve hidrokarbon gazlar (hammaddeye bağlı) ve azotun değişik oranlarda karışımıdır. Gazlaştırma reaksiyonu ile üretilen gaz bileşimindeki diğer gazlara nazaran azot içerikli gazın ısı değeri daha düşüktür (4 - 6 MJ/m³). Üretilen gazın enerji içeriği içten yanmalı motorlarda, kazanlarda ve fırınlarda kullanıma uygundur fakat azot içeren gaz orta ve uzun taşımacılık için tavsiye edilmez. Biokütlenin gazlaştırılmasında tam kapasiteli yanmanın sağlanabilmesi için havanın yerine oksidant olarak saf oksijen veya buhar kullanıldığında yüksek enerji yoğunluğuna sahip gaz elde edilir.

Isıl değeri düşük olmasının rağmen gaz motorları ve türbinlerinde, elektrik üretiminde veya içten yanmalı motorlarda katı biokütle gazlaştırılarak enerji kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu metotla kullanılabilir ve modernize edilen gaz yakıtlar daha az zararlı emisyon salınımı ile geleneksel yakıtlar gibi kullanılabilir. Gazlaştırma katı biokütle enerjisini değerlendirmenin bir yolu olarak bilinir.

Gazlaştırma Ve Sürdürülebilir Gelecek

Hiç şüphe yok ki biokütle doğal enerji kaynağı olarak kendini sonsuza kadar yenileyebilecek bir enerji kaynağıdır.

- Gazlaştırma daha temiz enerji üretebilen bir enerji üretim teknolojisidir.
- Yenilenebilir enerji teknolojileri arasında, farklı hammadde kombinasyonlarının kullanılabilindiği bir teknolojidir.
- Fosil yakıtlar kükürt dioksit, azot oksitler ve radyoaktif alanlar (nükleer) atmosfer kirletilirken, direk yakma yerine gazlaştırma teknolojisi kullanımında emisyonlar büyük bir şekilde sınırlanabilmektedir.
- Gazlaştırma yöntemi ile elde edilen gazın kalitesi iyileştirildiğinden, makinelerde kullanımında daha verimli ısı ve elektrik enerjisi elde edilebilmektedir.
- Fosil yakıtlar ve radyoaktif gücün yerine biokütlenin konulabilmesini sağlayabilecek bir teknolojidir.
- Gazlaştırma atıkların çevirim teknolojisinde (kentsel atıklardan zirai artıklara kadar) kullanışlı ve yüksek kaliteli enerji sağlaması bakımından türünün tek örneğidir.

Gazlaştırmanın Dezavantajları

Buna istinaden biokütle gazlaştırmasının dezavantajlarına da bakmak gerekmektedir. Çevreyi ne kadar güvene alıyorsa da sağlığa zararları açısından açıklanan dezavantajları vardır. Bu dezavantajlar;

- Koku
- Gürültü
- Yanma/patlama riski
- CO zehirlenmesi
- Akıt gaz
- Pis su çıkışı (gazın temizlenme prosesinden kaynaklı)

Biokütle gazlaştırmasında çıkan koku hidrojen sülfür, amonyak ve carbon oxy-sulphide kokularına benzer. Katran da sert bir kokuya sahiptir. Gazdan çıkan koku pis su, katran ve uçuşan küllerden de kaynaklanabilir. Gürültü ise işlem sırasında makinelerin çalışmasından kaynaklanır. Sistemden atmosfere sızan gaz yakıt veya duman eğer ortamda ateşleme yapılırsa patlama olabilir.

Biokütle gazlaştırma prosesinde katı yakıt deposu, yanabilen tozlar, yakıtın kurutulması ve üretilen gaz temel risk faktörlerini oluştururlar. Renksiz ve kokusuz olan karbon monoksit gazı solunduğunda tehlikeli bir toksit etki yaratır.

- Daha az kullanılmasındaki en önemli faktör; petrol ürünlerine göre üretimi ve depolanmasının daha zahmetli olması, gaz üretim sistemlerinin çalıştırılması için farklı üniteler gerektirmesidir.
- Gazlaştırıcı bir sistem başlıca; bir gazlaştırıcı ünite, temizleme sistemi ve enerji dönüşüm sisteminden (yakma veya içten yanmalı motor) oluşur.
- Gazlaştırmada en önemli problem gaz üretmek değildir. Üretilen gazın içten yanmalı motorların kullanabileceği şekilde fiziksel ve kimyasal özelliklerini sağlamaktır.
- Gazlaştırıcıda üretilen yanabilir gazlarda homojen bir karışım yoktur ve zamana bağlı olarak da gazın fiziksel ve kimyasal özellikleri (bileşimi, enerji miktarı, kirliliği) değişebilir.
- Gazlaştırıcı ile içten yanmalı makine arasında bir depolama tankı yoktur. Bu nedenle depolama problem oluşturmaktadır. Üretilen gaz motorda yakılmadan önce ise çok iyi temizlenmelidir.

2.6.1.1. BioDizel

Biyodizel, kolza (kanola), ayçiçeği, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen bitkisel yağların veya hayvansal yağların bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılan bir üründür. Evsel kızartma yağları ve hayvansal yağlar da biyodizel hammaddesi olarak kullanılabilir.

Biyodizel petrol içermez; fakat saf olarak veya her oranda petrol kökenli dizelle karıştırılarak yakıt olarak kullanılabilir. Saf biyodizel ve dizel-biyodizel karışımları herhangi bir dizel motoruna, motor üzerinde herhangi bir modifikasyona gerek kalmadan veya küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilir.

Biyodizel Üretim Yöntemi

Biyodizel üretiminin çeşitli metotları olmakla birlikte, günümüzde en yaygın olarak kullanılan yöntem transesterifikasyon (alkoliz) yöntemidir. Transesterifikasyon reaksiyonunda hammadde olarak kullanılacak yağ, monohidrik bir alkolle (etanol, metanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir. Ayrıca esterleşme reaksiyonunda yan ürün olarak mono ve di-gliseridler, reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri oluşur. Biyodizel üretiminde, kanola (kolza), ayçiçek, soya vb. yağlı tohum bitkilerinden elde edilen bitkisel yağlar, atık kızartmalık yağlar ve hayvansal yağlar ile alkol olarak metanol, katalizör olarak alkali katalizörler (sodyum hidroksit, potasyum hidroksit ve sodyum metilat) tercih edilmektedir.

Biyodizel Çevresel Özellikleri

- Biyodizel, tarımsal bitkilerden elde edilmesi nedeniyle, fotosentez yolu ile CO₂ 'i (karbon dioksit) dönüştürüp karbon döngüsünü hızlandırdığı için, sera etkisini arttırıcı yönde etki göstermez. Tükettiğimiz biyodizelden atmosfere verilen CO₂, biyodizel üretiminde kullanılacak olan yağ bitkisi tarafından en fazla bir yıl içinde geri alınacaktır. Bu açıdan bakıldığında: biyodizel üretimi, CO₂ emisyonları için doğal bir yutak olarak nitelendirilebilir ve Dünya'nın en önemli çevresel sorunlarından olan ve fosil yakıtların geri alınamayan CO₂ emisyonlarının yol açtığı sera etkisi sonucunda ortaya çıkan küresel ısınmadan kaynaklanan olumsuzlukların indirgenmesi bağlamında önemli katkılar sağlar.
- Suyu bırakıldığında 28 günlük bir sürecin sonunda biyodizelin yüzde 95'i çözülürken, dizelde bu oran yüzde 40 mertebelerine kadar düşmektedir. Bu nedenle, özellikle ABD'nde birçok eyalette, göller ve nehirler gibi sucul alanlarda kullanılan ulaşım araçlarında ve teknelerde saf biyodizel kullanımı zorunlu kılınmıştır.
- Bakteriler tarafından kolayca ayrıştırılabildiği için çevre dostu olarak kabul edilen biyodizelin içerdiği kükürt miktarı, dizele oranla çok daha düşüktür. Bu da dizel yerine biyodizelin kullanılması durumunda, asit yağmuru gibi olumsuz çevresel etkilerin oluşmasını önler.
- Ayrıca CO emisyonlarının düştüğü, partikül madde ve yanmamış hidrokarbonların (HC) da daha az salındığı kanıtlanmıştır.
- Saf biyodizel ve dizel-biyodizel karışımı kullanımı ile CO, PM, HF, SO_x ve CH₄ emisyonlarında azalma, NO_x ve HCl emisyonlarında ise artma görülmektedir.
- Biyodizel biyolojik karbon döngüsü içinde fotosentez ile karbondioksiti dönüştürür, karbon döngüsünü hızlandırır, ayrıca sera gazı emisyonunu arttırıcı yönde etkisi yoktur.
- Biyodizel, dizel yakıttan daha düşük egzoz gazı emisyonu vermektedir. Egzoz gazı emisyonu yönünden incelendiğinde CO, HC, SO_x, PM emisyonlarının dizel yakıttan daha az, NO_x emisyonlarının ise fazla olduğu görülmektedir.
- Sülfür emisyonu saf biyodizel kullanımında tamamen bertaraf edilebilmektedir. Dizel yakıtla kıyaslandığında biyodizel kullanımıyla birlikte sülfür oksit ve sülfat emisyonuyla oluşan kirlilik temizlenmekte ve yok olmaktadır.
- Dizel yakıtlara göre biyodizel kullanımlarındaki karbon monoksit salınımı % 48 daha azdır.
- Partiküllü ortamda gerçekleşen solunum insan sağlığını tehlikeye atmaktan öte değildir. Dizel yakıtlara göre biyodizel kullanımlarında açığa çıkan partikül miktarı % 47 daha azdır.

- Biyodizel kullanımında dizel yakıtı göre yanmamış hidrokarbon oranı, % 67, CO₂ emisyonu %80, kanserojen etkisi olan aromatik hidrokarbonlar ise %75 - %90 oranında daha azdır.
- Biyodizel kükürt içermez. Bu yüzden egzoz emisyonu azaltma ve NO_x kontrol teknolojileri biyodizel yakıtı kullanan sistemlerde rahatlıkla uygulanabilir. Konvansiyonel dizel yakıtı kükürt içerdiği için NO_x kontrol teknolojilerine uygun değildir.
- Biyodizel kükürt içermediğinden kükürt dioksit emisyonu oluşturmaz. Bu çok önemli bir avantajdır. Bu emisyon özellikleri ile kanser yapıcı etkenler azalmakta ve kanser riski % 90'a varan oranlarda düşmektedir.
- Ozon tabakasına olan olumsuz etkiler biyodizel kullanımında dizel yakıtı nazaran % 50 daha azdır. Asit yağmurlarına neden olan kükürt bileşenleri biyodizel yakıtlarda yok denecek kadar azdır.
- Biyodizel, dizel yakıt kullanımından kaynaklanan ve insan sağlığını tehdit eden bir çok çevresel faktörü ortadan kaldırmaktadır. Biyodizel emisyonlarında, potansiyel kanser nedeni olan polisiklik aromatik hidrokarbon ve türevlerinden (PAH) kaynaklanan emisyonlarda % 80-90 oranlarda azalmalar belirlenmiştir.

2.6.1.2. BioEtanol

Hammaddesi şeker pancarı, mısır, buğday ve odunsular gibi şeker, nişasta veya selüloz özlü tarımsal ürünlerin fermantasyonu ile elde edilen ve benzinle belirli oranlarda harmanlanarak kullanılan alternatif bir yakıttır. Biyoetanol berrak, renksiz ve karakteristik bir kokuya sahip bir sıvıdır. Yüksek oktanlı bir yakıttır (113) olup kaynama noktası 78,5°C, donma noktası -114,1°C dir. Biyoetanol 20 °C de 0,789 gr/ml yoğunluğa sahiptir. İçten yanmalı motorlara herhangi bir modifikasyona ihtiyaç duyulmadan %10 miktarında harmanlanarak kullanılabilir.

Biyoetanol Benzin İle Harmanlandığında;

- Biyoetanol yakıtlarda oktan artırmak amacı ile kullanılan benzen, metil tersiyer bütıl eter (MTBE) gibi kanserojen maddelerin çevreci alternatifidir,
- Biyoetanol benzin ile harmanlanma oranına göre 2-3 puanlık bir oktan artışı sağlayarak motorun performansını yükseltir,
- Biyoetanol donmayı engeller, motorun daha serin ve enjektörlerin daha temiz kalmasını sağlar.

2.6.1.3. Biyogaz

Organik bazlı atık/artıkların oksijensiz ortamda (anaerobik) fermantasyonu sonucu ortaya çıkan renksiz kokusuz, havadan hafif, parlak mavi bir alevle yanan ve bileşiminin de organik maddelerin bileşimine bağlı olarak yaklaşık; % 40-70 metan, % 30-60 karbondioksit, % 0-3 hidrojen sülfür ile çok az miktarda azot ve hidrojen bulunan bir gaz karışımdır.

Biyoqazın Isıl Değeri

1 m³ biyoqazın sağladığı ısı miktarı 4700-5700 kcal/m³'dir. 1 m³ biyoqaz; 0,62 litre gazyağı, 1,46 kg odun kömürü, 3,47 kg odun, 0,43 kg bütan gazı, 12,3 kg tezek ve 4,70 kWh elektrik enerjisi eşdeğerindedir. 1 m³ biyoqaza 0,66 litre motorin, 0,75 litre benzin ve 0,25 m³ propan eşdeğer yakıt miktarlarıdır.

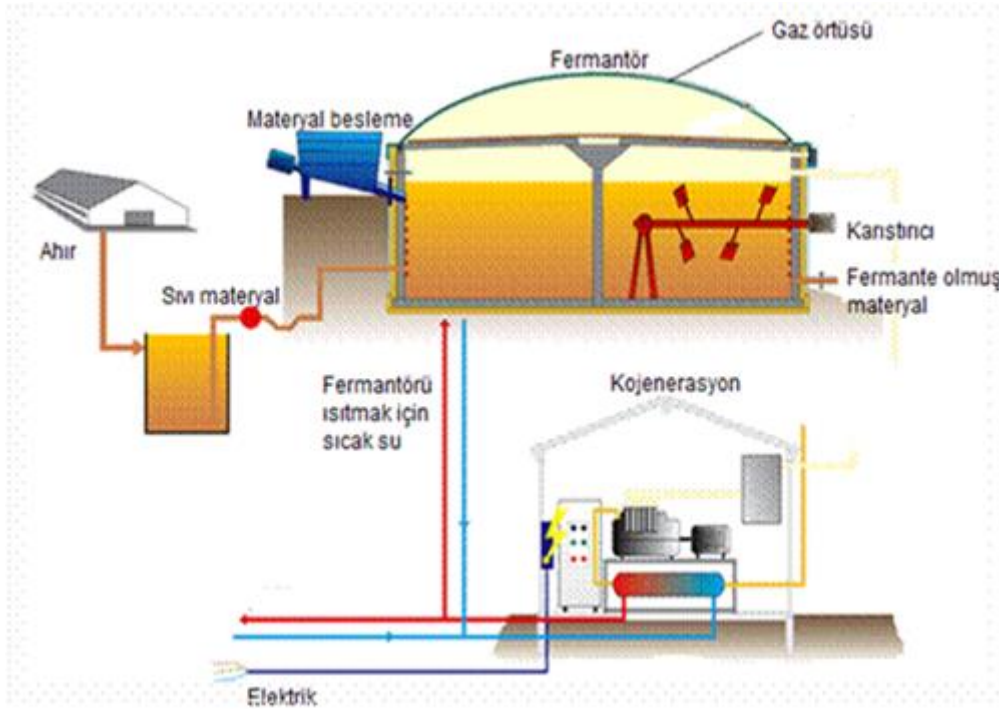
Biyoqaz Üretiminde Kullanılan Organik Atık/Artık Hammaddeler

Hayvansal Atıklar: Sığır, at, koyun, tavuk gibi hayvanların dışkıları, mezbahana atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar özellikle kırsal kesimler için önerilen biyoqaz tesislerinde kullanılmaktadır.

Bitkisel Atıklar: İnce kıyılmış sap, saman, anız ve mısır artıkları, şeker pancarı yaprakları ve çimen artıkları gibi bitkilerin işlenmeyen kısımları ile bitkisel ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklardır. Bitkisel atıkların kullanıldığı biyoqaz tesislerinin işletilmesi sırasında proses kontrolü büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle kırsal kesimlerde bitkisel atıklardan biyoqaz eldesi önerilmemektedir.

Organik İçerikli Şehir ve Endüstriyel Atıklar: Kanalizasyon ve dip çamurları, kağıt, sanayi ve gıda sanayi atıkları, çözünmüş organik madde derişimi yüksek endüstriyel ve evsel atık sular biyoqaz üretiminde kullanılmaktadır. Bu atıklar Özellikle belediyeler ve büyük sanayi tesisleri tarafından yüksek teknoloji kullanılarak tesis edilen biyoqaz üretim merkezlerinde kullanılan atıklardır.

Biyogaz Üretim Prosesi



Şekil 30. Biyogaz Üretimi

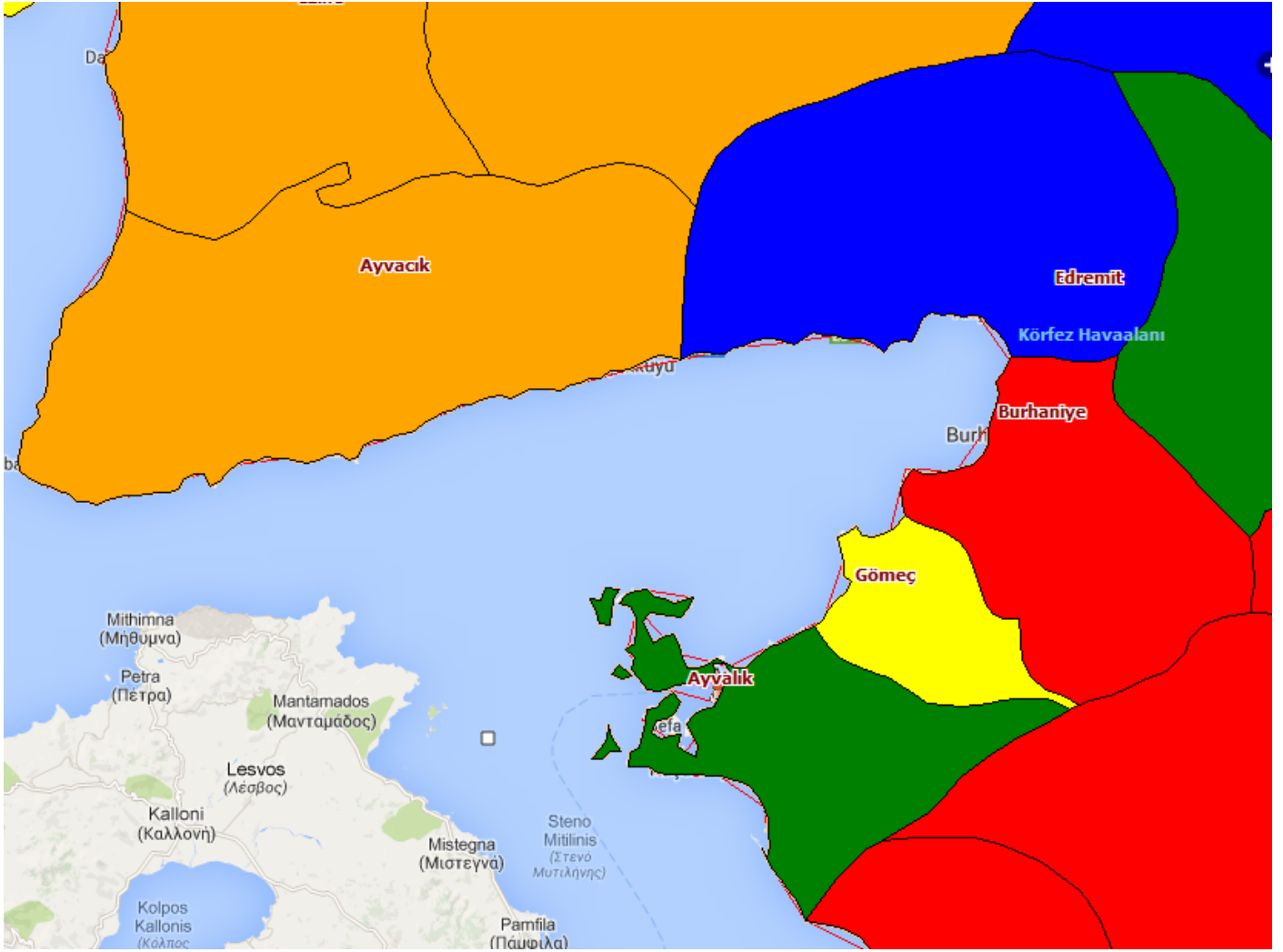
Biyogaz Üretiminde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

- Fermantörde (üretim tankı-sindireç) kesinlikle oksijen bulunmamalı,
- Antibiyotik almış hayvansal atıklar üretim tankına alınmamalı,
- Deterjanlı organik atıklar üretim tankına alınmamalıdır,
- Ortamda yeni bakteri oluşturulması ve büyümesi için yeterli miktarda azot bulunmalı,
- Üretim tankında asitlik 7,0 - 7,6 arasında olmalı,
- Metan bakterileri için substratta (S) sirke asidi cinsinden organik asit konsantrasyonu 500 - 1500 mg/litre civarında olmalı,
- Fermantör sıcaklığı 35 °C veya 56 °C de sabit tutulmalı,
- Üretim tankına ışık girmemeli ve ortam karanlık olmalı,
- Üretim tankında minimum %50, optimum %90 oranında su olmalı,
- Ortamda metan bakterilerinin beslenmesine yetecek kadar organik madde parçalanmış-öğütülmüş olarak bulunmalıdır.

