



Türkiye Açısından Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yeri

Bu bölümde yeni ve yenilebilir enerji kaynaklarına yönelmenin nedenleri, Türkiye için jeotermal enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve biyomas enerjinin, kullanım teknolojilerine bağlı olarak sağlayacağı kazanımlar üzerinde durulmaktadır. Fosil yakıtla dayalı enerji kullanımı; fosil yakıt dışalımının büyümesi, ithalat giderinin artması gibi bir olumsuzluktan başka, çevre kirlenmesinin de artmasına neden olmaktadır. Sürdürülebilir ekonomik büyüme açısından ithalatın ihracata oranının küçük olmasının önemi kadar, üretim güvenilirliği olan bir enerji alt yapısının oluşturulması, enerji sektörünün çevre ile uyumu önemlidir.

Enerji ithalatının fiziksel büyüklüğünün yanında parasal büyüklüğü ya da döviz gereksinimi de büyük boyutlardadır. Petrol fiyatlarında görülen dalgalanmalar, 2000 sonrasında sürekli artış trendi biçiminde olacaktır. 2000-2020 arasında petrol fiyatlarının en az 22.4 - 42.0 ABD \$/varil, kömür fiyatlarının en az 52-68 ABD \$/ton ve boru hattı doğal gaz fiyatlarının da 104-135 ABD \$/103 m³ sınırlarında olması beklenmelidir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın planladığı ithalat miktarlarına, ayrıca yukarıda açıklanan fiyat trendlerine bağlı olarak, yalnızca taşkömürü, petrol ve doğal gaz ithalatı için taban değerler olarak cari fiyatlarla Türkiye'nin 2000 yılında 8 565.9 milyon ABD \$'ı, 2005 yılında 15 942.0 milyon ABD \$'ı, 2010 yılında 24 940.9 milyon ABD \$'ı, 2015 yılında 36 923.0 milyon ABD \$'ı ve 2020 yılında da 54 195.0 milyon ABD \$'ı ödeme yapması gerekmektedir. 2000-2020 döneminde yapılacak kümülatif ödeme toplamı ise 500 milyon ABD \$'ı gibi büyük bir rakama yaklaşmaktadır.

Aşırı fosil yakıt kullanımının getirdiği çevre kirlenmesi de önemlidir. Bugün için dünyanın en önemli çevre sorunu sera etkisinden kaynaklanan global ısınmadır. Bunun kökeninde yanma sonucu ortaya çıkan CO₂ emisyonu yatmaktadır. CO₂ emisyonunun global ısınmadan başka olumsuz etkileri olduğu gibi, yanma reaksiyonunda ortaya çıkan emisyon yalnızca CO₂ de değildir. SO_x ve NO_x gibi diğer zararlı emisyonlar vardır. Temiz yakıt denilen doğal gaz kullanımında, yüksek alev sıcaklığından ortaya çıkan NO_x ozon tabakasını tahrip edici özelliğe sahiptir. Fosil yakıt üretim ve tüketiminin doğal bitki örtüsünün yanısıra, hayvan ve insan sağlığı üzerinde çeşitli olumsuz etkileri bulunmaktadır.

Birim enerji başına ortalama yalnızca CO₂ emisyonu; kömürde 85.5 kg/GJ, petrolde 69.4 kg/GJ ve doğal gazda 52 kg/GJ düzeyindedir. Başlangıçta kömür, daha sonra petrol ve doğal gaza dayalı fosil kökenli enerji kullanımı atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunu son 150 yıl içinde % 116 artırarak, dünyayı global ısınma süreci ile karşı karşıya bırakmıştır. Tüm dünyada CO₂ emisyonu artışının sınırlandırılması sorun olup, çözüm yollarından biri yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının geliştirilmesidir.

Yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretim süreci, direkt ve indirekt girdileri ile CO₂ ve CO₂ eşdeğeri (NO_x ve diğerleri de dahil olmak üzere) sera gazı emisyonu bakımından ele alındığında, ortaya çıkacak emisyon düzeyleri, fosil yakıtlarla karşılaştırılmalı biçimde Şekil 8.1'de gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı

gibi, yeni ve yenilenebilir kaynakların değerlendirilmesi ile ilgili proseslerin emisyonları yokumsanacak düzeyde kalmaktadır.

ŞEKİL

Sera gazı emisyonlarının beher kWh elektrik üretimi için değişimi.

Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının geliştirilmek istenmesinin bir başka nedeni de, dünyada sınırlı olan fosil yakıt rezervlerini tükenmekten olabildiğince korumaktır. Kanıtlanmış üretilebilir petrol ve doğal gaz rezervlerine insan ömrüne sığacak kadar ömür biçilmesi, insanlığın geleceği açısından düşündürücüdür. Kısacası alışlagelen enerjide bir sınıra yaklaşılmıştır. Sürdürülebilir ekonomik büyüme için ekonomik sınırlar kapsamında, kullanıma uygun teknolojilerle yeni ve yenilenebilir enerji eşliğinin aşılması gerekmektedir.

Türkiye'de yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak jeotermal, güneş, rüzgar ve modern biomasdan yapılabilecek enerji üretimi 6. Bölümde açıklanan ESM ve OEM modelleri çıktıklarına göre, 2000 yılında 794 Btep, 2005 yılında 3 124 Mtep, 2010 yılında 7 499 Btep, 2015 yılında 11 009 Btep, 2020 yılında 14 166 Btep, 2023 yılında 16 186 Btep ve 2025 yılında 17 537 Btep düzeyine çıkarılabilir. Önerilen bu üretim dizisi Şekil 8.2'de grafik olarak görülmektedir. Sıralanan kaynakların dışında deniz dalga ve boğaz akıntıları gibi enerji kaynakları söz konusu ise de, bunlardan yapılabilecek üretimin 2025 yılına kadar birkaç yüz Btep'i geçmeyeceği kestirilmektedir. Bu üretimde kaynak payları 2005 ve 2023 yılı için Şekil 8.3'de verilmiştir.

ŞEKİL

Yeni ve yenilenebilir kaynaklardan (jeotermal-güneş-rüzgar-modern biomas) yapılabilecek enerji üretimi.

ŞEKİL

Yeni-yenilenebilir kaynaklar üretim payları.

Türkiye'de yeni ve yenilenebilir kaynaklarla ilgili Ar-Ge çalışmalarının tekrarlarından arındırılmış biçimde planlı geliştirilmesine gerek vardır. Avrupa Birliği kapsamında bu amaçla başlatılan projelere katılım yolları araştırılmalıdır. Avrupa Birliği'nin başlatıp, belli ölçülerde gelişme sağladığı THERMIE, JOULE ve ALTENER programları buna örnek gösterilebilir.

8.1. Jeotermal Enerji

Türkiye jeotermal enerji zenginliği açısından dünyanın yedinci ülkesi olup, bu enerjinin ısı ve elektriksel kullanımı geliştirilmek zorundadır. Jeotermal enerjinin bugünkü kullanımı daha çok sıvı ağırlıklı ve buhar ağırlıklı kaynaklara, yani doğal hidrotermal sirkülasyona dayanmaktadır. Sıvı ağırlıklı kaynaklarda, jeotermal akışkan bazen kaplıca suları biçiminde kendiliğinden yeryüzüne çıkabileceği gibi, çoğunlukla birkaç yüz metreden birkaç bin metreye kadar uzanan sondajlarla kuyu açılması gerekir. Akışkanın içerisinde sodyum, potasyum, sülfat, silikat ve borat gibi tuzlar bulunmaktadır. Türkiye'de aktif sıcak ateşli sistemler (magma ve lav kökenli) olmadığı gibi, sıcak kuru kaya tipi kaynaklar da bulgulanamamıştır.

Jeotermal kaynaklar akışkanların sıcaklıklarına ve taşıdıkları ısı enerjisine bağlı olarak düşük entalpili (akışkan sıcaklığı MTA'ya göre 20-70 °C, yeni literatürlere göre < 160 °C), orta entalpili (akışkan sıcaklığı MTA'ya göre 70-180 °C, yeni literatürlere göre 160-190 °C) ve yüksek entalpili (akışkan sıcaklığı >180 veya 190 °C) olarak da ayrılmaktadırlar. Düşük ve orta entalpili kaynaklar özellikle ısı amaçlı kullanılır. Orta

entalpili jeotermal akışkanın elektrik üretiminde kullanılması yeni teknolojilerle olanaklıdır. Düşük entalpili akışkanların kaplıca-termalizm uygulamaları önemlidir. Yüksek entalpili akışkanlar ise elektrik üretimi ve buna entegre diğer işlemlerde kullanılır. Türkiye'deki mevcut jeotermal uygulamalar, dünyadaki toplam jeotermal uygulamalarla karşılaştırmalı biçimde Tablo 8.1'de gösterilmiştir.

TABLO

Türkiye'de ve dünyadaki jeotermal uygulamalar (1997).

Jeotermal enerji çevre dostu bir kaynak olarak tanınmakla birlikte, akışkanın paslanmaya, çürümeye, kireçlenmeye (kabuklaşmaya) neden olması, içerdiği bor yüzünden atılacağı yüzey sularını kirlenmesi, bünyesinde CO₂, H₂S ve bor gibi maddeler bulunması, uygulamada bazı teknolojik önlemlerin alınmasını gerektirir. Jeotermal kuyular CO₂ üretimi için bir kaynak olabilmektedir. Geçmişte sorun olan kabuklaşma, akışkana kimyasal inhibitör katılmasıyla çözümlenmiştir. Kullanılan jeotermal akışkanın çevre sorunu yaratmaması için yer altına geri verme (reenjeksiyon) uygulaması geliştirilmiş ve çeşitli ülkelerde yasal olarak zorunlu duruma getirilmiştir. Yer altına geri verme uygulamasında önemli olan, kuyu parametrelerinin korunmasını sağlamaktır. Bugün Türkiye'de de direkt uygulamaların çoğunda reenjeksiyon yapılır duruma gelmiştir. Ayrıca, kuyu içi eşanjörlerle ısının alınması çevre sorunları oluşumunu ve kuyu içinde kabuklaşmayı engellemektedir.

8.1.1. Jeotermal Isıl Sistemler

Türkiye'de Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü 1962 yılında jeotermal enerji arama projelerini başlatmış ve bugüne kadar önemli bir çok saha keşfedilmiştir. Ancak, Türkiye'de bilinen jeotermal alanların % 95'i ısıtmaya uygundur. Saptanan 140 jeotermal sahanın muhtemel rezervuar sıcaklığı ve rezervuar büyüklüğü ile bu sahaların yerleşim yörelerine, kullanım bölgelerine uzaklığı, kullanım bölgelerinin büyüklüğü gibi kriterlere göre yapılan çalışma sonucu, jeotermal merkezi ısıtmaya uygun olabilecek aşağıda sıralanan yerleşim bölgeleri saptanmıştır. Ancak, aşağıda sıralanan bu bölgelerin kesin uygunluğuna, teknik ve ekonomik fizibilite etütleri sonucu karar verilebilecektir.

ACIGÖL	BUHARKENT	EZİNE	KARAHAYIT	SARAYKÖY
AĞRI	BULDAN	ERZURUM	KEMALPAŞA	SARICAKAYA
AHMETLİ	BURSA	GEDİZ	KIZILCAHAMAM	SEBEN
AKYAZI	ÇAN	GERMENCİK	KÖS	SEFERİHİSAR
ALANGÜLLÜ	ÇALTI	GÜRE	KOZAKLI	SİVAS
ALİAĞA	ÇERKES	HAVRAN	KURŞUNLU	SORGUN
ARMUTLU	ÇERMİK	HAVZA	KUZULUK	SÖKE
AYAŞ	ÇEŞME	HAYMANA	LAPSEKİ	SULTANHİSAR
AYDIN	ÇİFTEHAN	HEYBELİ	NARKÖY	SULUSARAY
AYVACIK	DENİZLİ	HİSARALAN	NAZİLLİ	SUSURLUK
BALIKESİR	DİKİLİ	ILGIN	PAMUKÇU	SÜLEYMANLI
BALYA	DİYADİN	ILICA	PASINLER	TATVAN
BAYINDIR	EDREMİT	İNCİRLİOVA	REŞADİYE	TURGUTLU
BERGAMA	EMET	İZMİR	SALAVATLI	YALOVA
BİGADİÇ	ESKİŞEHİR	KALKIM	SALİHLİ	YENİCE
BOLVADİN	ERCİŞ	KARACASU	SANDIKLI	ZİGA

Jeotermal enerji terminolojisinde direkt kullanım diye adlandırılan ısıtma, özellikle kent ölçeğine kadar uzanan merkezi ısıtmada önem kazanmaktadır. Bu açıdan ısıtmaya uygun alanlarda kanıtlanmış bulunan potansiyel 2 843 MWt olarak bildirilmekle birlikte, bu değer 15 °C baz alınarak belirlendiğinden, konut ısıtmaya uygun gerçek kanıtlanmış potansiyel 2 250 MWt kadardır. Bu güç, ısıtmada 350 000 konut eşdeğeri (100 m²/konut) olmaktadır.

Isıl potansiyelde hedeflenen 7 500 MWt ise 1 200 000 konut eşdeğeridir. Türkiye'nin brüt jeotermal ısı kapasitesini gösteren 31 100 MWt güç 5 milyon konut eşdeğerine karşılıktır. Bugün için Türkiye'de direkt kullanım kurulu gücü 350 MWt olup, 50 000 konut eşdeğeridir. Tablo 8.2'de jeotermal suların merkezi ısıtma amaçlı kullanım kapasiteleri, uygulama yapılan yerler itibari ile gösterilmiştir. Sektörün desteklenerek direkt kullanım kurulu gücünün hızla artırılması gerekir.