Türkiye Orman Kaynaklı Biokütle Potansiyeli



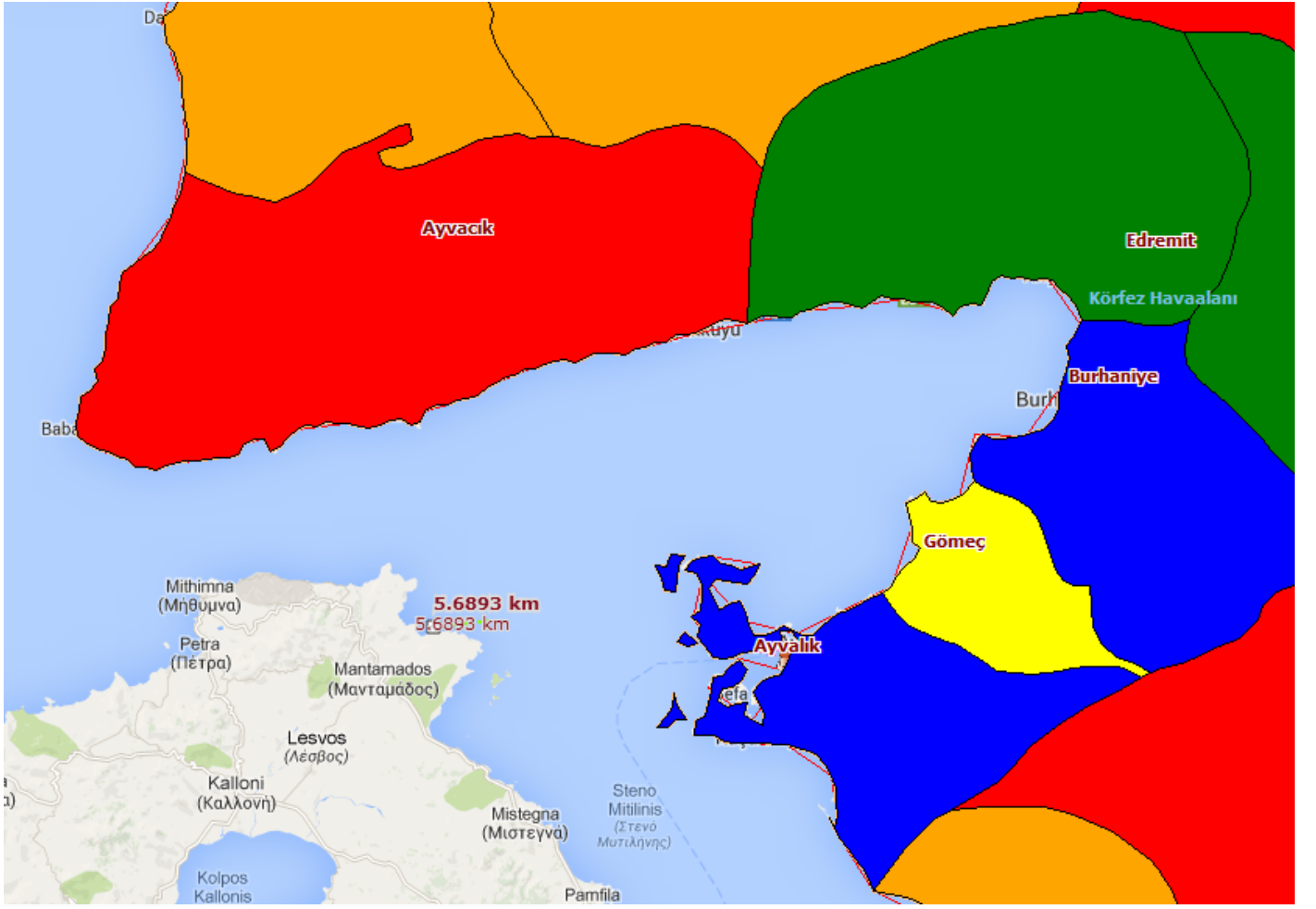
3.6.2. Körfezde Biokütle Enerjisi Potansiyeli



Şekil 31. Körfez Nüfusunun Renklere Göre Dağılımı



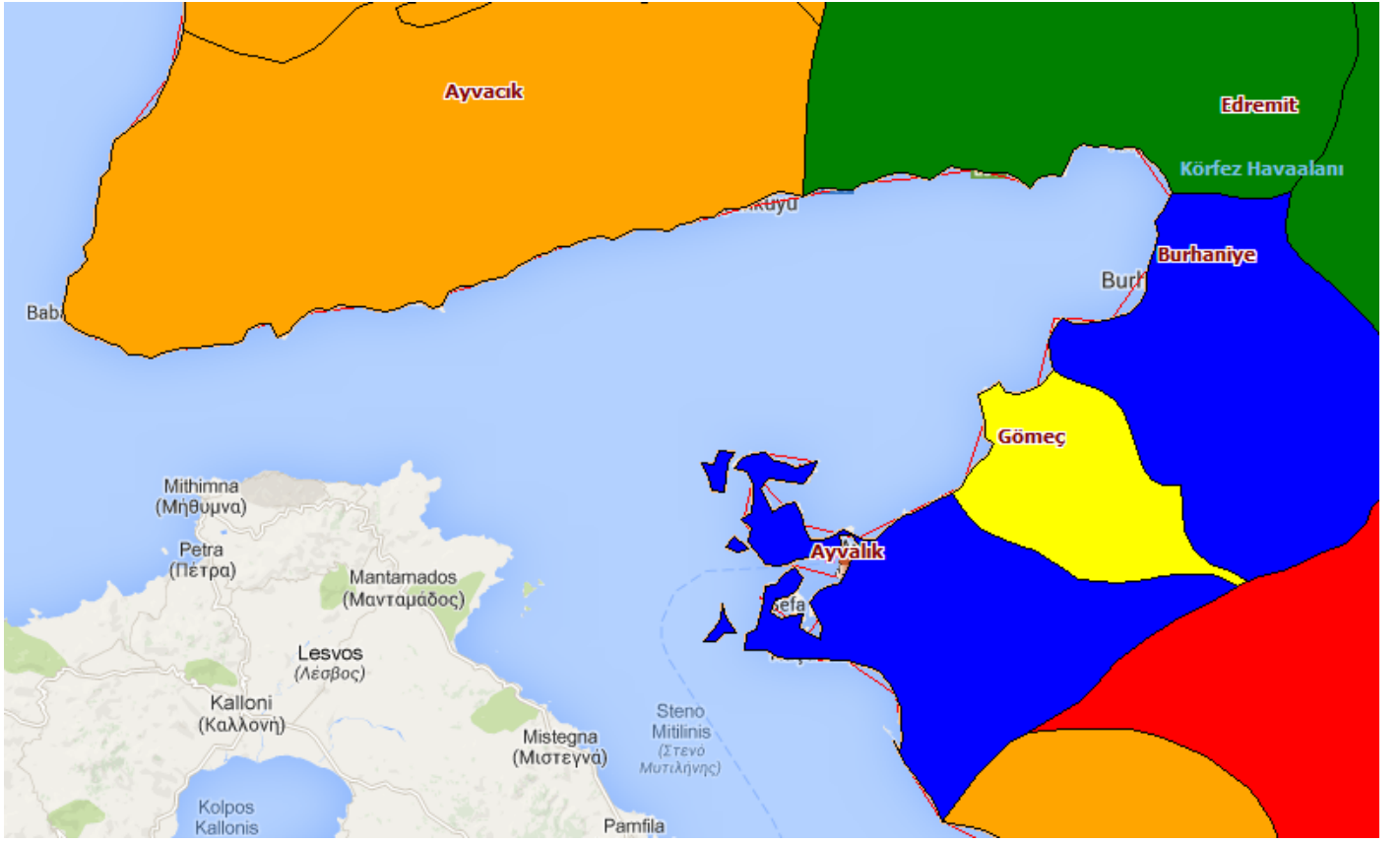
Şekil 32. Toplam Hayvan Sayısı Oranları



Şekil 33. Körfez Nüfusunun Renklere Göre Dağılımı



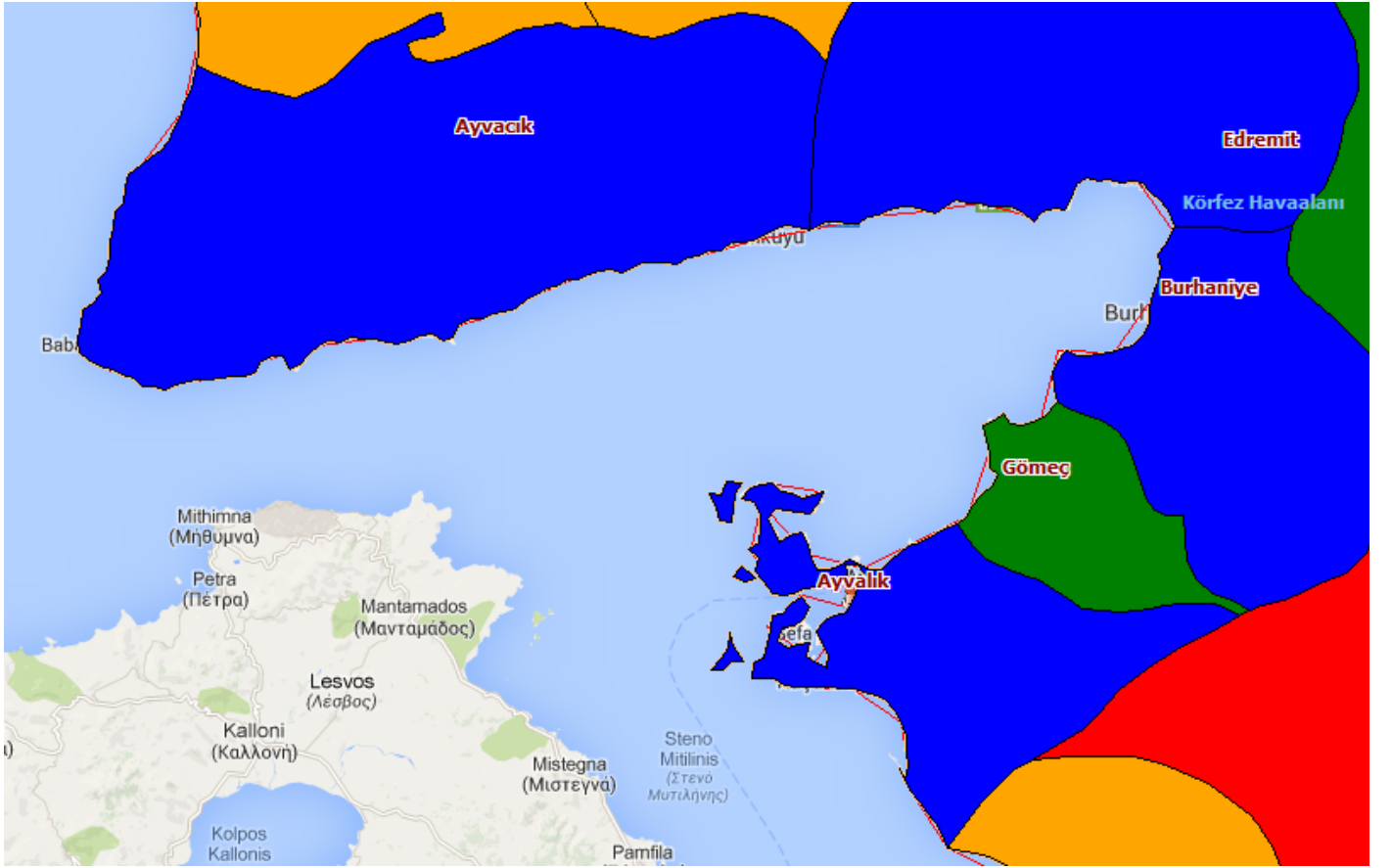
Şekil 34. Toplam Hayvan Atık Miktarı



Şekil 35. Körfez Nüfusunun Renklere Göre Dağılımı



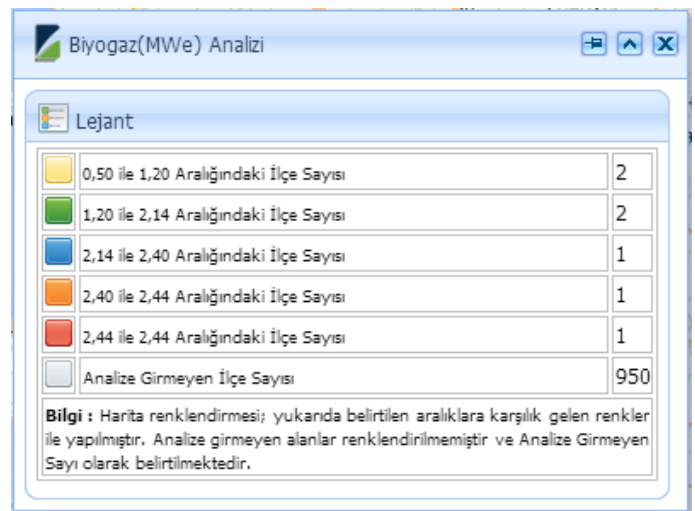
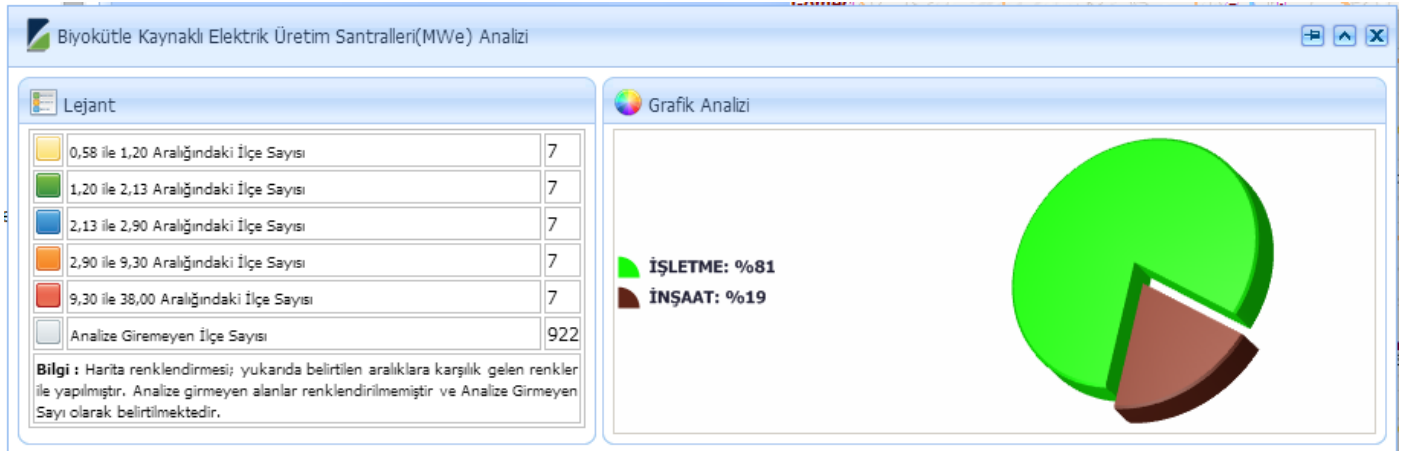
Şekil 36. Toplam Hayvan Atık Enerji Dağılımı



Şekil 37. Körfez Nüfusunun Renklere Göre Dağılımı



Şekil 38. Toplam Bitkisel Enerji Değeri



2.6.3. Körfezde Biokütle Enerjisi Potansiyelinin Değerlendirilmesi

Körfez bölgesi, orman kaynakları ve tarım yönünden zengin bir bölgedir. Bunların dışında körfez bölgesi evsel atıkları fosseptik kuyularından kanalizasyon sistemine geçirmeye çalışmaktadır. Küçükkuşu belediyesinin Kaz dağlarına Su arıtma ve dağıtım Tesisleri kurmuştur. Bölgede küçük bir biokütle enerji sistemi kurulabilir.

Körfez bölgesinin tarım ve orman ürünlerinden çeşitli yöntemlerle enerji elde edilmesinin potansiyelinin yüksek olduğu görülmektedir.

2.6.4. Biokütle Enerjisinde Yeni Yöntemler

Fosil yakıtlar, ölen canlı organizmaların (plankton, algler, ağaçlar, dinozor vb.) oksijensiz ortamda yüksek sıcaklık ve basınçla milyonlarca yıl boyunca, çözülmesi ile oluşur. Günümüzde fosil kaynakların çok fazla kullanılması ve kaynakların son 50 senede ciddi oranda azalacağını, var olan kaynaklarda ise fosil enerjinin çıkarılmasının maliyetinin çok fazla olacağını bilmekteyiz. Peki, milyonlarca yılda oluşan bir kömürü saatler içerisinde elde edebilseniz nasıl olurdu?

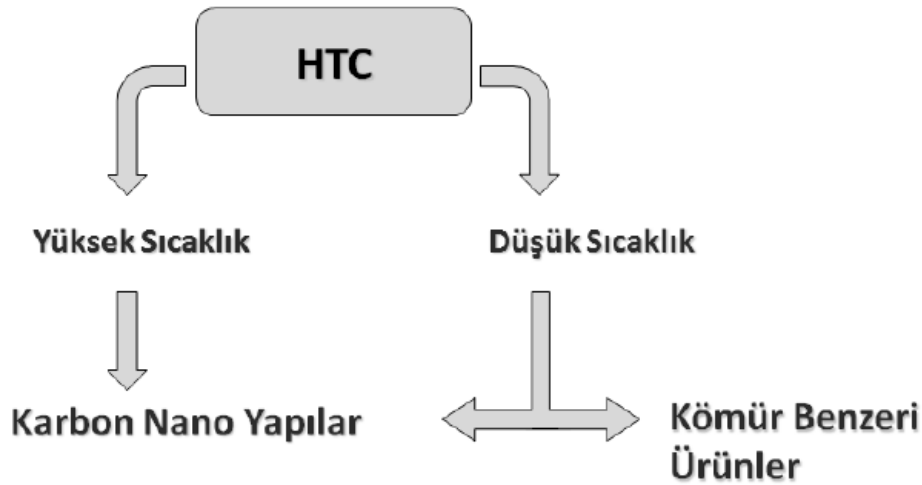
Hidrotermal karbonizasyon (HTC)

Milyonlarca yıl boyunca yüksek sıcaklık ve basınç altında oluşan bir kömürü, günümüzde aynı koşulları oluşturarak laboratuvar ortamında oluşturmamız mümkün müdür? Milyonlarca yıl süren çözülme işlemini katalizör yardımı ile hızlandırarak, yüksek sıcaklık ve basınçta biyo ürünlerin işlenme sürecine Hidrotermal Karbonlaştırma adı verilmektedir. Hidrotermal karbonizasyon işleminin tarihi 1910'lara kadar uzanmaktadır. 1913 yılında Bergius ve çalışma arkadaşları selülozun kömür benzeri yapıları hidrotermal olarak dönüşümüyle ilgili çalışmalarını yayınlamıştır (Bergius vd. 1913). 1932 yılında Berl ve Schmidt daha sistematik bir çalışma ile çeşitli biokütelleri 150 – 350 °C sıcaklık aralığında hidrotermal karbonizasyon işlemine maruz bırakmışlardır (Berl vd. 1932). Daha sonra Schuhmacher ve arkadaşları hidrotermal

karbonizasyon işlemine pH etkisini incelemiş ve C/H/O kompozisyonlarındaki değişimlerden farklı bozunma mekanizmaları bulmuşlardır. (Hu vd. 2008).

Değerli karbon malzemelere olan talebin malzeme kimyası ve nanoteknoloji uygulamalarında artış göstermesiyle, HTC işlemi bir kez daha ilgi çekmiştir. 1991 yılında karbon nanotüplerin keşfi ile yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen hidrotermal karbonizasyon işlemi hızla gelişmiştir (Iijima 1991). Son dönemde düşük sıcaklık HTC işleminde bir yeniden doğuş gerçekleşmiş ve araştırmacıların HTC konusuna olan ilgisi ciddi biçimde artarak günümüze kadar çok çeşitli karbon malzemeler sentezlenmiştir. Bunlara örnek olarak karbon mikro ve nano küreler, işlevsel karbon malzemeler, karbon ile kapsüllenmiş yapılar, metal/karbon nanomimariler, karbon kompozitler gibi yapılar verilebilir. Bu malzemelerin çevre, kataliz, enerji, biyoloji, elektrik ve sensor alanlarında geniş uygulama alanları mevcuttur.

Hidrotermal karbonizasyon yöntemi biokütleden ve özellikle değersiz atık biokütleden değerli karbon malzemelerin sentezlenmesinde güçlü bir teknik olarak fırsat sunmaktadır. Farklı reaksiyon şartları ve reaksiyon mekanizmasına göre HTC işleminde iki ayrı yol tanımlanabilir. Temel olarak biokütle pirolizine benzer olan yüksek sıcaklık HTC işlemi ile karbon nanotüpler, grafit, aktif karbon malzemeler yüksek sıcaklık ve basınç altında sentezlenebilir. 250 °C sıcaklığa kadar gerçekleştirilen düşük sıcaklık hidrotermal karbonizasyon işlemi ise yüksek sıcaklık hidrotermal karbonizasyon işlemine göre basamaklı bir kimyasal dönüşüm sunar. Ayrıca HTC işleminde reaksiyon ortamının su olması, zehirli çözücülere ihtiyaç duyulmaması, çıkış maddesinin fiyatının ve işletme maliyetinin düşük olmasından dolayı prosesin ucuz ve ölçeklendirilebilir olması gibi ilâve avantajları mevcuttur.



Hidrotermal karbonizasyon işlemi temel olarak kapalı bir kap içerisinde biokütlenin sıcaklık ve basınçla muamele edilmesi şeklindedir ve biokütle dönüşüm yöntemlerinden birisidir. Farklı reaksiyon mekanizması ve deneysel şartlar göz önüne alındığında iki farklı hidrotermal karbonizasyon işlemi mevcuttur. Bunlardan birincisi yüksek sıcaklık (300 – 800 °C) ve basınçta gerçekleştirilen hidrotermal karbonizasyon ve ikincisi 300 °C sıcaklığın altında gerçekleştirilen hidrotermal karbonizasyon şeklindedir. Yüksek sıcaklıkta yapılan işlemler ile nano yapıları karbon malzemeler elde edilirken, düşük sıcaklıkta yapılan hidrotermal karbonizasyon ile nano yapıları karbon ürünleri yanında kömür benzeri ürünlerde elde edilebilmektedir. HTC işleminde basınç kendiliğinden oluşmaktadır.

HTC’ de En Çok Kullanılan Girdi: Biokütle

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biokütle, en geniş ifadeyle yaşayan organizmalardan türeyen tüm maddeleri kapsar ve uygulama potansiyeli en yüksek yenilenebilir enerji kaynağıdır. Dünyada doğal döngü sonucu sürekli meydana gelebilen kaynaklardan (güneş, rüzgâr, dalga, biokütle vb) elde edilen enerjiye yenilenebilir enerji denir. Yenilenebilir kaynaklarının en önemli özelliği kullanımları sonrasında tekrar aynı miktarda oluşmaları ve aynı oranda enerji elde edilebilmesini sağlamalarıdır. Yenilenebilir enerji hem gerçek anlamda sürdürülebilir olmasıyla hem de kaynak arama gelişiminde başka kapılar açmasıyla toplumlara potansiyel bir güç sağlamış ve enerji gereksinimine düşük maliyet ve geniş üretim alanıyla bir çözüm oluşturmuştur. Biokütle, bol bulunması, her yerde yetiştirilebilmesi, çevrenin korunmasına katkı sağlaması ve atık halinin dahi değerlendirilebilir olması sebebiyle oldukça önemli yenilenebilir bir enerji

kaynağıdır. Biokütle örneği olarak orman atıkları, otlak atıkları, kâğıt atıkları, kendini yenileyebilen bitkiler, hasat edilebilen bitkilerin kullanımından sonra geriye kalan ürünler (dal, saman, kök, kabuk vb.), hayvansal atıklar (gübre, kesim atıkları, hayvansal yağlar), algler, kanalizasyon atıkları ve endüstriyel atıklar verilebilir. Biokütle dönüşüm yöntemleri; fiziksel, biyolojik ve kimyasal dönüşümler olarak üç ana grup altında toplanabilir (Parikka 2004). *Biokütle dönüşümü için, uygulanan dört ana termokimyasal yöntem mevcuttur. Bunlar yanma, gazlaştırma, sıvılaştırma ve pirolizdir.* Hepsinde farklı reaktörler kullanılmakta ve farklı işletim koşullarında çalışılmaktadır. Bunların sonucunda ise farklı özelliklere sahip ürünler elde edilmektedir (Bridgwater 1991). Son yıllarda hidrotermal yöntemler ön plana çıkmaktadır. Hidrotermal dönüşüm, süper kritik şartlarda, kritik altı şartlarda ya da ılıman şartlarda gerçekleştirilebilmektedir.

HTC Mekanizmasında Önemli Bir Ara Ürün: HMF

Hidroksimetilfurfural (HMF) ya da 5-hidroksimetilfurfural (5-HMF) molekülü bir furan halkası ve aldehit – alkol fonksiyonel gruplarına sahiptir. HMF birçok değerli kimyasal ürünün sentezi için önemli bir maddedir. Örneğin HMF, 2,5-dimetilfurana dönüştürülebilir ve bu ürün birçok yönden etanolden üstün olan sıvı biyoyakıt olarak kullanılmaktadır. HMF'nin yükseltgenmesi 2,5-furandikarboksilik asidi verir ve polimer üretiminde kullanılan teraftalik asit yerine kullanılabilir.

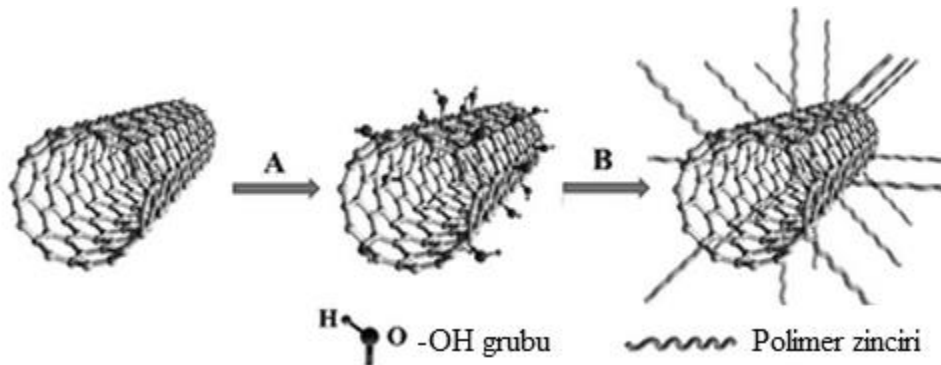
Lignoselülozik malzemelerden elde edilen HTC ürünlerinin mekanizması

Lignoselülozik biokütle daha öncede belirtildiği gibi Dünya üzerinde en çok bulunan yenilenebilir enerji kaynağıdır ve temel olarak selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşan kompleks yapıda bir malzemedir. Polisakkarit sınıfına giren selüloz ve hemiselüloza göre lignin, çapraz bağlı üç boyutlu bir yapı gösterir ve hidrofobik bir yapıya sahiptir. Lignin ve hemiselülozun bozunması selüloza göre çok daha kolaydır (Pandey ve Kim2011).

Yüksek Sıcaklıkta Yapılan Hidrotermal Karbonizasyon

A-) Karbon Nanotüpler

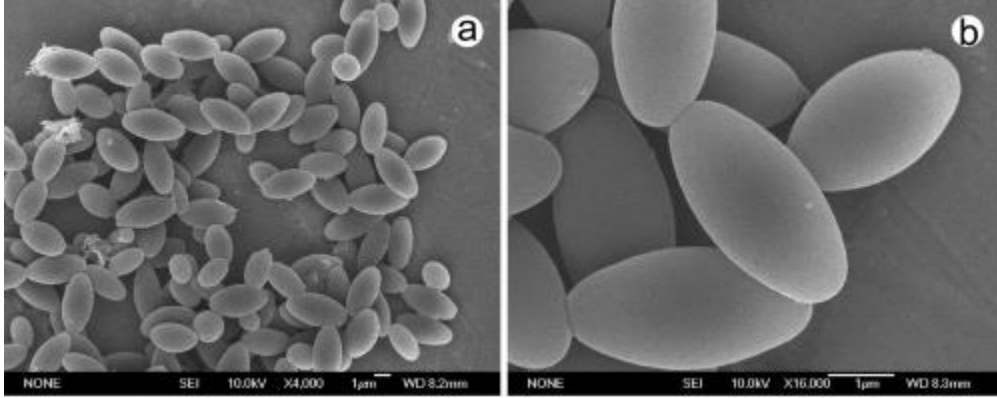
Yüksek sıcaklıkta yapılan HTC işlemi iyi kristallenmiş çok duvarlı karbon nanotüplerin (MWNT) üretilmesi için oldukça yararlı bir yöntemdir. Diğer yöntemlerde yüksek sıcaklıkta ($T > 3000\text{ }^{\circ}\text{C}$) ve geçiş metalleri nanoparçacıkları katalizörlüğü varlığında sentez yapılırken HTC ile daha düşük sıcaklıklarda ve katalizöre ihtiyaç duyulmadan sentez yapılması mümkündür. Metal katalizörleri kullanılmadığı için işlem sonrasında ileri bir saflaştırma işlemine ihtiyaç duyulmaz ayrıca homojenlik yüksektir ve ucuz bir yöntemdir. Yoshimura ve Moreno (2001)'de ilk olarak amorf yapıdaki karbonu giriş maddesi olarak kullanmış ve otoklav içerisinde $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve 100 MPa 'da 48 saat süreyle hidrotermal olarak karbonize etmiştir. Elde edilen TEM görüntülerine göre birkaç yüz nanometre uzunluğunda, dış çapı $10 - 50\text{ nm}$ arasında değişen ve iç çapı $2 - 8\text{ nm}$ civarında olan yüksek kalitede çok duvarlı karbon nanotüpler elde etmiştir.



Şekil 39. Karbon Nanotüpler

B-) Üç boyutlu karbon yapılar

Yüksek sıcaklıkta yapılan HTC işlemi ile karbon filmler ve yüksek esnekliğe sahip malzemeler hazırlamak mümkündür. Ayrıca bu yöntem ile karbonhidratlardan ve organik maddelerden tek dağılımlı karbon mikro küreler, elipsoidal karbon mikro yapılar, grafit tüpler ve nano hücreler sentezlemek de mümkündür. Örneğin Luo vd. (2005)'te 600 °C'ta otoklav içerisinde asetonu metalik çinko katalizörlüğünde karbonize ederek aşağıda SEM görüntüleri verilmiş olan zeytin biçimli yeni tip bir mikro boyutlu karbon malzeme sentezlemiştir.



Şekil 40. Üç Boyutlu Karbon Yapıları

Biyokütlenin Hidrotermal Karbonizasyonu: Sürdürülebilir Enerji Kaynaklarından Karbon Malzemelerin Üretilmesi

Ham petrol fiyatlarının artması, uzun vadede fosil kaynaklı yakıtlarının durumunun belirsiz olması nedeniyle yenilenebilir kaynaklar çekici bir seçenek haline gelmiştir. Hali hazırda son kullanıcıya ulaşmış olan biyo yakıtlar ve fermantasyon işlemine kıyasla talaş, pirinç kabuğu, mısır koçanı, çim gibi biyoatık hammaddelerin kimyasal dönüşümlerine çok daha az ilgi gösterilmiştir. Üst düzey malzemeler elde edilebiliyor olması nedeniyle bu hammaddeler ve bunların dönüşümleri “uyuyan altın olarak” adlandırılmaktadır (Dalgaard vd. 2006).

Bugün iki tane birincil biyoyakıt kullanımı mevcuttur. Bunlardan biri, sekerden ve nişasta içeriği yüksek bitkilerden elde edilen etanol, diğeri ise yağ elde edilen bitkilerden üretilen biyodizeldir. Küresel biyoyakıt üretiminin % 90'ını biyoetanol, geriye kalan % 10'luk kısmı ise biyodizel oluşturmaktadır. Biokütle pirolizi ve gazlaştırması ise diğeri biyoyakıt üretim yöntemleridir.

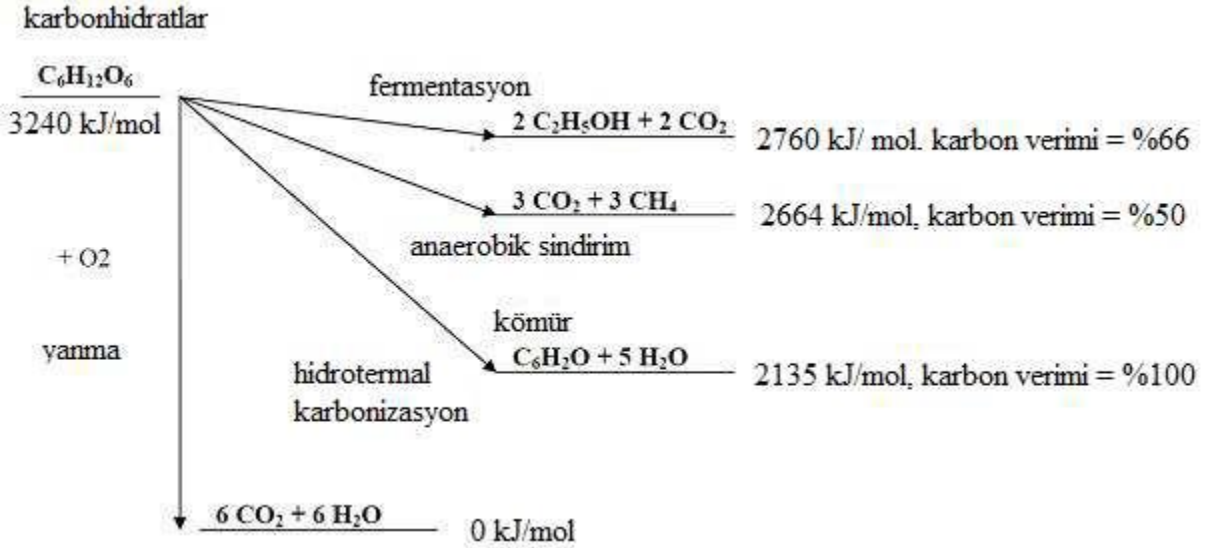
Seker, nişasta ve yağ içeren birinci nesil giriş maddelerinden elde edilen biyoyakıtlar besin değeri olan maddeler esas alınarak elde edildiği için ekonomik ve etik problemler yaratmaktadır. Biyoyakıt üretimi için verimli ekin alanları kullanıldığı için gıda fiyatları artış göstermektedir. Ayrıca etanol üretimi için kullanılacak ekinlerin sulanması gerekliliği ve üretimde fermantasyon/distilasyon basamaklarında yüksek su tüketimi ayrıca bir sorun teşkil etmektedir.

Bunların dışında organik atıkların anaerobik çürümesi ile biyogaz elde edilmektedir. Biyogazın içeriği % 50-70 metan, % 25-40 karbondioksit ve küçük miktarlarda hidrojen, azot, oksijen ve hidrojen sülfür şeklindedir. Bu gaz elektrik ve ısı üretimi için ya da ulaşım yakıtı olarak kullanılabilir. Atık organik maddelerin muamelesi için anaerobik çürüme çevre dostu bir yöntemdir. Genel olarak bakıldığında yalnızca lignoselülozik yapıdaki ikinci nesil giriş maddelerini kullanarak üretilen biyoyakıtlar çevre dostudur. Hali hazırda yakma için kullanılan ya da hiç kullanılmayan düşük değerli atık lignoselülozik malzemeler bu alanda büyük bir potansiyele sahiptir. Ne var ki lignoselülozik malzemelerden elde edilen biyoetanolün enerji miktarı fosil kaynaklı yakıtların enerji miktarından oldukça düşüktür.