TABLO

Ekim 1998 itibari ile jeotermal suların merkezi ısıtma amaçlı kullanımı.

Türkiye'de jeotermal ısıtmanın yaygınlaşması için teşvikler bulunmamakta, il özel idarelerinin ve belediyelerin önderliği, kullanıcıların katılımı ile tesisler gerçekleştirilmektedir. Yapılan uygulamaların çoğunda kullanıcılar gereken yatırımın % 30-50'sini finanse etmektedirler. Jeotermal enerji ile yapılan merkezi ısıtmada aylık işletme giderleri, doğal gazla ısıtma giderinin dörtte birini aşmamaktadır.

Son uygulamalarda sıcak su cam elyafı takviyeli plastik (CTP) borularla taşınmakta olup, bu borular fabrikasyon olarak ısı izolasyonlu imal edilebildiğinden 0.2-1 °C/km sıcaklık düşmesi ile jeotermal akışkanı taşımaktadırlar. Yeni ve yerli teknolojik olanaklarla 500 000 konutun merkezi ısıtılması hedeflenmektedir. Bu hedef 4 000 MWt kurulu güç karşılığıdır ve 1.5 milyon ton petrol eşdeğeri enerji kazancı sağlayacaktır.

Türkiye'de jeotermal ısıtma ekonomik olarak, direkt yöntemle sağlanabilmektedir. Günümüzün teknolojisinde jeotermal ısı pompaları da vardır. Özellikle, ABD'de yaygınlaşmakta olan bu tip uygulamaların, gelecek dönemlerde ülkemizde de ele alınması, jeotermal enerji ile hem ısıtma ve hem de soğutma (klimatizasyon) için gerekli görülmektedir.

8.1.2. Jeotermal Elektrik Sistemleri

Dünya genelinde kurulu jeotermal elektrik santralleri kapsamında Türkiye, 20.4 MWe kurulu güçlü Denizli-Kızıldere Santrali ile 14. sırada bulunmaktadır. Ancak, bu santral 12-15 MWe güçle çalıştırılmaktadır. Kızıldere santralının teknolojisi eskidir. Bu santraldan 700 t/h kütleli debi ve 147 °C sıcaklıkla çıkan akışkan Menderes Nehri'ne atılmakta ise de Denizli'de kent ısıtması için kullanılabilir ve bu proje bir an önce gerçekleştirilmelidir.

Aydın-Germencik'de 100 MWe gücünde santral besleyecek potansiyel bulunmakta ise de, şimdilik 25 MWe gücünde ve 187.3 GWh/yıl üretim kapasitesinde bir santralin kurulması için ön çalışmalar başlatılmıştır. Yap-İşlet-Devret modeli ile gerçekleştirilecek bu santral için sözleşme parafı edilmiş, proje Danıştay onayından geçmiştir. Germencik'de birinci kuyuda ölçülen en yüksek rezervuar sıcaklığı 231 °C dir. Aydın'da otoproduktör statüsünde olmak üzere 5 MWe güçte ve 37.5 GWh/yıl üretim kapasitesinde bir santral kurmak için yapılan müracaat da değerlendirilmektedir.

Aydın-Salavatlı ve Çanakkale-Tuzla'da sırasıyla 171 ve 173 °C sıcaklıklı ve kullanılabilir potansiyeli 50-100 MWe arasında olan rezervuarlar bulunmaktadır. Yüksek entalpili sayılan bu dört sahanın dışında, orta entalpili olan Kütahya-Simav'da

ikili çevrim teknolojisiyle elektrik üretilmesi olanaklıdır. Türkiye'nin kanıtlanmış jeotermal elektrik potansiyeli 200 MWe düzeyinde belirtilmekle birlikte, gerekli çalışmalarla bunun kısa zamanda 350 MWe düzeyine çıkarılabileceği kestirilmektedir.

8.1.3. Jeotermal Enerji ile İlgili Sorunlar

Türkiye'de jeotermal enerji kullanımı Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı planlamasına göre 2000 yılında 432 Btep ve 2020 yılında 4 860 Btep olacaktır. Aynı trend 2025 yılına kadar uzatılınca, potansiyel sınırına bağlı olarak yapılabilecek üretim 5 400 Btep'e çıkmaktadır. 2000-2025 döneminde kümülatif toplam olarak 93.4 Mtep jeotermal enerji üretilecektir. Bu rapor için yapılan modelleme çalışmasında önerilen trend ise, 2000 yılında yine 432 Btep ile başlamakta ve 2025 yılında resmi diziye eşdeğer 5 400 Btep'e ulaşmaktadır. Ara değerlerdeki farklılıktan 2000-2025 döneminde üretilecek jeotermal enerjinin kümülatif toplamı 95.4 Mtep olarak bulunmuşsa da, iki dizi birbiri ile yokumsanacak farkla çakışır durumdadır. Ancak, atılımcı bir jeotermal enerji politikası ile bu değerlerin yükseltilmesi olanaklıdır.