Bu bağlamda birinci nesil giriş maddeleri kullanılarak biyoyakıt üretimiyle HTC işlemi karşılaştırıldığında; HTC işlemi ikinci nesil giriş maddesi kullandığı için gıda için kullanılan ekinler için bir tehdit oluşturmamakta aksine düşük değerli ve bol miktarda bulunan biokütleler kullanıldığı için ucuz bir yöntemdir. HTC konusunda mevcut bilgi birikimi yeterli olduğu için kurulacak tesisler için ayrıca bir araştırma ve geliştirme ihtiyacı duyulmamaktadır. Biyoetanol üretimi ve biyogaz üretimi ile karşılaştırıldığında HTC yönteminin karbon verimi çok daha yüksek olduğu için üretilen enerji miktarı işlem sırasında harcanan enerji

miktarından teorik olarak çok daha yüksektir. HTC işlemi bir kere aktive edildiğinde kendiliğinden yürüyen ekzotermik bir işlemdir. Suyun yüksek termodinamik kararlılığı nedeniyle karbonhidrat içerisinde depo edilmiş yanma enerjisinin üçte birini açığa çıkarır. HTC işleminin karbon verimliliği % 100'e yakındır, çünkü başlangıç maddesinin içindeki karbonun neredeyse tamamı son ürünün içerisinde kalır. Bu değerin elde edilebilmesi için sıcaklığın 200 °C altında olması ve pH değerinin 5-7 arasında olması gerekmektedir.

Fermantasyonun ve aerobik çürümenin karbon verimi ise sırasıyla % 66 ve % 50 kadardır. Diğer yöntemler ile HTC işleminin enerji ve karbon verimi açısından diğer yöntemlerle karşılaştırılması aşağıda verilmiştir.



Şekil 41. Karbonhidratlar

Hidrotermal dönüşüm yöntemi ile hammaddelerin muamelesi, çevre, en iyi değerlere ayarlanmış reaksiyon süresi ve ekonomi gibi kendine özgü avantajlarıyla umut verici bir kimyasal yol sunmaktadır. Biokütlelerin hidrotermal dönüşümü reaksiyon şartları ve ürünler yönünden süper kritik su ile hidrotermal gazlaştırma ve bastırılmış sıcak su içerisinde hidrotermal karbonizasyon şeklinde iki ana gruba ayrılmaktadır. Hidrotermal karbonizasyon ile karbon içeriği yüksek katı ürün ve suda çözünebilir organik sıvılar elde edilebilmektedir. Oluşan biyo-yag, eter ve etil asetat gibi çözücüler ile ekstrakte edilebilir.

Gerçek biyokütleler

lignoselülozik yapıda gerçek biokütle olarak pirina ve fındikkabuğu kullanılarak yapılan çalışmalarda. İyi sonuçlar alınmıştır. Birçok bitki temel olarak selüloz, hemiselüloz, lignin ve bazı diğer bileşikler olarak dört temel bileşene sahiptir ve bitki türüne göre bu bileşenlerin bileşimi ve oranları değişmektedir. Yumuşak odunsu bitkilerin çoğu otsu bitkilere göre çok daha yüksek selüloz içeriğine sahiptir. Sert odunsu bitkiler yumuşak odunsu bitkilere göre daha yüksek selüloz ve hemiselüloz içeriğine sahipken yumuşak odunsu bitkilerin lignin içeriği daha yüksektir.

Deneysel Olarak Elde Edilme İşlemi

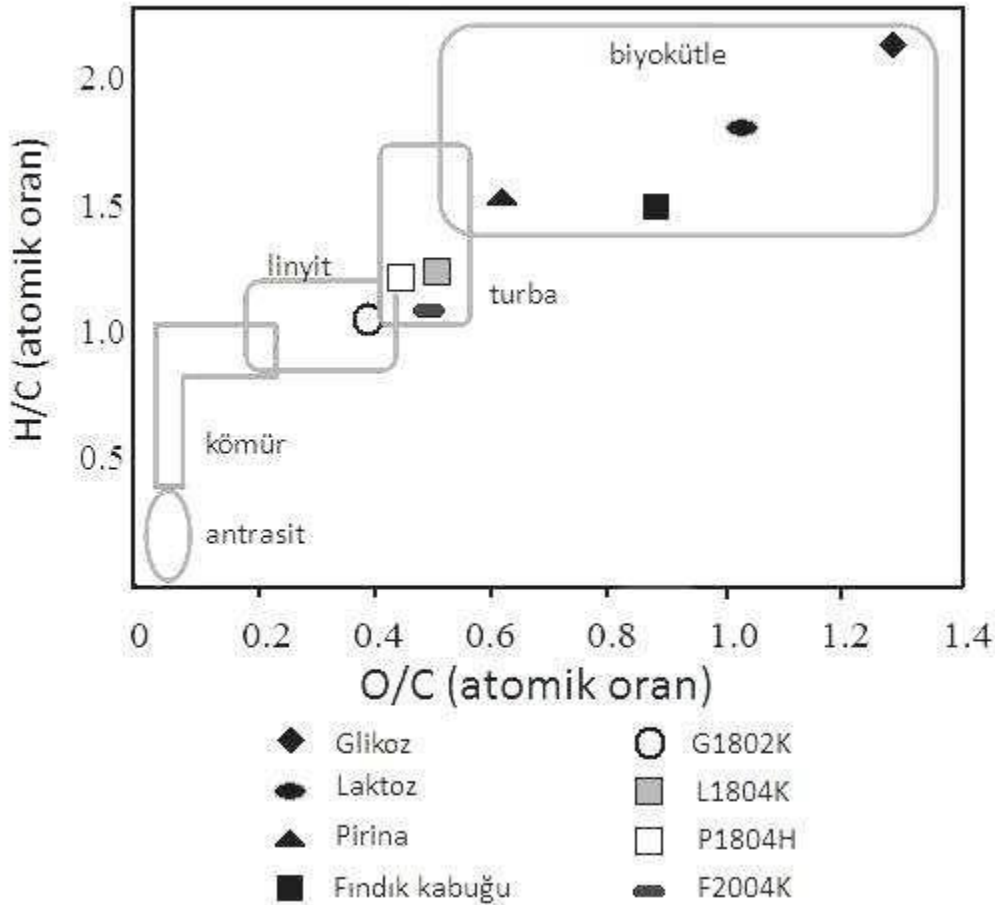
Farklı biokütlelerle 160 °C-180 °C-200 °C sıcaklıklarda 2-4-6 saat süreyle deneyler gerçekleştirilmiştir. Asit katalizli gerçekleştirilen deneylerde biokütlelerin yüzde miktarları değişmeyecek şekilde ortama 3 ml HCl ilave edilmiştir. Belirtilen süreler tamamlandıktan sonra otoklav oda sıcaklığına kadar soğutulup açılmıştır. Sistemden elde edilen ürün vakumda süzme işlemine tabi tutularak katı kısım ayrılmıştır.

Kirliliklerin uzaklaştırılması amacıyla katı ürün önce birkaç kez saf su, daha sonra etanol ile yıkanarak 80 °C sıcaklıktaki etüv içerisine alınarak 6 saat süreyle kurutulmuştur. Ayrılan sulu faz ise analiz edilmek üzere ayrılmış ve cam şişeler içerisinde 4 °C'ta saklanmıştır. (Glikoz=G, Laktoz=L, Pirina=P, Fındikkabuğu=F), deney sıcaklığını (160, 180, 200), deney süresini (2, 4, 6) ve katalizörsüz ya da katalizörlü olduğunu (katalizörsüz=K, katalizörlü=H) ifade etmektedir.

Örnek	Verimi [% (m/m)]	Kazanılan % C	HHV (kcal/kg)	Enerji Sıkıştırma Oranı	Enerji Verimi (%)
Glikoz	28,00	48,88	2414	2,14	59,92
G1802K			5154		
Laktoz	32,50	30,87	2858	1,67	54,28
L1804K			4792		
Pirina	34,00	39,73	4515	1,77	60,18
P1804H			5316		
Fındıkkabuğu	51,00	61,06	3271	1,29	65,79
F2004K			4231		

Şekil 42. Numunelerin Sonuçlarının Karşılaştırılması

Aşağıdaki şekilde giriş maddelerinin ve elde edilen ürünlerin H/C ve O/C atomik oranları değerlerinden çizilmiş olan van Krevelen diyagramı görülmektedir. Giriş maddelerinin tamamı biokütle olarak işaretlenmiş bölge içerisinde ve görüldüğü üzere linyit ve kömür türevlerinin bölgelerinden oldukça uzaktadırlar.



Şekil 43. Giriş maddelerinin ve elde edilen ürünlerin van Krevelen diyagramı üzerinde gösterimi

Hidrotermal karbonizasyon işleminden sonra tüm numunelerin değerlerinin linyit bölgesine oldukça yaklaştığı görülmektedir. En yakın değer glikozdan elde edilen G1802K numunesinde gözlenmiştir. Ancak burada asıl önemli olan pirina ve fındikkabuğundan elde edilen numunelerin değerleridir. Çünkü glikoz ya da laktoz gibi malzemelerden biyokömür elde edilmesine göre fındikkabuğu ve pirina gibi atık biokütlelerden elde edilmesi çok daha mantıklı ve ekonomik açıdan önemlidir. Görüldüğü gibi hem pirinadan elde edilen P1804H numunesi hem de fındikkabuğundan elde edilen F2004K numunesi linyit bölgesine oldukça yakındır ve bu durum hidrotermal karbonizasyondan sonra elde edilen bu ürünlerin kömür yerine kullanım potansiyelini açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

Reaksiyon koşulları ve termokimyasal dönüşüm için tipik ürün verimlerinin karşılaştırması

Process	Reaction conditions (temperature [°C]; vapor residence time)	Product distribution (weight%)		
		Char	Liquid	Gas
Pyrolysis: slow	~400; h-week	35	30	35
Pyrolysis: intermediate	~500; ~10–20 s	20	50	30
Pyrolysis: fast	~500; ~1 s	12	75	13
Gasification	~800; ~10–20 s	10	5	85
HTC	~180–250; no vapor residence time, ~1–12 h processing time	50–80	5–20% (dissolved in process water, TOC)	2–5
HTC: Hydrothermal carbonization; TOC: Total organic carbon. Adapted from [16,28].				

Şimdiye Kadar Neden HTC Uygulanmadı?

Başlıca nedenleri, geçmişte düşük enerji maliyeti ve yeşil ev emisyonu üzerine odaklanılmamış olmasıdır. CO₂ Sertifikaların dünya çapında tanıtılması ve sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik küresel bir odaklanma ile HTC oldukça rekabetçi bir teknoloji haline gelmiştir. Bir diğer engel HTC kimyasal işlemi bugün de anlaşılmış olmasına rağmen, endüstriyel ölçekte dağıtılması olmuştur. AVA-CO₂ dünya çapında bir sanayi ölçekli HTC tesisi işletmek için ilk firma oldu.

HTC Sürecinin Ana Avantajları Nelerdir?

1. Çok iyi kanıtlanmış ve belgelenmiş bir süreç
2. Standard teknolojisi, enerji birimi başına üretilen düşük maliyetle sonuçlanır, nispeten düşük sıcaklık ve basınç seviyelerinde uygulanabilir.
3. Ekzotermik süreç (proses fazla enerji üretir)
4. Nihai ürünlere bağlı olarak, proses CO₂ nötr hatta CO₂ negatif olabilir
5. Nemli veya ıslak kuru biokütle ürünleri içeren çok sayıda tipte biyokütle tipi kullanılabilir.

HTC Sürecinin Dezavantajları Nelerdir?

HTC' de tek dezavantajı, lignin yüksek bir içeriğine sahip olan biokütle ile çok iyi çalışmamasıdır. Aksi halde HTC biyokütle enerjisini dönüştürmek için en sağlam, verimli ve ekonomik bir süreçtir.

2.6.5. Genetik ve Biokütle Enerjisini Arttırma Çalışmaları

Yüksek verimli enerji bitkileri

Son yıllarda, yüksek büyüme hızlarına sahip ve oldukça verimsiz topraklarda bile yetişebilen enerji bitkileri üzerine yapılan çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu bitkilerle, günümüzde enerji tarımı olarak da tanımlana bilen yeni bir tarım türü geliştirilmiştir. Bu tarımda kullanılan bitkilerin bazılarının tohumları artık genetik mühendisliği yardımıyla geliştirilmektedir. Bu bitkiler arasında şeker kamışı, mısır, şeker pancarı gibi iyi bilenen ürünler yanında, ülkemizde fazla tanınmayan Miscanthus, sorgum gibi bazı ürünlerde bulunmaktadır. Bu bitkilerin özellikleri C_4 tipi bitki gurubu olarak adlandırılmaktadır. C_4 bitkilerinin genel özellikleri aşağıdaki şekilde verilebilir.

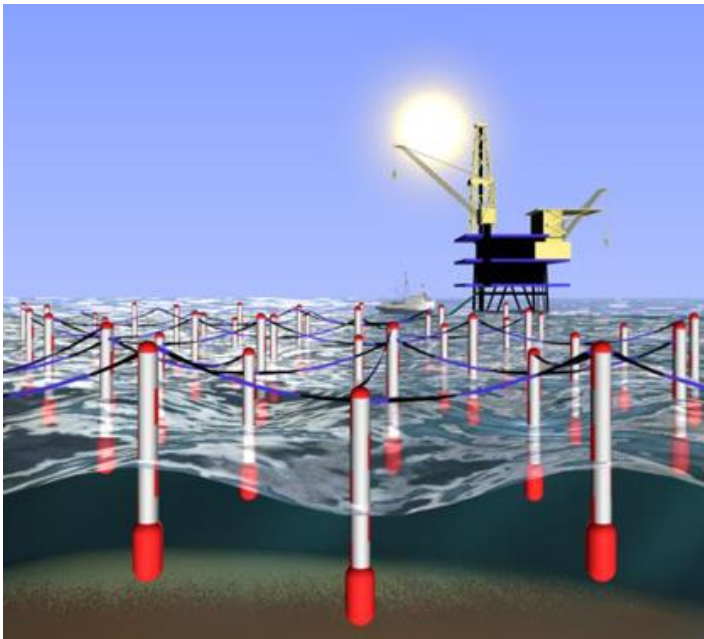
- Düşük karbondioksit derişimi ne gereksinim duyarlar,
- Yüksek sıcaklığa gereksinim duyarlar,
- Daha düşük oranda suya gereksinim duyarlar,
- Mevsimsel kuraklığa dayanıklıdır,
- Başlangıçta 4 karbon atomu içeren organik molekülleri bağlarlar,
- Işık şiddetini kullanma yetenekleri yüksektir.

Hemen her bitkinin yaşamı için gerekli olan karbondioksitin havadaki tutarı da ayrıca önem taşımaktadır. Bazı bitkiler, havadaki karbondioksit derişimi belli bir oranın altına düştüğünde, solunum yapamazlar. Fakat C_4 bitkilerinin en önemli özelliklerinden biri atmosferdeki her karbondioksit molekülünü soğurabilmesidir. Bunun anlamı, kurumsal olarak dünyanın her yanında çok büyük alanlarda C_4 bitkisi yetiştirildiğinde atmosferdeki karbondioksit oranının düşmesi nedeniyle sera etkisi azalacağından, dünyanın soğurma tehlikesi ile karşılaşma olasılığıdır. Bir iddiaya göre dünya da bir zamanlar yaşanan buzul çağının nedenin C_4 bitkileridir. Ancak, günümüzde dünyanın hızla ısındığı göz önüne alındığında C_4 bitkilerinin bu problemle iyi bir çözüm olacağı anlaşılmaktadır.

Genetik Mühendisliği ile karbon bileşimi arttırılmış yeni türde organik ürünler elde edilmesiyle Biokütle enerjisinde mol başına düşen enerji miktarını arttırabiliriz.

2.7. Dalga Enerjisi Potansiyeli

Dalga enerjisi direk olarak dalga yüzeyinden veya yüzey altındaki dalga basınçlarından elde edilir. Dalgalar deniz veya okyanusların yüzeyinde esen rüzgârlar tarafından üretilir. Dünyanın birçok yerinde rüzgâr sürekli dalgalar oluşturacak kadar düzenli ve sürekli eser. Deniz ve okyanus dalgalarında çok büyük enerji vardır. Dalga enerjisi makineleri dalgaların yüzey hareketlerinden veya dalga basınçlarından direk olarak enerji üretir.



Dalga enerjisini kullanmak için birçok çeşit teknoloji projelendirilmiştir. En elverişli tasarımlardan birkaçının ticari kullanım için uygulama testleri yapılmaktadır. Dalga enerji teknolojileri kıyıda, kıyıdan biraz uzakta ve açık denizde kurulmak için tasarlanmıştır. *Denizden biraz uzakta kurulacak sistemler suyun 40 metreden fazla derinine yerleştirilir.*

Bütün dalga enerji teknolojileri su yüzeyinde veya su yüzeyinin yakınında kurulmak için tasarlanmış olsa da, etkileştikleri, uyum sağladıkları dalgaya ve dalga enerjisini çevirdikleri enerjiye göre farklılık gösterirler.

Sonlandırıcı makineler dalgaların hareketi yönünde dikey olarak uzanır ve dalga enerjisini yansıtır veya yakalar. Bu tür makinelerin son sürümleri denize yakın yerlere kurulmak için

tasarlanmış olsa da, genelde sahilde ve ya sahile yakın yerlerde kurulmak için tasarlanmıştır. Titreşen su sütunu sonlandırıcı makinenin başka bir çeşididir. Bu makinede su yüzey altında bulunan yukarıda sıkışmış hava bulunan bir bölme girer. Dalga hareketi giren suyun yukarıya ve aşağıya bir piston gibi hareket etmesini sağlar ve havayı bağlı bulunan türbine doğru iter.

Noktasal soğurucu dalga hareketiyle birbirlerine bağlı olarak hareket eden bileşenleri bulunan yüzey bir yapıdır. Bağlantılı hareket elektromekanik veya hidrolik enerji çeviricilerinin sürülmesi için kullanılır.

Azaltıcılar dalgaların yönüne paralel olarak yönelmiş uzun çok parçalı yüzer yapılardır. Makine boyunca dalgaların yükseklik farkı parçaların birleştiği noktalardan bükülmeye neden olur ve bu bükülme hidrolik pompalara veya diğer çeviricilere bağlıdır.

Yükseğe Çıkan Makinelerin makineyi çevreleyen deniz veya okyanusun ortalamasını aşan seviyede dalgalar tarafından gelen suyla dolan rezervuarları vardır. Su yükseldikten sonra yer çekimi deniz yüzeyine doğru geri çekilmesine neden olur. İçeriye dolan suyun enerjisi su türbinlerini döndürmek için kullanılır. Özel olarak üretilen açık deniz tekneleri kıyının biraz açığındaki dalgaların enerjisini depolarlar. Bu yüzer platformlar dalgaları dâhili bir türbinden geçirerek ve tekrar denize dönmesini sağlayarak elektrik üretirler.