Türkiye'de yeteri kadar jeotermal araştırma ve üretim kuyusu açılmamıştır. Türkiye'de toplam 200 kuyu varken, Amerika'da Oregon jeotermal bölgesinde 500 kuyu bulunmaktadır. Mevcut jeotermal kuyuların yetersiz kaldığı bilinci ile daha çok araştırma yapılarak kuyu açılmasına hız verilmelidir. MTA'nın jeotermal programı genişletilmeli, il özel idareleri ve belediyeler tarafından finanse edilerek açtırılan kuyulara, kuyu riski sigortası getirilmelidir. Bu uygulama dünyanın pekçok ülkesinde vardır. Örneğin, Fransa'da arama ve kuyu riskini devlet üstlenmektedir. Fransa'da jeotermal kullanımlarda KDV oranı da % 6'ya düşürülmüş bulunmaktadır. Türkiye'de de teşvik amacı ile jeotermal uygulamalarda KDV düşük tutulmalıdır.

Türkiye'de jeotermal enerjide yeterli arama ve araştırma yapılmaması, yasal düzenleme olmaması, jeotermal kuyu riskinin devlet tarafından üstlenilmemesi, jeotermal kaynak doğal kaynak görülerek özel sektöre kuyu mülkiyeti verilmemesi, yeterince finansman ve kredi temin edilememesi, teşvik uygulanmaması gelişmeleri engellemektedir. **Jeotermal enerjinin gelişimini hızlandıracak yasal düzenlemelerin bir an önce yürürlüğe girmesi gerekir. Bir diğer yeraltı zenginliği olan petrol gibi, jeotermal alanların arama ve işletilmesi de yerli ve yabancı özel sermayeye açılmalıdır.**

Türkiye'de ısıtma amaçlı 31 100 MWt olan toplam teorik jeotermal potansiyelin kullanılabilir şekilde kesinleştirilmesi koşulunda, tam değerlendirilmesi için gerekli yatırım tutarı 7.5 milyar ABD \$'ı olarak hesaplanmaktadır. Yine yapılan teorik hesaplamalara göre, bu yatırım karşılığında yılda 1.875 milyar ABD \$'ı ciro, 1.750 milyar ABD \$'ı net yurtiçi katma değer, ve 9 milyar ABD \$'ı petrol ikamesi sağlanabilecektir.

Jeotermal alanların kullanım olanaklarının belirlenerek, entegre tesisler biçiminde planlanmaları ve kullanılmaları teşvik edilmelidir. Bu amaçla, özellikle büyük jeotermal projelerin özel bir statüde denetlenmesine önem verilmelidir. Türkiye'de yüksek entalpili jeotermal kaynaklar az olduğundan, bunlardan yapılacak elektrik üretimine, merkezi ısıtma, sanayiye proses ısısı sağlama, sera ısıtma gibi uygulamalar da eklenmelidir. Orta entalpili jeotermal kaynaklardan da elektrik üretimi sağlayabilmek için ikili çevrim teknolojileri üzerinde durulmalıdır.

8.2. Güneş Enerjisi

Türkiye güneş kuşağı içerisinde bulunan bir ülke olarak, gelişen güneş enerjisi teknolojisine koşut biçimde bu enerjinin kullanımını geliştirmelidir. Ülkemizde güneş

enerjisi bugünkü yerli teknolojik koşullarda olması gereken düzeyde kullanılmamaktadır. Oysa, Türkiye'de coğrafi bölgelere göre önemli güneş enerjisi potansiyeli bulunmakta olup, bu potansiyel bölgeleri karakterize eden il değerleri ile Tablo 8.3'de verilmiştir.

TABLO

Türkiye'de bölgelere göre güneş enerjisi potansiyeli.

Türkiye'de bugün güneşli su ısıtıcı kollektörlerle çekilen toplam enerji 120 Btep/yıl düzeyinde olmakla birlikte, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı raporlarında 1996 ve 1997 için 80 Btep/yıl olarak bildirilmektedir. Bakanlığın planlama çalışmasına göre, ısı uygulamalara dayalı biçimde güneş enerjisi kullanımı 2000 yılında 121 Btep ve 2020 yılında 745 Btep olacaktır. Trend 2025 yılına kadar uzatıldığında 932 Btep'e çıkmaktadır. Bu trend ile 2000-2020 döneminde güneşten çekilecek enerji kümülatif toplam olarak 11.9 Mtep olsa da, söz konusu planlama güneş enerjisinin kullanılmaması demektir.

Güneş enerjisi yine ısı uygulamalara dayalı olarak ve teşvik edilerek, ekonomik parametrelere uygun biçimde çok daha fazla kullanılabilir. Bu rapor kapsamında yapılan ESM-EOM model çalışmasına dayalı planlamaya göre; 2000 yılında 287 Btep, 2005 yılında 716 Btep, 2010 yılında 1 458 Btep, 2015 yılında 2 514 Btep, 2020 yılında 3 882 Btep, 2023 yılında 4 854 Btep ve 2025 yılında 5 564 Btep güneş enerjisi üretimi öngörülmüştür. Önerilen bu trendin 2000-2025 dönemi kümülatif toplamı 59.8 Mtep'dir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın planlamasında yer alan üretim trendi ile bu raporda önerilen üretim trendi karşılaştırmalı biçimde Şekil 8.4'de gösterilmiştir.

Türkiye'de güneş enerjisi üretim projeksiyonu.

ŞEKİL

Güneş enerjisinin kullanım alanları çok çeşitli olup, amaca göre değişmektedir. Bu enerjinin kullanım amaçları şöyle sıralanabilir:

- * Konutlarda ve ticarethanelerde ısı ve elektriğe dayalı bir bölüm enerji isteminin karşılanması.
- * Sanayi enerji isteminin bir bölümünün ısı ve elektriğin birlikte üretimine dayalı entegre güneş enerjisi teknolojisiyle karşılanması.
- * Kırsal kesimde ve tarımsal teknolojide enerji isteminin olabildiğince karşılanması.
- * İletişim araçlarında (radyo, TV, telefon), sinyalizasyon ve otomasyonda bir bölüm enerji isteminin karşılanması.
- * Gündüz ve gece aydınlatmasında güneş enerjisinin kullanılması.
- * Güneş santralleri ile elektrik üretilmesi.
- * Bazı taşıma ve ulaştırma araçlarında çalıştırıcı enerji olarak kullanılması.
- * Askeri ve uzay uygulamaları gibi özel amaçlarla güneş enerjisinin kullanılması.

Güneş enerjisinin kullanılabilmesi için öncelikle toplanması gerekir. Bu toplama işlemi ısı ve elektriksel olmak üzere iki farklı yöntemle yapılmaktadır. Basitlik ve ucuzluk gibi nedenlerle ısı toplama yöntemi daha çok tercih olunur.

Isıl güneş kollektörleri; düz yüzeyli ve yoğunlaştırmasız, odaklı ve yoğunlaştırmalı, güneş havuzları olmak üzere üç değişik tipe ayrılmaktadır. Düz yüzeyli kollektörler 100 °C'yi aşmayan uygulamalarda kullanılırken, odaklı kollektörlerle 3 000 °C düzeyinde uygulamalar yapılabilmektedir. Güneş havuzları ise düşük sıcaklıklarda büyük miktarda ısı toplamaya yarar. En yaygın kullanım alanı bulan düz yüzeyli yoğunlaştırmamasız kollektörlerdir. Toplanan ısı enerjisi bir akışkana aktarılarak, kullanım alanına ya da fiziksel depolama ortamına taşınır.

Elektriksel güneş kollektörleri güneş pilleri olup, yarı iletken diyod yapısındaki bu

piller güneş ışığını, fotonlarından yararlanarak fotoelektrik (PV) olay gereğince direkt elektrik enerjisine çevirirler. Değişik yarı iletken malzemeler güneş pili yapımında kullanılmaktadır. Ancak, silisyum kullanılan en yaygın malzeme durumundadır. Kristal silisyum, galyum arsenit, amorf silisyum, kadmiyum tellurid, bakırindiyumdiselenid başlıca malzemelerdir. Güneş pili üretimi yüksek elektronik teknoloji gerektirmektedir.