2.7.1. Dalga Enerjisi Üretim Sistemleri

Dalga enerjisi dönüştürme teknolojileri kıyı boyunca, kıyıya yakın ve kıyından uzak bölgelerde uygulananlar olmak üzere üç ana grupta toplanabilir. Dalga yüksekliği ve frekansı elde edilecek dalga enerjisinin esas öğeleridir. *Her dalga yüksekliğinden istenilen enerjinin elde edilebilmesi, dalga enerjisinin önemli avantajlarından biridir.*

A.Kıyı Şeridi (Shoreline) Uygulamaları

Kıyı Şeridi uygulamalarında, enerji üretim yapıları kıyıda sabitlenmiş veya gömülü halde bulunurlar. Bakım ve inşası diğer uygulamalara göre daha kolaydır ve derin su bağlantılarına veya uzun su altı elektrik kablolarına ihtiyaç yoktur. Bununla birlikte, daha az güce sahip dalga rejimi nedeniyle elde edilebilen dalga enerjisi daha az olabilmektedir. Bu tür uygulamaların yaygınlaşması kıyı şeridi jeolojisi, gel-git seviyesi ve kıyı yapısının korunması gibi etkenlerle sınırlanmaktadır.

1-) Salınlı Su Kolonu (Oscillating water column-OWC)

Bu sistemlerde su kolonu ve onun üzerinde bir hava kolonu vardır. En alttaki kapı suyun içeri girmesini sağlar. Su tarafından sıkıştırılan hava dar kısımdan geçerek çıkıştaki türbini hareket ettirir. Dalga geri çekilirken içerdeki havayı boşaltacak bu hareket türbinin yeniden hareket etmesini sağlayacaktır.

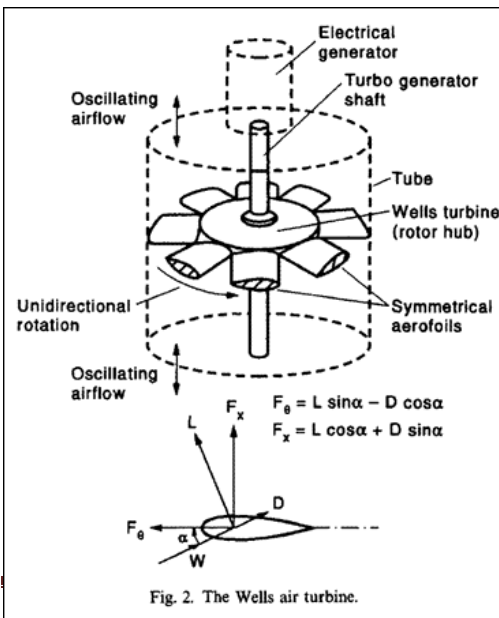
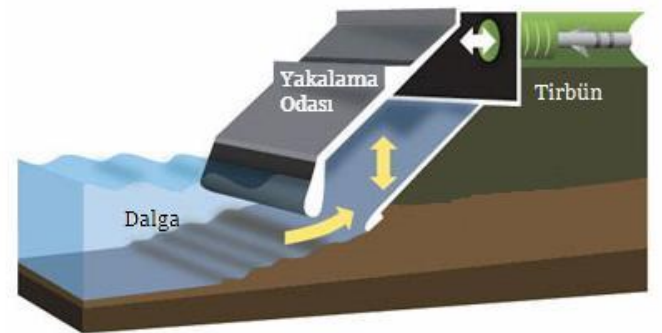
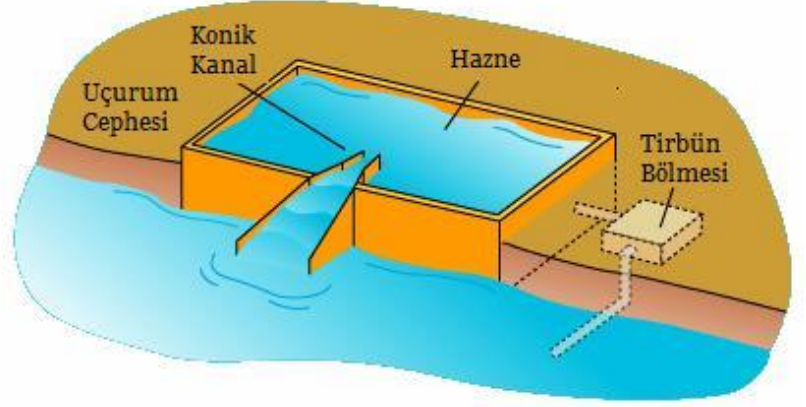


Fig. 2. The Wells air turbine.

Bu sistemde normal bir türbin kullanılırsa su odaya girdiğinde ve odadan çıkarken türbin pervanesi farklı yönlerde dönecektir. Bu durumda pervane durup çalıştığı için enerji üretimini azaltacaktır. Ancak wells türbini kullanıldığında bu türbinin özel yapısı sayesinde zaman kaybı yaşanmadan her zaman tek yöne doğru dönüş sağlanır ve daha verimli bir şekilde enerji üretilmesini sağlar.

2-) Daralan Kanal Sistemi (TAPered CHAnel -TAPCHAN)

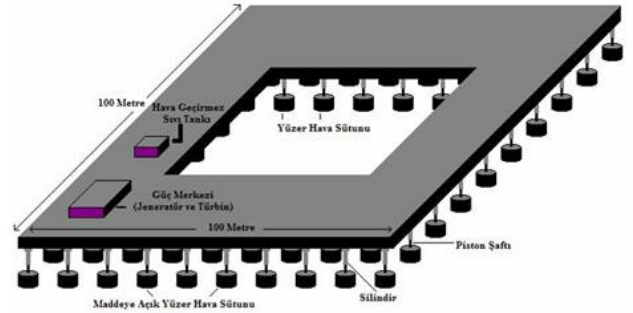
Bu sistemler su seviyesinin 3-5 metre üzerinde duvar yüksekliğine sahip, uçurumun kenarına inşa edilmiş hazneyi besleyen, gittikçe daralan bir kanaldan oluşmaktadır. Kanalin daralması dalga yüksekliğinin artmasına neden olur ve yükselen dalgalar kanal duvarlarından haznenin içine boşalır. Su haznede depolandığı için hareketli dalganın kinetik enerjisi potansiyel enerjiye dönüşür. Depolanan su türbine verilir. Çok az hareketli parçası olduğundan düşük bakım maliyetine ve yüksek bir güvenilirliğe sahiptir.



Bu sistemde ihtiyaç duyulana kadar enerji depolanabilmektedir. Ancak sistemleri bütün kıyı kesimleri için uygun değildir.

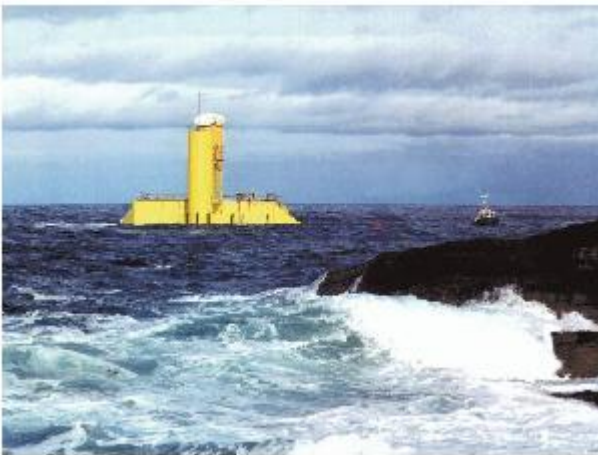
3-) Pendula

Pendular, bir tarafı denize açılan dikdörtgen bir kutu şeklindedir. Bu açıklık üzerine sarkaç bir kapak menteşelenmiştir. Kapak dalga hareketiyle ileri-geri hareket etmektedir. Bu hareket jeneratörün ve hidrolik pompanın çalışması için kullanılır.



B.Kıyıya Yakın (Near Shore) Uygulamalar

10-25 metre su derinliklerinde gerçekleştirilmektedir. Bu uygulamalar şunlardır.



1-) Osprey

Wavegen tarafından geliştirilen Osprey'in gücü 1,5 MW'lık rüzgâr türbininin dâhil edilmesiyle 2 MW'a çıkarılmıştır. Bu sistemin ticari gösterimi için üzerinde oldukça çok çalışmalar yapılmıştır ve özellikle inşaa maliyetinin düşürülmesi amacıyla çalışmalar devam etmektedir.



2-) Wosp 3500

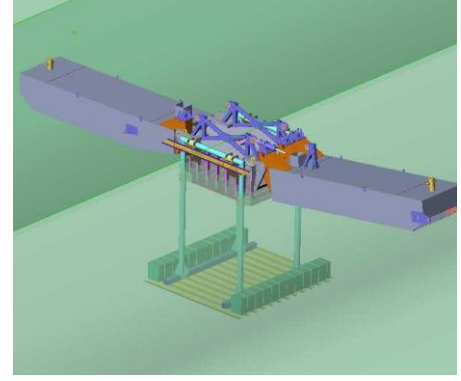
WOSP (Rüzgâr ve Okyanus Salınım Enerjisi) kıyıya yakın dalga ve rüzgâr enerji istasyonunun birleştirilmiş halidir. Eklenen 1,5 MW'lık rüzgar üretim kapasitesi, tesis kapasitesini 3,5 MW'a yükseltir.

C.Kıydan Uzak (Offshore) Uygulamalar

40 metreden daha derin sularda kıydan uzak uygulanan cihazlar kullanılmaktadır. Bu tür sistemlerde uzun elektrik kablolarına gereksinim vardır.

1-) McCabe Dalga Pompası (McCabe Wave Pump)

Bu cihaz, birbirine menteşeli, düzenli bir şekilde sıralanmış ve birbirlerine bağlı hareket eden 3 adet dikdörtgen çelik (4 m genişliğinde) duba içermektedir. Ekstra bir kütle eklenmesiyle merkez dubanın ataletinin artması sağlanır. Enerji ise merkez duba ile diğer dubalar arasına monte edilen hidrolik pompa vasıtasıyla menteşe noktalarındaki hareketten sağlanmaktadır. Örnek bir cihaz 40 metre uzunluğunda Kilbaha, County Clare ve İrlanda'da kurulmuştur.



2-) OPT Dalga Enerji Dönüştürücüsü (WEC)

2-5 metre çaplı üstü kapalı, tabanı denize açık silindirik bir yapı içerir. Yapının tepesi ile yapı içerisinde yüzen çelik yüzücü arasında hidrolik pompa yerleştirilmiştir. Yapının yüzücüye göre hareketinden elektrik üretilir. Bu sistem, Doğu Atlantik'te büyük ölçekte test edilmiştir ve ilk ticari yapılar Avustralya ve Pasifik'te kurulmak üzeredir.



3-) Pelamis:

Bu yapı, kısmi olarak su içinde yer alan, menteşeli noktalarla birbirine bağlı silindirik bölümlerden oluşan eklemliler bir yapıdır. Dalga ile birleşim noktaları hareket eder ve bu hareketle hidrolik pompalar elektrik jeneratörlerini çalıştırır. Günümüzde, 375 KW gücünde, 130 metre uzunluğunda ve 3,5 metre çapında bir sistemin geliştirilmesi için çalışmalar devam etmektedir.

2.7.2. Dalga Enerjisinin Sağladığı Faydalar

Temiz, sınırsız ve ucuz enerji üretir. İlk yatırımından başka hiçbir girdisi yoktur. Nüfus yoğunluğu kıyılarda toplanmış olan ülkemizde enerji, üretilen yerde tüketileceğinden uzun iletim hattına gerek yoktur. Öngörülen enerji ihtiyacına göre boyutlandırılır. Büyük dalga boyutu maliyeti düşürür. Dalganın görevi görerek, denizlerdeki balık neslinin çoğalmasına yardım eder, ekolojik dengeye katkıda bulunur. Deniz üzerinde kurulduğu için tarım arazilerini yok etmez. İleri teknoloji gerektiren, politik baskı ve ambargo malzemesi olabilecek, hiçbir girdisi yok. Her zaman kesintisiz ve kaliteli enerji üretir.

Dalgalardan elde edilen ucuz elektrik enerjisi, yoğun nüfuslu büyük şehirlerimizde ısınma amaçlı kullanılacağından, soluduğumuz havanın kalitesini yükseltecektir. Dalga elektrik santrallerinin üzeri otel, sosyal tesis, disko, gazino, restoran vs. olarak kullanılabilir. Sistemde gürültü dâhil, hiçbir kirlenici yoktur. Dalga elektrik santralleri, adalar için ideal enerji santralleridir.

2.7.3. Körfezde Dalga Enerjisi Potansiyeli

Üç tarafı denizlerle çevrili olan Türkiye’de, bütün kıyılardan aynı oranda dalga enerjisinden elektrik üretimi mümkün olmamakla birlikte, deniz dalga dönüştürücülerinin tek sıra halinde dizilmesi gerekmediğinden, açık cephe kıyı uzunluğunun büyük önemi yoktur. Ayrıca dalga dönüştürücülerinin, deniz rüzgâr türbinleri ile bütünleşmiş bağlantılı olarak şebekeyi beslediği sistem üzerinde de durulmaktadır. Türkiye kıyılarının, balıkçılık, turizm, askeri tesisler nedeniyle 1/5’inden yararlanarak sağlanabilecek dalga enerjisi teknik potansiyeli, 18,5 milyar kWh olarak tahmin edilmektedir. Sadece bir seri/dizi küçük ölçekli dönüştürücüden, yıllık 4-17 kW/m arasında dalga gücü olan sularda, toplam yaklaşık olarak 10 TWh/yıl enerji elde edilebilir. Bu, ekonomik olarak üretilebilir Türkiye hidroelektrik enerji potansiyelinin % 12,5’idir.

Dalga enerjisinin ilk yatırımından ve bakım giderlerinden başka gideri olmayan, birincil enerjiye bedel ödenmeyen, doğaya her hangi bir kirlenici bırakmayan, ucuz, temiz, çevreci ve çok büyük bir enerji kaynağı olan ve bunun kullanımını sağlamak için araştırma çalışmalarının yapılması ülke için çok önemlidir.



Şekil 44. Türkiye Dalga Enerjisi Atlası

Körfez bölgesinin dalga enerjisini Midilli Adası kesmektedir, ayrıca rüzgarın kaz dağlarından esmesi dalga boylarının en fazla 2.4 m olmasına sebep olmaktadır. Uluslar arası deniz sınırlarının yakın olması ve kıyı çevresinin halk plajları olması nedeniyle bölgeden dalga enerjisinden yararlanma potansiyeli düşüktür. Belirli bölgelerde salınlı su kolonu uygulamaları yapılabilir. Ayvıcık bölgesinde uluslar arası sular daha uzak olması ve sahilin turizmden uzak olması kıyıda uzak dalga enerjilerinin kurulabilir olduğunu ancak tek başına enerji kaynağı olarak yetersiz kalacağı görülmektedir. Bu bölge için dalga enerjisi bütünleşik sistemlerde kullanılarak daha verimli sonuçlar alınabilir.

2.8. Deniz Akıntısı Enerji Potansiyeli

Akıntı enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında yeni popülerleşen bir uygulamadır. Temelde uygulama, denizde oluşan akıntının, altına kurulacak dönüşüm santralini tribünlerini döndürmesiyle oluşan hareket enerjisinin elektrik enerjisine dönüşmesidir. Sistem Rüzgâr Enerjisi Santrali (RES) nin çalışma mantığıyla çalışır. Ancak, akıntı enerjisinin rüzgâr enerjisine karşı 2 temel avantajı vardır. Bunlar;

- Su, havaya göre daha yoğun (832 kat) olduğu için, akıntıdan elde edilecek verim rüzgâra kıyasla çok daha fazladır.
- Akıntı, tahmin edilebilirlik açısından rüzgâra göre oldukça avantajlıdır.



- Elimizdeki verilere akıntının davranışını önümüzdeki 100 sene boyunca tahmin etmek mümkündür. Bu tahmin edilebilirlik planlama açısından oldukça önemlidir.

Akıntı enerjisi, boğazlardakine benzer deniz akıntılarının kinetik enerjisinin dönüştürülmesi ve kullanılmasıyla elde edilen enerji türü. Şu an için halen geliştirme aşamasında olmakla birlikte gelecekteki enerji ihtiyacını karşılama konusunda önemli bir alternatiftir. Deniz akıntılarının en önemli avantajı, rüzgâr ve güneş enerjisinde olduğu gibi anlık değişen çevre koşullarından etkilenmemesi ve daha tutarlı planlamaya olanak sağlamasıdır.

Deniz akıntıları gelgit, yerel sıcaklık ve tuzluluk farkı ve Coriolis kuvveti gibi farklı etkenlerle oluşur.

Gelişen teknolojiyle 1-2 m/s'lik akıntı hızlarında da etkin çalışabilecek elektrik jeneratörleri oluşturmak mümkün görünüyor. Boğazdan su akıntısıyla beraber yüzlerce MW'lık kinetik enerji akıyor. Su yoğunluğu hava yoğunluğuna göre aşağı yukarı 1000 kat daha fazla olduğu için akıntı hızı rüzgâr hızına göre çok daha düşük olsa da küçük jeneratörlerle bile rüzgâr enerjisine göre daha büyük elektrik enerjilerinin elde edilmesi mümkün görünüyor. Örneğin bir oda büyüklüğündeki jeneratörle 2 m/s akıntı hızında 300-400 aileye yetecek elektrik enerjisi elde edilebilecektir. *Boğazdaki su akıntılarının düzenli ve kararlı olması düzgün elektrik enerjisi elde edilmesinde büyük avantaj oluştururken sistemin tuzlu suda kurulup uzun süre çalıştırılması büyük zorluklar taşımaktadır. Bu nedenle dünyanın hiçbir yerinde henüz denizlerdeki akıntılardan elektrik enerjisi elde edilmesi ekonomik üretime geçememiştir.*



Şekil 45. Gelgit ve Akıntı Enerjisi Türbinleri

Bu durum rüzgâr enerjisinde 1980'lerdeki durumuna benzemektedir. 1980'li yıllarda en fazla 55 kW olan rüzgâr türbinlerinin kapasitesi günümüzde 5 MW düzeyini aşmış durumdadır. Denizlerdeki akıntılardan da ekonomik elektrik enerjileri elde edebilmek için daha onlarca yıl bu alana yatırım yapılması ve teknoloji geliştirilmesi gerekmektedir. Boğaz akıntısından elde edilebilecek temiz ve verimli enerji, yatırımcılarını beklemektedir.

2.8.1. Körfezde Akıntı Enerjisi Potansiyeli

Körfezin açık deniz olması ve dağlardan akan soğuk su ile tuzlu deniz arasında oluşan etkileşimlerde göz önüne alındığında su içerisinde önemli akıntı güçleri olma potansiyeli yüksektir. Türkiye’de henüz her bölge için akıntı haritası oluşturulmamıştır. Çanakkale ve İstanbul Boğazının debileri mevcuttur. Bu kaynaklar bile Türkiye’de akıntı potansiyelinin çok yüksek olduğunu göstermeye yeterlidir.