Türkiye'de güneş enerjisinin tüm kullanım alanları ile yaygınlaştırılması gerekmektedir. Ancak, ısı uygulamaların ağırlığı olmak zorundadır. Güneş enerjisinin uygulama alanları; kullanım suyu ısıtma, yüzme havuzu ısıtma, kaynatma ve pişirme, bitkisel ürünlerin kurutulması, su distilasyonu, yapıların pasif olarak ısıtılması ve iklimlendirilmesi, yapılarda aktif ısıtma ve iklimlendirme, sanayi proses ısısı üretilmesi, termodinamik çevrimli veya elektriksel çevrimli olarak sulama suyu pompajı, toplu yerleşim ünitelerinde entegre sistemlerle ısı ve elektriğin birlikte üretilmesi, otoprodüktör veya şebeke bağlantılı elektrik üretilmesi, fotokimyasal ve fotosentetik çevrimler gerçekleştirme gibi çok geniş bir tayf içinde sıralanmaktadır.

8.2.1. Güneş Isıl Sistemler

Güneş ısı sistemlerinin düşük ve yüksek sıcaklık uygulamaları vardır. Düşük sıcaklık uygulamaları yapıların ısıtılmasını, konut, sanayi ve tarımda çeşitli ısı gereksinimlerinin karşılanmasını kapsarken, yüksek sıcaklık uygulamaları buhar üretiminden maden ergitmeye kadar uzanmaktadır. Isıl uygulamalar içinde su ısıtıcılar, yapıların ısıtılması ve soğutucular önemlidir. Güneş enerjisinin diğer ısı uygulamaları kurutma, acı ve tuzlu suların distilasyonu, sıcak hava motorları ile diğer termodinamik ısı çevrimler olup, tarımda ve çeşitli sanayi kesimlerinde bu uygulamalardan yararlanılabilir.

Güneş ısı sistemlerinin başında güneşli su ısıtıcılar gelmektedir. Türkiye'de gelişme gösteren ve yurt dışına ihracat yapabilen güneşli su ısıtıcı sektörü bulunmaktadır. Bu sektörde düz yüzeyli klasik kollektör üreten dört büyük kuruluşun yanısıra, yüzü aşkın orta ve küçük sanayi işletmesi vardır. Sektörde yaklaşık 2000 kişi istihdam edilmektedir. Türkiye'nin toplam kollektör üretim kapasitesi 400 000 m²/yıl düzeyinde olup, talep karşısında 500 000 m²/yıl düzeyine çıkılabileceği sanılmaktadır. Yapılan üretimin yaklaşık % 20-25 kadarı ihraç olunmaktadır.

Türkiye'de halen 3 000 000 m² kurulu kollektör alanı ile güneşli su ısıtıcılardan 120 Btep enerji kazanılmaktadır. Bunun ilk etapta 500 Btep'e çıkarılması için kurulu kollektör alanının 12 500 000 m² düzeyine yükseltilmesi gerekmektedir. Bu açıdan bakılınca bu sektörün büyütülmesi ve üretim kapasitesinin artırılması gerekmektedir.

Ülkemizde hemen başlatılması gereken bir diğer ısı uygulama yapıların güneş enerjisi ile ısıtılmasıdır. Yapıların güneşle ısıtılması, pasif yöntemle veya aktif yöntemle gerçekleştirilmektedir. Ancak, öncelikle yerleşim alanlarının ve yapıların güneş mimarisine uygun tasarlanmaları gerekir. Yerleşim alanları her yapının güneş hakkı gözetilerek, güneş enerjisi alabilecek şekilde düzenlenmelidir. Yapı bazında güneş mimarisi, binaların güneşten ısı kazancının kışın maksimize, yazın minimize ve iç mekanların her mevsimde ışık alma kapasitesinin optimize edilmesini amaçlar. Ancak, Türkiye'de bu alanda güneş kuşağı dışında kalan bazı ülkeler kadar bile ilerleme kaydedilmediği görülmektedir.

Pasif sistemle yapı ısıtmada çeşitli mimari özelliklerden ve inşaat bileşenlerinden yararlanarak hacim ısıtması yapılır. Burada güneş kollektörü yapının ayrılmaz parçası olur. Güneşten kazanılan enerji havaya transfer olunarak, doğal ya da zorlanmış konveksiyon akımıyla yapıya dağıtılır. Aktif ısıtmada kollektör, akışkan taşıyıcı hatlar, akışkan sirkülasyon sistemi, ısı eşanjörleri, ısı deposu, ısıtıcı elemanlar, klima amaçlı ise ısı pompası, kontrol ünitesi gibi ısıtma donanımları yer almaktadır. Aktif sistemin

pahalı oluşuna karşın, pasif sistem ucuz ve kolay uygulanabilir yapıdadır. Aktif ya da pasif bir güneşli ısıtma sistemi, yapının ısı gereksiniminin % 50'den fazlasını güneşten sağlayabilmelidir.