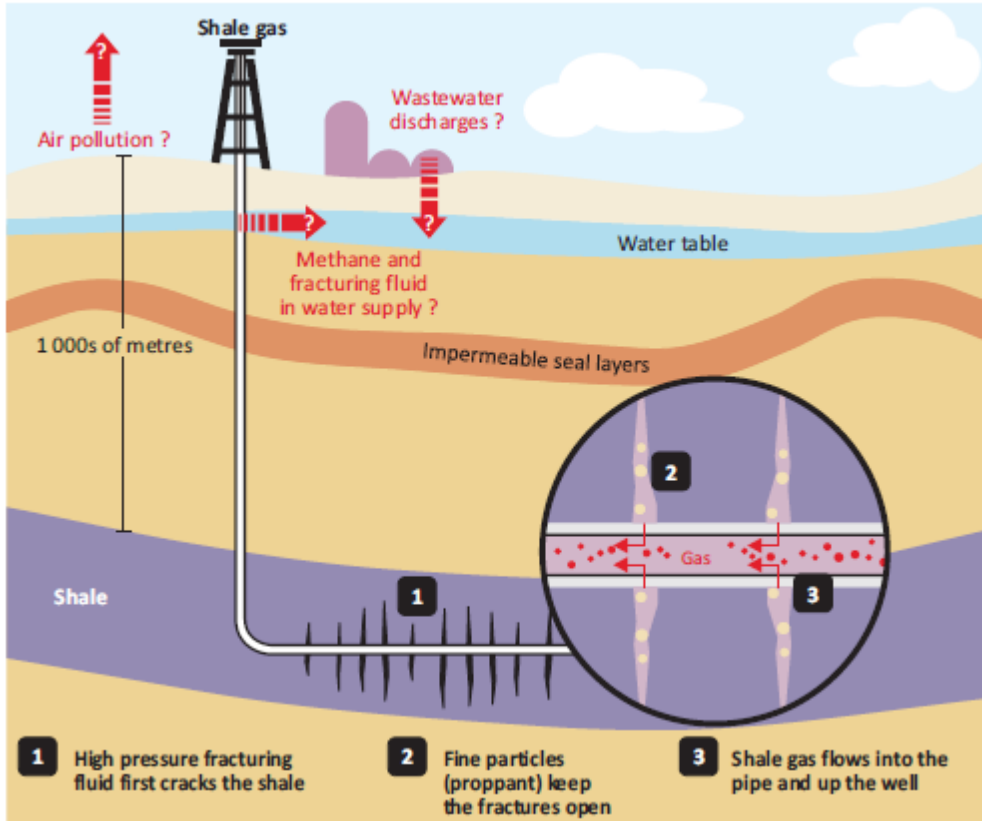
3. Geleceğin Enerji Kaynakları

3.1. Kaya Gazı Enerjisi

Kaya gazı doğalgazın kayaçların içine hapsolmuş şeklidir. Doğalgaz, kömür ve petrole göre daha az karbon salımına neden olduğu için daha temiz ve çevreci yakıt türü olarak kabul edilir. Daha önceleri çıkarılması ekonomik olmayan kaya gazının büyük miktarlarda üretimi, sondaj ve hidrolik çatlatma yöntemlerinin birleştirilmesi ile mümkün oldu. Ancak üretim süreçlerinin çevre ile ilgili olarak yol açtığı endişeler, bu yeni enerji türünün gerçekten çevreci bir enerji kaynağı olup olmadığı ile ilgili sorunların ortaya çıkmasına neden oluyor.

Bugüne kadar kaya gazından enerji elde edilmesi ABD’ye özgü bir olgu olarak biliniyordu. Çünkü ABD günümüzde ihtiyacı olan doğalgazın yaklaşık 1/3’ünü - kaya gazının 2000’li yıllara kadar doğalgaz arzında önemli bir katkısı yoktu – kaya gazından sağlıyor. 2040 yılında bu oranın %50’ye ulaşması bekleniyor. Yani ABD ilerde doğalgaz ihtiyacının tamamını kendi kaynaklarından karşılayabilir. ABD’nin toplam doğalgaz tüketiminin Türkiye’ninkinin yaklaşık 15 katı olduğu düşünülürse, ABD’nin kaya gazından elde ettiği doğalgaz miktarının Türkiye’nin toplam ihtiyacının 5 katı olduğu görülür.

Doğalgaz yeraltındaki jeolojik yapılarda hapsolmuş organik maddelerin, yüksek sıcaklık ve basınç altında milyonlarca yıl boyunca değişim geçirdikten sonra parçalanarak karbondan ve hidrojenenden oluşan bileşikler olan hidrokarbonlara dönüşmesiyle oluşur. Doğal gaz çoğunlukla metandan oluşsa da daha ağır hidrokarbon bileşikleri, örneğin etan, propan, butan içeren bir fosil yakıt türüdür.



Doğalgazın oluşun sürecinde çevresindeki kayaçların yapısındaki boşluklar gözenekliliği ve geçirgenliği (yani bir sıvının ya da gazın kayacın içinden geçebilmesi) önemli bir rol oynar. Örneğin kum taşı gözenekliliği ve geçirgenliği yüksek bir kayaç türüdür, bu nedenle doğalgaz ve petrol kum taşının içinden kolayca geçebilir. Oluşan doğalgaz kayaçların içindeki boşluklar boyunca yüzeye doğru hareket eder. Ancak geçirimsiz bir kayaç tabakası ile karşılaştığında yeryüzüne ulaşmadan orada birikir.

Doğalgaz yer altında bilinen bu birikme türü dışında farklı şekillerde de

bulunabilir. Kömür yataklarında oluşan doğalgazın ve kristal haldeki su moleküllerinde hapsolmuş metan gazının da (metan hidrat) aralarında bulunduğu alternatif doğal gaz kaynaklarından biride kaya gazıdır.

Kaya gazı bir tortul kayaç türü olan şeylin yapısındaki gözeneklerde hapsolmuş bir doğalgaz çeşididir. Kolayca parçalanabilen, ince katmanlar halindeki şeylin yapısındaki boşluk oranı yüksek olmasına rağmen

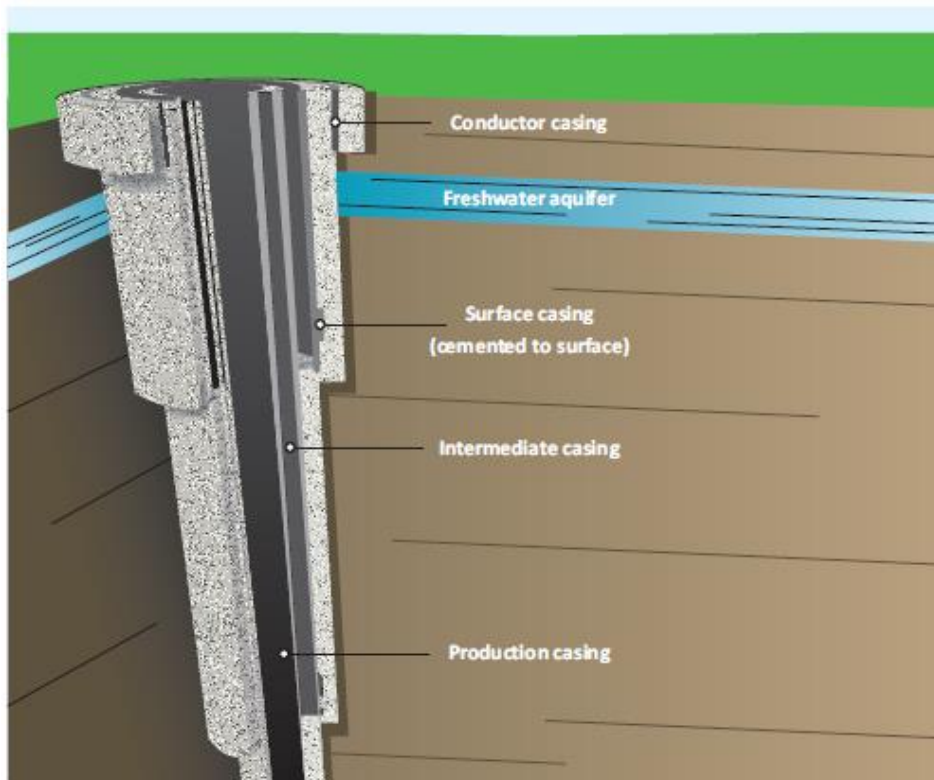
geçirgenliği düşüktür. Bir kayacın yapısındaki boşluk oranı yüksekken geçirgenliğinin neden düşük olduğu sorusu akla gelebilir. Geçirgenlik malzemenin yapısındaki boşlukların büyüklüğü, boşlukların birbiriyle bağlantısı ve malzemenin yapısıyla ilişkilidir. Birbiri ile teması aynı olan boşlukların boyutu büyükse geçirgenlik yüksek, küçükse düşüktür. Ancak boşluk oranı yüksek olsa da boşlukların birbiri ile teması yoksa kayaç geçirgen olmayabilir.

Geçirgenliğinin düşük olması nedeniyle şeylin içinde oluşan doğalgaz geçirgenliği daha yüksek kayalara doğru hareket edemez ve oluştuğu kayacın içindeki çok küçük gözeneklerde hapsolur. Bu nedenle kaya gazından enerji elde etme sürecinin maliyeti doğal gazı göre daha yüksektir. Ayrıca doğalgazın yer altından çıkarılmasında kullanılan dikey sondaj yöntemi kaya gazının eldesi için yeterince verimli bir yöntem değildir. Ancak 2000' li yıllarından başından itibaren doğal gaz fiyatlarının artması, yatay sondaj ve hidrolik çatlatma teknolojilerinin gelişmesi kaya gazının alternatif bir enerji kaynağı olarak kullanılmasına imkân sağladı.

Kaya gazı çıkarılırken dikey ve yatay sondaj yöntemleri bir arada uygulanır. Yeraltı sularının kirlenmesini önlemek için işlemin ilk aşamasında uygulanan dikey sondajın derinliğinin, en az içme suyunun sağlandığı yer altı su tabakasının altına ulaşması gerekir. Sondaj yapıldıktan sonra yer altı sularını korumak için sondaja açılan kuyuya çelik koruma borusu yerleştirilir ve borunun etrafındaki boşluk beton ile doldurulur. Yeraltı sularını korumak için bu işlem kuyunun yeryüzüne yakın olan kısmında birkaç kez tekrarlanır ve çok katmanlı bir koruma tabakası oluşturulur. Sondaj derine indikçe koruyucu katmanların sayısı azalır. Kaya gazı yatağının bulunduğu derinliğe ulaştığında sondaja yatay olarak devam edilir. Yatay kısmında açılan boşluğa da çelik koruma borusu yerleştirilir ve etrafı beton ile kaplanır.

Sondaj tamamlandıktan sonra delik açma mermileri kullanılarak yatay borularda delikler oluşturulur. Daha sonra kayaçlarda çatlaklar oluşturmak için borulara hidrolik çatlatma sıvısı adı verilen bir sıvı pompalanır. Hidrolik çatlatma sıvısı %98-99.5 oranında sudan ve kumdan oluşur. Küçük ve sert yapısıyla kum, oluşan çatlakların açık kalmasını sağlar. Hidrolik çatlatma sıvısı boruların korozyona uğramasını engelleyen, borularda farklı tür tortuların oluşmasını önleyen ve boru ile hidrolik sıvı arasındaki sürtünmeyi azaltan kimyasal katkı maddeleri içerebilir. Kaynaktan mümkün olan en yüksek miktarda kaya Gazı çıkarılabilmesi için yatay sondaj bölgesindeki çatlatma işlemi birçok kez tekrar edilebilir.

Oluşan çatlaklar sayesinde kayacın yapısındaki gözeneklerde hapsolmuş doğalgaz hidrolik çatlatma sıvısına geçer. Hidrolik çatlatma sıvısıyla birlikte yüzeye çıkan doğalgaz ayrılarak depolanır. Hidrolik çatlatma sıvısının yüzeye geri dönen kısmının miktarı, sondaj bölgesinin özelliklerine göre değişir. Yeraltında kalan kısmı ise kayaçlar tarafından soğurulur.



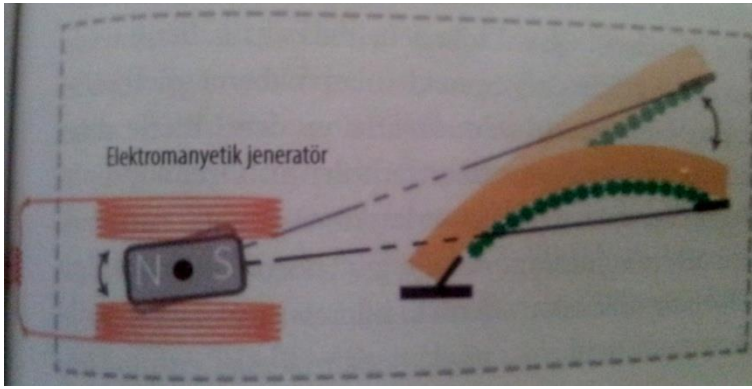
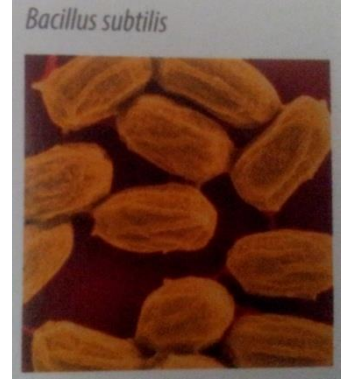
Şekil 46. Kaya Gazı Sondajı

3.2. Havadaki Nemden Elektrik Elde Edilmesi

Fosil yakıtların azalması, fiyatların devamlı artması ve yanmaları sonucu çevremize ve sağlığımıza verdikleri zararlar nedeniyle güneş, rüzgâr ve jeotermal enerji gibi çevreye daha az zarar veren, yenilebilir enerji kaynaklarının kullanımı için yeni teknikler gelişmesine olan gereksinim artıyor.

Bu kaynaklara bir yenisini de yakın zaman önce Doç. Dr. Özgür Şahin tarafından eklendi. Çalışmalarına Columbia üniversitesinde devam eden Şahin havadaki nem değişimlerinin kaynağı olan buharlaşmadan elektrik elde eden bir jeneratör geliştirdi.

Dr. Şahin, Bacillus subtilis sporu ile kaplanmış esnek bir silikon tabakayı atomu kuvvet mikroskobuna incelemeyi tamamladığı ırada sporların neme karşı hayli hassa olduğunu fark etti, o kadarki nefesindeki nemle bile silikon tabaka önce bükülüp sonra düzleşebiliyordu yani sporların silikonu hareket ettirebilecek enerjisi vardı. Sporlardaki bu enerjiyi fark eden Şahin, yaptığı hesaplamalara göre sadece yarım kg kuru sporla bile uygun nem değişiminde bir ton ağırlığındaki bir otomobili 1 metre yükseğe kaldırmak mümkün.



Dr. Şahin, nem değişimi ile yüksek enerji kazanan bu sporları elektrik jeneratörü yapımında kullandı. Silikon, kauçuk, plastik ve yapışkan bant gibi malzemeleri test ettikten sonra kauçuğun sporla kaplamak için en uygun madde olduğunu tespit etti.

Lego parçaları kullanarak, minyatür bir fan ve mıknatıs yardımıyla, spor kaplı ve enerjisini nemden elde eden kauçuk bir jeneratör elde etti. Kullanılan sporların genlerinin değiştirilmesiyle çok daha dayanıklı ve elastik

sporlar oluşturulabileceği ve bu sayede daha ok enerji elde edebileceğini düşünüyor. Hatta bu yönde yapılan yeni çalışmalar iki kat enerjiyi depolayacağını gösterdi bile. Enerji elde etmekte kullanılabilecek bu sporların enerji depolamakta ve hatta robot yapımında kullanılabileceği öngörülüyor. [Bilim ve Teknik Dergisi, Nisan 2014]



Şekil 47. Lego Tasarımı

3.3. Piezoelektrik Kristalden Elektrik Elde Edilmesi

Günümüz elektrik üretiminde tam olarak hala yeri alamamış olan ve adını bile duymamış olduğunuz bu sihirli kristaller geleceğimizin elektrik üretimin de pay sahibi olmaya aday.

Piezoelektrik kelimesi Latince bastırmak-press anlamındaki “piezo” ön ekinden türetilen bir kavramdır. *Piezoelektrik iletken olmayan billurdan yontulmuş bir levha belli bir doğrultuda uygulanan bir baskı (çekme ya da sıkıştırma) sonunda, billur levhanın iki yüzünde ters işaretli yüklerin (+q ve -q) çıkmasıyla nitelendirilen bir olaydır.*

Piezoelektrik malzemelerin özelliği, kristal yapılarına bağlı olarak bir kuvvet etkisi altında kaldıklarında elektrik akımı üretmeleri; elektrik alan etkisi altında kaldıklarında da yaklaşık hacimce % 4 mertebesinde biçim değiştirmeleridir. 1665’ten beri varlığı bilinen piezoelektrik özelliği, ilk kez 1880’de Pierre ve Jacques Curie kardeşler tarafından keşfedilmiştir. Pierre Curie önceleri Piroelektrik ve kristal simetrisi arasındaki ilgi üzerine çalışmıştır. Bu çalışma, kardeşleri sadece basınçtan meydana gelen elektriklenmeyi aramak zorunda bırakmış, fakat tahmini olarak basıncın ne yönde uygulanabileceği ve kristal sınıflarının etkisi açıklanmamıştır. Rochelle tuzu gibi birçok diğer kristalde de bulunmuştur. Hankel “piezoelektrik” ismini önermiştir.

Piezoelektrik elektriksel ve mekanik sistemler arasındaki bir etkileşimdir. Doğrudan (direkt) piezoelektrik etki mekanik gerilme tarafından üretilen elektrik kutuplanmasıdır. Piezoelektrik özellik malzemenin kristal yapı yöneliminin bir sonucudur.

Piezoelektrik malzemelerin çoğunlukla kullanılan tipi kurşun-zirkonyum-titanyum (PZT) piezoseramiklerdir. Piezoseramik malzemeler elektriksel etkiyi mekanik büyüklüğe, mekanik etkiyi elektriksel büyüklüğe dönüştüren simetri merkezi olmayan kristallerdir. Yaygın olarak kullanılan piezoseramik malzemeler;

- Kuartz (SiO_2) ,
- BaTiO_3 ,
- PbZrO_3 - PbTiO_3 alaşımı (PZT) ,
- $(\text{Pb},\text{La})(\text{Ti},\text{Zr})\text{O}_3$ alaşımı (PLZT)

Piezoelektrik özellik;

Sürekli kutuplaşmaya sahip bir asimetric iyon sal kristale basınç uygulanırsa kutuplar arası uzaklık azalır, yüzeyinde yük birikimi artar, dolayısıyla iki uç arasında bir gerilim farkı doğar ve bir iletkenle birleştirilirse akım akar. Böylece mekanik etki elektriksel büyüklüğe dönüşür. Diğer taraftan, aynı kristalin iki ucu arasına bir gerilim uygulanırsa (-) yükler (+) elektroda, (+) yükler (-) elektroda doğru çekilir , (-) ve (+) yük merkezleri arasında uzaklık artar ve bunun sonucu kristalin boyu büyür. Alanın yönü değişirse aynı işaretli yükler birbirlerini iter ve kristalin boyu kısalır. Böylece elektriksel etki mekanik büyüklüğe dönüşür. Bu davranışa piezoelektrik özellik denir.

Nerelerde Kullanılır?

Piezoelektrik materyallerin en temel kullanım şekillerinden biri kişisel enerji üreteçleri olarak kullanılmalarıdır. Piezoelektrik materyaller, telefonlara, MP3 oynatıcılara vs... yetecek kadar enerji üretebilmektedir. Ayakkabının tabanı piezoelektrik maddelerden üretilebilir ve atılan her adımda elektrik üretimi sağlanabilir. Bu sayede kişisel elektronik cihazlarda kullanılabilmesi için bataryalarda depolanabilir veya doğrudan kullanılabilir.

Bir başka yeni düşünce ise sesin yankılanması ile oluşan titreşimlerin piezoelektrik materyaller aracılığı ile sese dönüştürülmesinin sağlanmasıdır. Şöyle ki araçta radyo dinlerken, dışarıda parkta otururken veya herhangi bir şey yaparken ses elektriğe çevrilebilmektedir.

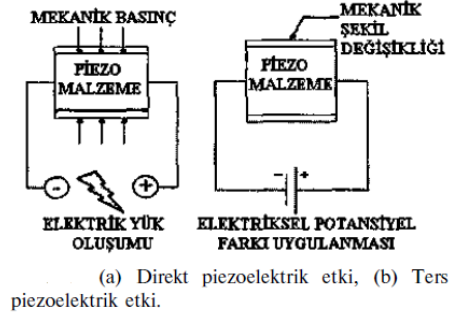
Günümüzde alternatif enerji kaynakları önemli bir konu olarak tartışılmaktadır. Bu kapsamda, piezoelektrik malzemeler çalışma prensipleri dolayısıyla alternatif enerji kaynağı olarak düşünülebilirler. Özellikle uygulandıkları yapılar göz önünde bulundurulsa hasat edilen enerji, uygulanan yapının tüm enerji

ihtiyacını karşılayabilir. Bu yapılara örnek olarak mini insansız hava araçları ve yapısal sağlık izlenim sensörleri verilebilir.

Piezoelektrik malzemelerin kullanım alanları enerji dönüşüm yönüne göre 3 bölümde incelenebilir:

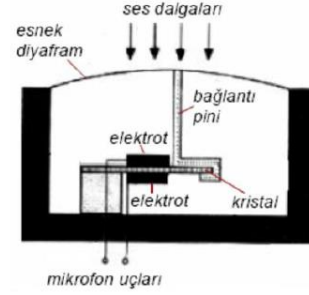
1-) Mekanik Enerji Elektrik Enerjisi Dönüşümü

- Pikap kartuşları
- Mikrofonlar
- Titreşim algılayıcıları
- Hızölçerler
- Gaz ateşleyiciler
- Sigortalar



2-) Elektrik Enerjisi Mekanik Enerji Dönüşümü

- Valfler
- Mikro pompalar
- Kulaklıklar
- Ultrasonik temizleyiciler
- Sonik dönüştürücüler

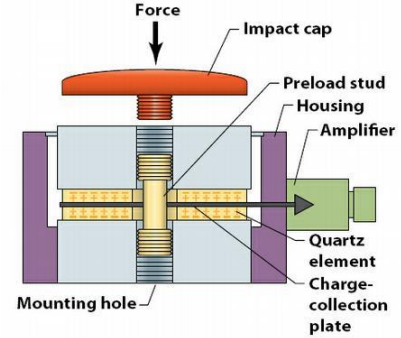


Kristal mikrofonun yapısı

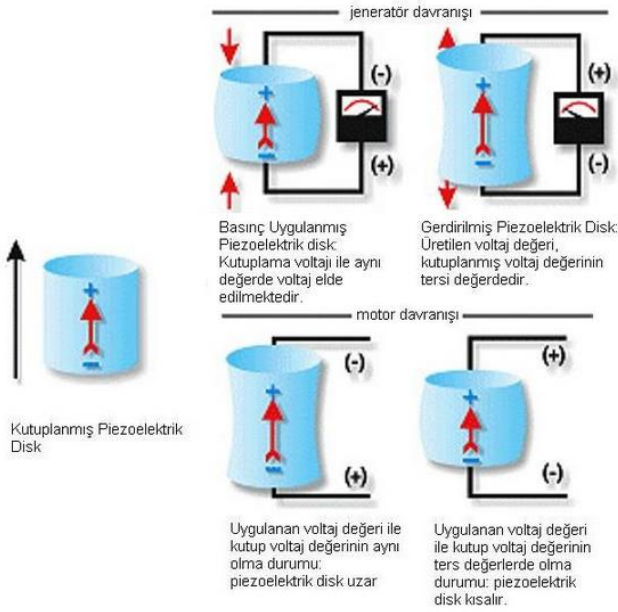
3-) Elektromekanik Elektrik Enerjisi Dönüşümü

- Yüzey akustik dalga ölçerler
- Sonarlar (deniz araştırmalarında)
- Osilatörler
- Transformatörler

Piezoelectric force sensor



Piezoelektrik materyalin motor ve jeneratör davranışı



Yollara döşenmiş bu sistemle arabaların ürettiği basıncın etkisiyle elektrik üretimi ve lambaların ihtiyacı olan enerji elde edilecek. Sürekli kullanılan yani insan kalabalığının yoğun olduğu caddelerde yollarda insanların yere basarken uyguladığı basınçla sokak lambalar, dükkânların enerjisi buralardan üretilebilir. Büyük şehirlerdeki gürültü, oluşan ses dalgaları basit olarak enerjiye çevrilebilir. Bu basit sistemler geleceğimizde artık kullanılmak zorunda çünkü daha temiz ve yaşanılabilir ortam için bu şart.

Şekil 48. Piezoelektrik Şematik Resim

3.4. Fezada Enerji İstasyonları

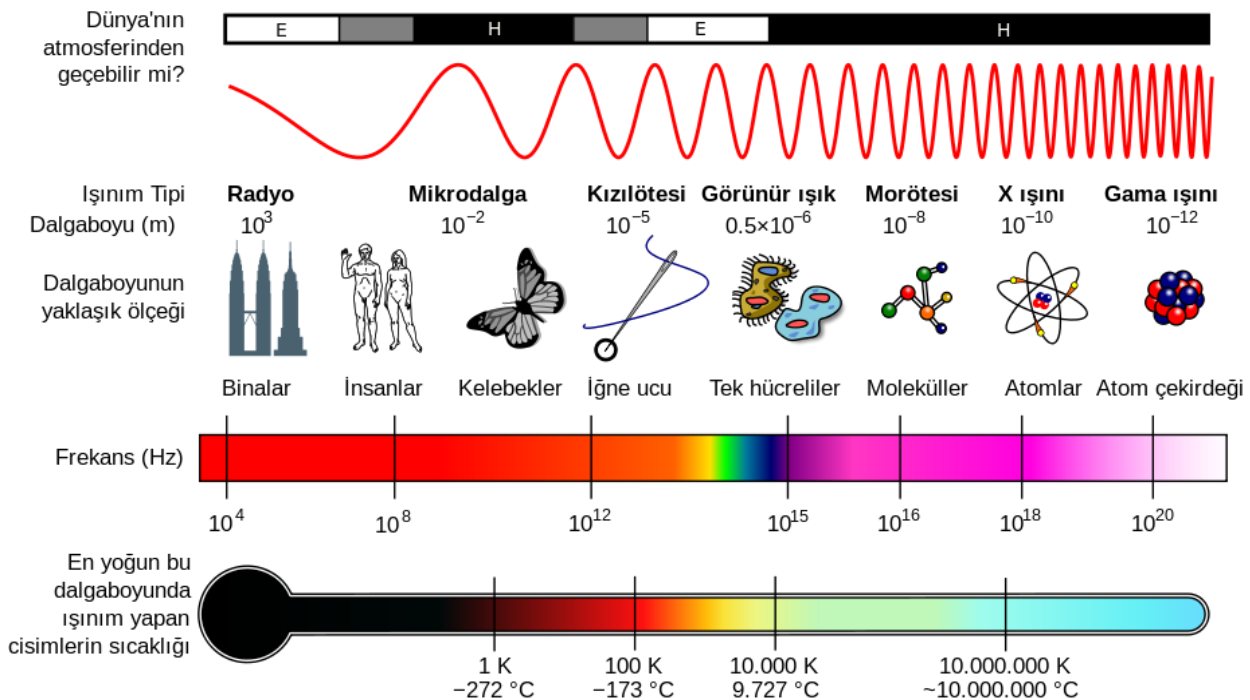
21. Asrın başlarında dünya enerjisinin çoğu uzaydan ikmal edilebilecektir. Bu enerji ekvator üzerinde yörüngede dolaşan sunî uydu istasyonlarından yeryüzüne mikrodalgalar halinde gönderilecektir. Böyle bir fikir zaten tartışmalı olan nükleer enerji meselesini tamamen bertaraf edecek ve enerji krizine de uzun vadeli bir çözüm getirecektir. Bu mevzu NASA' da "Birleşik Devletler Enerji Dairesi" ve dünyadaki diğer uzay şirketleri tarafından incelenmiştir. Bunların hepsi de feza enerji istasyonlarının kurulmasının mümkün olacağı neticesine varmışlardır.

Bedava ve Tükenmeyen Enerji

Fezadan yeryüzüne enerji nakledecek sunî uydular ilk olarak 1968 yılında Amerikalı mühendis Dr. Peter Claser tarafından tasarlanmış ve daha sonra da patenti alınmıştır. Kendisi, güneş ışığının çok bol olacağı yerlerde (atmosferin ötesindeki uzay) güneş ışığındaki enerjinin çok randımanlı bir şekilde toplanabileceğini tahmin etmiş ve enerji problemine çok değişik bir çözüm getirmiştir. Güneş enerjisi teorik olarak ideal enerji kaynağımız olmalıdır. Güneş enerjisi, kömür ve petrole benzeyen hiçbir kirlilik ortaya çıkarmadığı için temiz bir enerji kaynağıdır. Ayrıca rağbeti azaltan radyoaktif atıklar da onda bulunmamaktadır. Aynı zamanda bu enerji sınırsız bir enerjidir. Bundan dolayı yeryüzündeki fosil yakıt kaynakları gelecek yüzyılda tükenme durumuna geldiğinde, Güneş yeryüzüne ve feza cömertçe enerjisini dağıtmaya devam edecektir. Güneş enerjisi, kuruluş ve bakım masrafları istisna edilirse, bedava diyebileceğimiz bir enerjidir. Güneş ışığını en randımanlı ve ucuz bir şekilde çalıştırma tekniğinin bulunması, güneş enerjisi istasyonlarını fezada gerçekleştirmeden önce çözülmesi gereken bir problemidir.

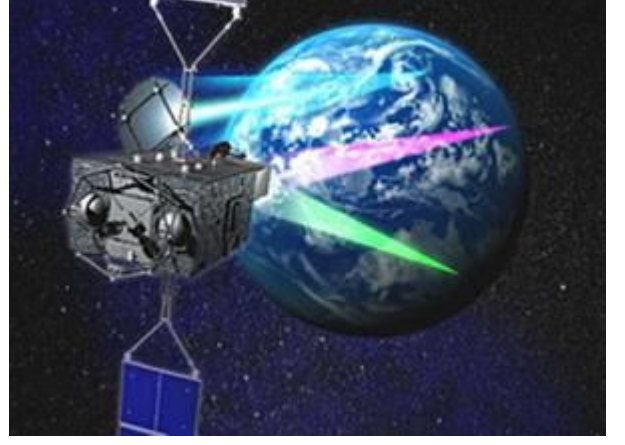
Enerji uyduları, yeryüzünde çalışan güneş, kolektörlerine nazaran birkaç yönden çok büyük üstünlüklere sahiptir. Bunlardan en önemlisi enerji uydularının atmosferimizin filtre edici örtüsünden yukarıda olmaları ve bu yüzden de enerji uydusunda güneş ışığını toplayıcı saha, yeryüzünde en güneşli yerde bulunan güneş kolektörünün biriktirebileceği enerji miktarının en azından dört mislini toplayabilir. Ayrıca fezada bulutlar, kötü hava şartları ve en mühimi güneş ışığını gizleyecek geceler yoktur.

Güneş enerjisini toplayıcı uydular - SPS: İngilizce "Solar Power Stallite" (Güneş enerji uydusu) - ekvatorunun 36000 km. yukarısında "geostationary" denilen yörüngeye yerleştirilirler. Haberleşme uyduları için de aynı tip yörünge kullanılır. Bu kadar yükseklikte bu uydular, dünya ile aynı hızda yörüngede dolanırlar. Bundan dolayı ekvator üzerindeki belli noktada, sabit bir şekilde asılıymış gibi görünürler. Bu yükseklikte bulunan SPS güneş ışığını toplar ve onu mikrodalga haline çevirir. Mikrodalgalar, kısa radyo dalgalarıdır. Daha sonra bu mikrodalgalar, yeryüzünde belli sahaya kurulmuş alıcı tesislere gönderilir. Bu tesislerde mikrodalgalar elektrik enerjisi haline getirilir.



Şekil 49. Dalga Boyları

Büyüklüğüne göre her SPS binlerce MW enerjiyi sürekli olarak yeryüzüne gönderebilir. Bu sunî uydular, ekvator üzerindeki yörüngelerinde sadece ekinokslar esnasında 72 dakikalık bir müddet için dünya'nın gölgesiyle tutulurlar. Fakat bu tutulmalar elektrik sarfiyatının az olduğu gece yarısı sırasında olur ve Önceden bilinen bu kesilmeler şehrin normal elektrik ihtiyacını karşılayan diğer enerji santrallerinden temin edilebilir.



Her biri 5 milyar Watt enerji dağıtma kapasitesine sahip, 16 enerji uydusu İngiltere'nin bütün elektrik ihtiyacını karşılayabilir. 80 milyar watt enerji, şu anda İngiltere'de mevcut 200'e yakın enerji üreten santralin üretim kapasitesine denktir. Böyle dört enerji uydusu Hindistan'ın şu andaki elektrik ihtiyacını temin edebilir. Aynı zamanda Hindistan, yeryüzünde çok büyük saha isteyen alıcı tesislerin kurulması için geniş topraklara da sahiptir.

Bununla beraber SPS'lerin yeryüzünde kurulu, bütün enerji santrallerinin yerini alması mümkün değildir. Bu enerji uyduları, büyük bir ihtimalle gerektiğinde yeryüzünde enerji üreten santrallerle takviye edilebilen ana santrale enerji gönderirler. 1980 yılında NASA ve "Birleşik Devletler Enerji Dairesi" tarafından yapılan müşterek bir araştırmada, 60 tane SPS enerji filusunun kurulmasının mümkün olduğu sonucuna varılmıştır. "Avrupa Uzay Araştırmaları Bürosu" ise böyle 40 uydunun takriben 2030 yılında Avrupa milletlerinin elektrik ihtiyacının dörtte birini sağlayacağını tahmin etmektedir.

Enerji nakleden SPS'lerin maliyeti gelecek yüzyılın başında enerji istihsal eden yeryüzündeki santrallerin planlanan maliyetleriyle rekabet edebilir hale gelecektir. Şöyle ki; fezadan elde edilen enerjinin her Kw-saati 11 TL mal olacak ve yeryüzündeki enerji santrallerinden en az 5,5 TL daha ucuza elde edilmiş bulunacaktır. 5 milyar watt'lık bir enerji uydusunun tahminî inşa maliyeti, yeryüzünde kurulacak alıcı tesislerin 1 milyar dolarlık ek masrafla birlikte yaklaşık 10 milyar dolardır. Ayrıca bunun dışında idarî masraflar, bakım masrafları ve diğer umûmî masrafların ilavesiyle, 60 SPS filusunun takribî toplam masrafı 1 milyar doları bulmaktadır. Bu rakamların, karşımıza büyük meblağları çıkardığını inkâr edemeyiz. Fakat bu miktar, Batı Avrupa'nın 1980 yılının ilk yarısında ithal edilen petrole Ödedikleri para miktarıyla aynıdır. Ayrıca her SPS'nin 35 yıllık çalışma süresi içinde yaklaşık 35 milyon dolar bir gelir sağlayacağı hususu da göz önünde tutulmalıdır. Kısacası gelecekte dünyanın enerji ihtiyacını karşılamak için büyük miktarlarda para harcanacaktır. Böyle bir durumda SPS'ler bir hayli kâr sağlayacak üstünlüğe sahiptir.

Fakat gelecek yıllar içinde muazzam enerjiye ihtiyaç duyacak tek devlet yalnız Amerika değildir. Yeryüzündeki bütün devletler enerjiye daha fazla ihtiyaç duyacaklardır. Şu anda, bilhassa az gelişmiş memleketler için, enerji mevzuu çok hayati önem taşımaktadır. Gelecek yüzyıllarda dünyayı tehdit eden açlık ve nüfus artışı gibi iki tehlikeye ancak artan enerji problemini halledebilen milletler karşı koyabileceklerdir.

Güneşten Gelen Enerji

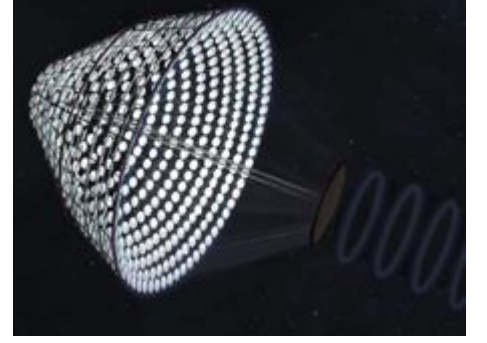
Yeryüzünde bütün insanlara yetecek kadar fosil yakıt olduğu şüphelidir. Eğer bütün dünya milletleri, sanayileşmiş batı milletleri nispetinde enerji kullansa, yeryüzündeki yakıt stokları 4 yıl içinde yok olur. Ayrıca bıraktığı nükleer artıklardan dolayı nükleer enerji santrallerine umumî bir nefretin var olacağını da hatırdan çıkarmamak lazımdır. Her halükârda bu enerji santrallerinin enerji krizine zamanında çözüm getirebilmeleri pek muhtemel görünmemektedir. *Güneşin merkezinde cereyan eden nükleer reaksiyonların yeryüzünde benzeri yapılarak elde edilebilecek temiz enerji kaynaklarından birisi de füzyon enerjisidir. Fakat bu enerjiyi gelecek yüzyıla kadar bile yeryüzünde kullanmak mümkün olmayacaktır. Bu durum SPS'lerin gerçekten değerli olduğunu ortaya çıkaracaktır.*

SPS'lerin enerji üretebilmelerinde iki ana yol vardır. Birinci yol; plastik ince tabakadan yapılmış yansıtıcı dev konkav aynalarla güneş ışığını odaklayarak helyum gazını 1400 °C'lik bir sıcaklığa kadar ısıtmaktır. Diğer ise; güneş pillerini kullanmaktır.

Yapılan bir projeye göre, her biri 300 megawatt (milyon watt) enerji kapasitesine sahip böyle 16 türbo jeneratör grubu, boydan boya uzunluğu yaklaşık 5 km. olan büyük bir reflektörden (yansıtıcı) aldıkları güneş ışığıyla çalışırlar. Birbirine bağlı dört reflektör sistemi ve birleşik türbinler grubu uzunluk olarak toplam 18 km'ye yayılır. Böyle bir enerji uydusu yeryüzüne 10 milyar watt enerji gönderebilir ve bu enerji miktarı, yeryüzünde enerji üreten 10 santralin istihsal kapasitesine denktir. Fezada yörüngede dolanan böyle bir enerji istasyonunun 100000 ton kütleyle sahip olması planlanmıştır.

Güneş pili kullanan SPS'ler daha çok rağbettedir. Çünkü bunların yanlı çalışabilecek hiçbir mekanik parçası yoktur. Uydularda enerji toplamak için güneş pilleri doğrudan doğruya güneş ışığını elektriğe çevirirler. Bu piller umumiyetle silikondan yapılır. Her ne kadar galyum arsenit gibi diğer malzemeler daha büyük faydalar temin etse bile silikon bol olduğu için tercih edilir.

Bir tarafta birkaç km uzunluğundaki panolar güneş pilleriyle kaplıdır. Bir SPS'nin 5 milyar watt enerji göndermesi için 10 milyar güneş pili gerekebilir. Böyle bir güneş pili ordusu fezada 50 km uzunluğunda kare şeklinde muazzam bir sahayı kaplar. Güneş enerjisi toplayıcılarının uzayda kurulmasının bir sebebi de yeryüzünde benzer bir kapasiteye sahip böyle bir tesisi kurmak için gerekecek çok geniş sahayı kullanmamaktır. Uzaktan kontrollü robotlar, güneş pillerinin alt kısmını destekleyen metal bağlantıları inşa etmek için kullanılabilir. Uzayda her şey ağırlıksızdır ama güneş pilleriyle çalışan bir SPS yaklaşık 50000 ton kütleyle sahip olabilir.



Bu SPS'lerde ister türbin, isterse güneş pili kullanılan, üretilen enerji *Amplitrons* veya *Klystrons* denilen cihazlarla mikrodalgalara çevrilir. *Daha sonra bu dalgalar 1 km çapında hava sahası içinden yeryüzüne gönderilir. Takriben 10 cm dalga uzunluğu (2.450 MHz frekanslı) seçilir. Çünkü bu tip mikrodalga radyasyonu atmosfer içinden absorbe (emilme) edilmeden geçer. Yeryüzünde rectanna denilen tesisler mikrodalgaları toplar ve onları elektriğe çevirir. Mikrodalgalar 1975 yılında Kaliforniyada Jet Püskürtme Laboratuvarı'nda 26 metre çapında bir radyo teleskoptan iletili. Bu iletilen mikrodalgalar 1,5 km ötede bulunan alıcı cihazda elektriğe çevrilerek aydınlatma ampullerine cereyan verildi. Alıcı rectanna da çevirme verimi % 83 olarak tespit edildi. Enerji iletilmesi ve toplanmasında böylesine yüksek randıman, yörüngeye büyük güneş kolektörlerinin yerleştirilmesinin çok ekonomik olduğunu da göstermiştir.*

Mikrodalgalarla çalışan fırınlar, metalleri eritirler. Bundan dolayı bu dalgalar insanlar için bir sağlık problemi ortaya çıkarabilir. Ancak, güneş enerjisi istasyonlarından doğrudan doğruya yeryüzüne gelen ışınlardaki enerji yoğunluğu, bir mikrodalga fırınına kıyasla çok daha azdır. Fakat böyle olsa dahi, ışının merkezindeki enerji yoğunluğu her cm² de 20 miliwattı aşar. Bu miktar İngiltere'de ve Amerika'da mikrodalgalarla korunmak için belirlenen sınırın iki katıdır. Ancak yeryüzündeki alıcı tesisin civarındaki dalga yoğunluğu cm² de 1 miliwatta düşer ve bu, kapalı bir mikrodalga fırınından dışarıya neşredilen mikrodalga dozundan daha az olmaktadır. Doğu Avrupa ve Rusya'da mikrodalgalarla korunma standartları 0.1-0,01 miliwatt/cm² arasında olup batı standartlarından daha hassas tutulmuştur. Bu standartları korumak için rectanna'ların etrafı insanların girmesini önleyecek şekilde yapılmalıdır.

Mikrodalga ölüm ışını değildir. Fakat onun içinde uçan kuşlar ve uçaklar için tehlikeli olabilir. Meselâ, bir kuş mikrodalganın yoğun olduğu merkezden geçerken kavrulabilir. Metal kaplamalı uçaklar mikrodalgaları yansıtır. Fakat metal kaplaması olmayan hafif uçaklardaki yolcular için böyle bir emniyet yoktur. Ayrıca uçakların, haberleşme ve radar sistemi kuvvetli mikrodalga radyasyonu içinde kalarak etkilenebilir. Bununda ötesinde uydular bu ışınların içinden geçerek yeryüzündeki alıcı tesislerin zarara sokup sinyalleri karıştırırlar.

SPS'lerin Kontrolü

Uydu ışınlarının kazaen veya bir sabotaj neticesi istasyondan ayrılmasını önlemek için yeryüzündeki alıcı tesislerden uyduyu kontrol edecek şekilde bir referans sinyali gönderilir. Eğer bu sinyal herhangi bir sebeple kaybolursa, otomatik emniyet mekanizması mikrodalga ışınlarının zararsız bir şekilde dağılmasını temin eder. Enerji uydularındaki tehlikenin büyüklüğü fosil yakıtların çıkardığı kirlilik ve nükleer reaktörlerin artıkları ile mukayese edilmelidir.

SPS'lerin gönderdiği ışını alan tesisler Schottky engel diyotları olarak bilinen düzeltme cihazlarına bağlı T - şekilli hususî antenlerle donatılmış panellerden ibarettir. Bunlar mikrodalgaları elektrik enerjisine çevirirler. Daha sonra bu elektrik enerjisi elektrik hatlarına verilir. Alıcı yer tesisi takriben 10 km'lik bir çapa sahiptir. Böylece yaklaşık olarak 100 km²'lik uygun bir yer bulmak SPS'lerin çözüm isteyen temel problemlerinden biridir. Böylesine muazzam tesisler için en uygun yerler çöller olmakla birlikte, buralardan yerleşim merkezlerine enerjinin iletilmesi ikinci bir problemi doğurur. İhtiyacın en yüksek olduğu ABD'nin ve Batı Avrupa'nın kuzeydoğu sahillerinde rectanna'lar kıyılardan uzak olarak kurulabilir. Ancak bu takdirde maliyet artacak ve çeşitli güçlükler çıkacaktır. Yine de SPS'lerin temel problemi, mikrodalga ışınlarının ortaya çıkardığı sağlık tehlikesi değil, aynı zamanda radyo parazitleri ve atmosferik tesirlerdir.

Uydudan gelen enerjinin sadece küçük bir kısmı atmosfer tarafından yutulmasına rağmen bu miktar radyo frekanslarının karışması ve muhtemelen iyonosfer tabakasına sebep olacak büyük miktardır. Gelen enerjinin iyonosfer ve yağmur damlaları tarafından yayılması frekansların geniş bir sahasında parazit oluşturur. Parazitler sırayla radar gibi diğer birçok dalgaları karıştırır ve ayrıca astronomlar tarafından kullanılan hassas radyo-teleskopların tamamen çalışmasını önler. Ayrıca istenmeyen radyo parazitleri rectanna'lar tarafından da çıkarılır. Rectanna'ların çıkardığı parazitler rectanna'nın 100 km'lik sahası içinde yeryüzü haberleşme imkânını ortadan kaldırır.

Dünyanın etrafındaki atmosferden geçen enerji ışınları normal radyo dalgalarının özelliklerini bozacak surette iyonosferi ısıtır. Astronomlar ekvatorun etrafında sıralanmış olan bir SPS filosunun zarar verici tesirlerinden endişe edeceklerdir. Her bir uydu en parlak yıldızdan daha parlak görünür ve onların bütün bir halkası gökyüzünün hiç karanlık olmaması demektir. Böylece birçok astronomik maksatlar için kullanılan teleskoplar faydasız hale gelir. Belki de bu gibi itirazlar SPS fikrinden vazgeçmeye sebep olabilir.

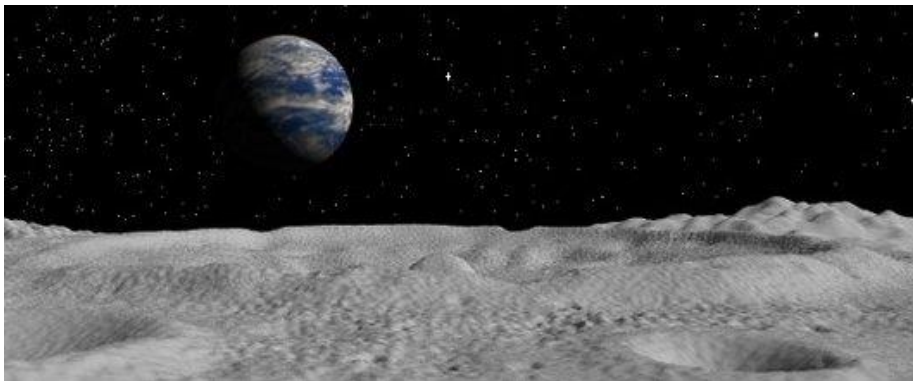
Şu anda Jaxa, 2020 civarında 10 megavat kapasiteli bir fotovoltik sistemi uzaya göndererek test etmeyi, ardından da 250 megavatlık bir prototipi göndermeyi planlıyor. Dünyaya gönderilen bu enerji de, deniz veya barajlara yerleştirilecek dev parabolik antenler tarafından toplanacak. Japon bilim adamları, orta ölçekli bir nükleer santralin ürettiğine eşit bir gigavat gücünde bir sistemin, şu anda Japonya'daki elektrik üretim maliyetinden 6 kat ucuz olan bir kilovat elektriği 8 sente üretmesini hedefliyor.

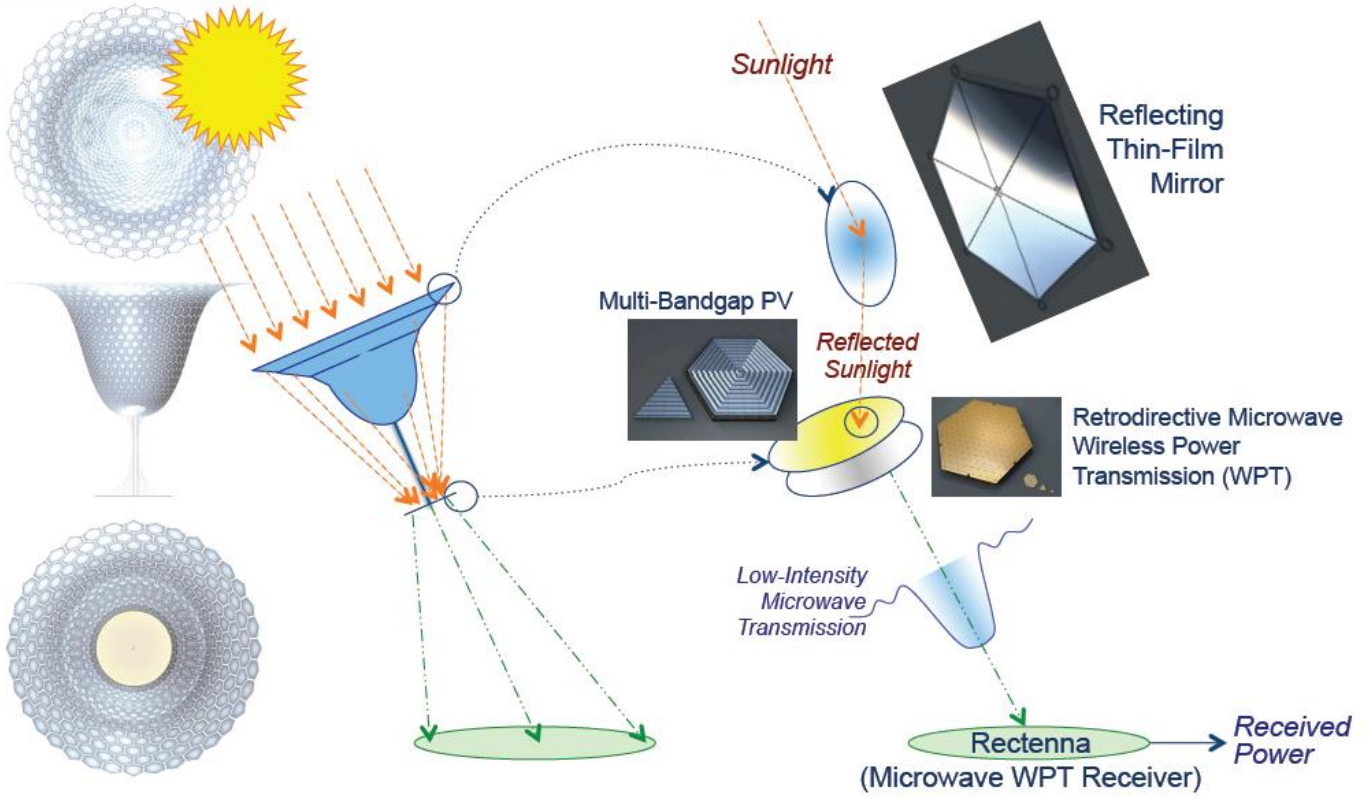
UZAY BOŞLUĞUNDA VEYA AYDA

Güneş enerjisinden yararlanabilmek için uzaya gönderilecek istasyonların uzay boşluğuna bırakılabilir ya da aya yerleştirilebilir. "NASA, en uygun yerin ekvatorun 35.785 kilometre üzerindeki yörünge olduğunu açıkladı. Oradan geniş kitlelere enerji transferinin daha uygun olacağını söyledi. Bir diğer seçenek olarak kutup yörüngeleri araştırılıyor. Ay da diğer önemli bir alternatif. Oradan çıkarılabilecek madenlerle istasyonun inşası çok daha ucuz ve kolayca yapılabilir. Dünyadan ayın sürekli aynı yüzünün görülmesi ve ayda bulunan demir magnezyum gibi madenler ve az da olsa bulunan oksijen ve diğer gazlar, hem istasyonun yapılmasına hem de üretim için gerekli olan yakıtın bulunmasına uygun bir ortam sağlıyor.

İstasyonun yapımında robot teknolojisiyle, insan kullanımı asgari seviyeye indirilebilir. Ayın kullanımı halinde tahmin edilen giderler yüzde 30 oranında azalır. Ayda üretilen enerji, mikrodalga ışınları ile uzaya yerleştirilecek yansıtıcılarla dünyanın her köşesine ulaştırılabilir.

Ayda, güneş ışınlarından elde edilecek enerji, yeryüzünde üretilen her türlü enerjiden daha etkili olacaktır. Ay toprağı aynı zamanda izotop barındırdığı için enerji istasyonlarında yakıt olarak da kullanılabilir. 20 tonluk izotop ile ABD'ye bir yıl yetecek elektrik üretilebilir."

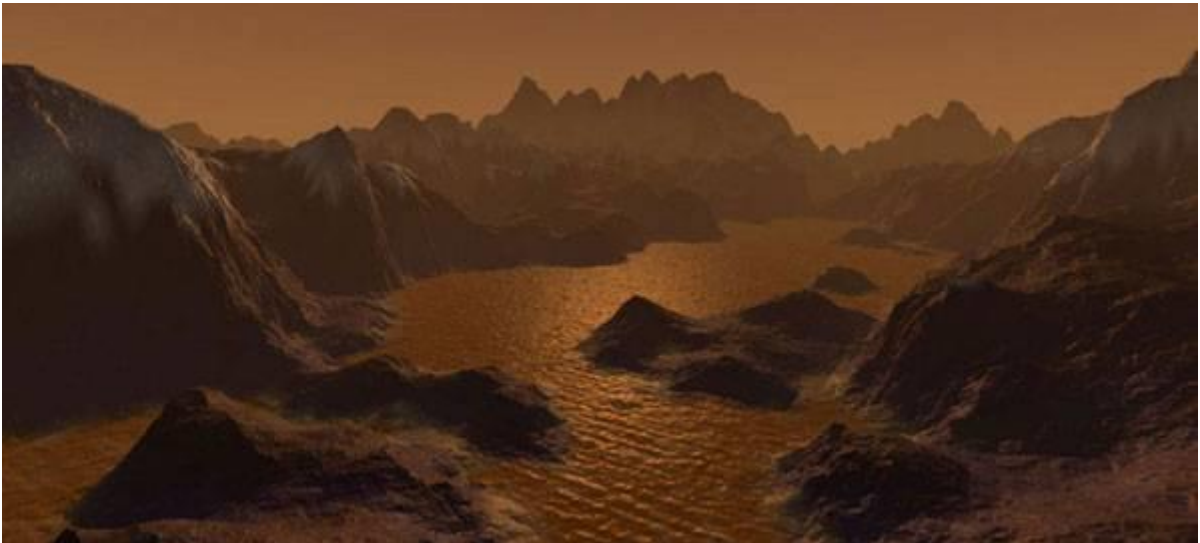




Şekil 50. SPS Temsili Resim

3.5. Güneş Sistemindeki Enerji Potansiyelleri

Dünya da zengin madenler ve enerji elde etmek için çeşitli kaynaklar mevcuttur. Peki dünya dışı gezegenlerdeki madenler ve kaynak durumları nasıl? NASA ve Ruslar Satürn'ün uydusu olan Titan' da dünyadaki okyanuslara benzer olarak doğalgaz yataklarını keşfettiler. Titan'ın kuzey kutbunda sıvılaşmış hidrokarbon rezervlerinin dünyanın doğalgaz rezervlerinden 40 kat daha fazla olduğu sanılıyor. NASA bilim insanları Titan'daki denizlerin en büyüğünün yüzölçümünün 100 bin kilometreden fazla ve derinliğinin 200 metreyi bulduğunu söylüyor.



Şekil 50. Titan Doğalgaz Yatakları

Uzaydaki enerji potansiyeli çok yüksek ve ayrıca dünyada bulunması zor olan ağır metallerin asteroidlerde, meteorlarda bulunması da uzayın son zamanlarda önemini gittikçe artırıyor. Yakın zamanda asteroide insansız araç gönderilerek asteroidlerin kimyası ve onu oluşturan bileşenler hakkında detaylı

incelemeler yapılmaya başlandı. Günümüzde yeni teknolojiler giderek daha fazla elementin kullanımını gerektiriyor. Örneğin akıllı telefonlar için itriyum, lantan, praseodimyum, öropiyum, gadolinyum, terbiyum, disprosyum gibi pek çok nadir toprak elementi dokunmatik ekranlardaki renkleri oluşturmak için çok küçük miktarlarda kullanılır. Ayrıca Lantan, seryum, praseodimyum gibi elementler ise parlak ekran üretiminde kullanılıyor. Ne yazık ki bunlar Dünyamızda çok nadir bulunan elementlerdir. Bu yüzden gram olarak bile bakıldığında altından daha değerlidirler. Adını daha duymadığınız bir çok nadir element asteroidlerde doğal kaynak olarak çok yüksek oranlarda bulunur. Bu yüzden asteroidler gelecekte çok önemli bir doğal kaynak olacak. Bu elementleri dünya'ya güvenilir şekilde getirecek ilk ülkelerin ne kadar zengin olabileceği tahmin etmek hiç de zor değil.

Her ne kadar bu anlatılanlar kulağa hoş gelse de şu anda bu kaynakları dünya'ya getirmemiz mümkün gözükmektedir. Ancak Rus Uzay Bilim Adamları özellikle Titandan doğalgazı getirmek için çalışmalara başlamıştır. Bir gün madde transferi gerçek olursa bunlar hayal olmanın ötesine geçecekler. Veya bu gezegenlere yerleştirilmiş uzay istasyonlarında, enerji elde edilip kablosuz enerji sistemleri ile transfer yapılabilir. Kablosuz elektrik aktarımı Tesla'dan beri gündemdedir ancak şu anda kesin bir yöntem bulunamamıştır. Yakın mesafeler için bobinlerin manyetik alanları sayesinde her ne kadar kablosuz elektrik aktarımı mümkün olsa da böyle bir sistemin büyük boyutlarda olması insan ve diğer canlıların sağlığını tehlikeye sokabilir.