Güneş ısı uygulamalarının bir başkası da güneşli soğutuculardır. Soğutma, Türkiye'de uygulanması gereken güneş enerjisi teknolojilerindedir. Genelde enerji tüketiminin küçümsenemeyecek bir bölümü soğuk üretimine gitmektedir. Sıcak iklim bölgelerinde elektrik tüketimi içerisinde soğutma uygulamalarının payı % 40'lara ulaşabilmektedir. Buhar kompresyonlu, buhar sorpsiyonlu ve buhar-jet güneşli soğutma sistemleri ticari uygulama alanında yer almaktadır.

8.2.2. Güneş Elektrik Sistemleri

Güneş enerjisinden elektrik üretimi direkt ve indirekt iki yöntemle yapılabilmektedir. Direkt yöntemde fotovoltaik, termoelektrik ve termoiyonik çevriciler yer alır. Büyük çapta elektrik üretimi için bunlardan yalnızca fotovoltaik (PV) sistemler kullanılabilir. Ancak, PV sistemi için büyük olan güç, günümüz elektrik santrallerinin gücü yanında küçük kalmaktadır. İndirekt yöntem ise güneş termik elektrik üretimidir. Bugün elektrik santralleri ile kıyaslanınca orta ve büyük güçlü güneş termik elektrik santrallerinin kurulabileceği görülmüştür. Güneşten PV sistemlerle elektrik üretimi 1954 yılında gerçekleştirilmiş olmasına karşın, ilk güneş termik elektrik santralleri 1970'lerin sonunda kurulmuştur.

8.2.2.1. Güneş fotovoltaik

Güneş fotovoltaik sistemler şebekeden bağımsız ve şebeke bağlantılı olmak üzere ikiye ayrılır. Şebeke bağlantılı sistemler dağıtık PV güç sistemleri olabileceği gibi, PV santralleri biçiminde de olmaktadır.

Şebekeden bağımsız olanlar, belli bir birimin elektrik gereksinimini sağlayan güneş pili veya PV modüllerine dayanır. Güneş pili bataryası da denilen bu modüllerden üretilen DC elektrik akımı ile tüketici beslenir. Sistemde akü ünitesi bulunur. Beslenen özel bir makina-tesis olabileceği gibi, bir yapı da olabilmektedir. Yapıların çatılarına modüllerin yerleştirilmesi, kiremitlere entegre yapılabilmektedir. Şebekeden bağımsız bu sistemlerin güçleri birkaç Wp'dan 25 kWp'a kadar uzanmaktadır. Ticari güneş pili ve modüllerin verimi en çok % 15 kadardır. Böylece, Türkiye koşullarında 1 m² alandan üretilen elektrik gücü öğle saatlerinde 125 Wp olup, 1 kWp fotovoltaik güç için gerekli alan 8 m² dir.

Fotovoltaik sistemde sürekliliğin sağlanması ve enerji arz-talep dengesinin oluşturulabilmesi için bir depolama ünitesi (akü grubu) yerine gerektiğinde devreye girecek yedek kaynak daha iyi olmaktadır. Yedek kaynak mevcut elektrik şebekesi olduğunda yatırım gideri en alt düzeye inmektedir. Güneş pilleri ile oluşturulan şebekeye bağlı dağıtık PV güç sistemleri, yapılar için oluşturulmuş sistemlere dayanır.

Bu sistemler akım ve gerilim isteklerine bağlı olarak düzenlenmiş PV modüller, DC/AC dönüşümü sağlayan invertör ile değişik yük ve ışınım koşullarına uyum sağlamak için elektronik kontrol alt sisteminden oluşur. Şebekeden çekilen ve şebekeye verilen elektrik enerjisi iki sayaç ile ayrı ayrı belirlenir. PV sistemde doğabilecek arızaların şebekenin öteki abonelerini etkilememesi için, gerilim/frekans değerlerinin bozulması durumunda sistemi izole eden emniyet ve kontrol cihazları gerekmektedir. Bu tür sistemler 1-50 kWp arasında güce sahiptirler.

Şebeke bağlantılı PV sistemlerin en gelişmiş PV elektrik santralleridir. 100 kWp - 10 MWp arasında çeşitli PV santralleri kurulmuştur. Ancak, bu santrallerin kuruluş ve birim enerji maliyetleri yüksek olduğu için denemeler dışında fazla gelişmedikleri görülmüştür. PV sistemlerin uygulama bulduğu alan, daha çok şebekenin ulaşamadığı yerlerle sınırlanmaktadır.

PV güç sistemlerinin maliyetleri; sistemin büyüklüğüne, verimine ve kalitesine, sistemin şebekeye bağlı ya da bağımsız oluşuna, ülkelere göre geniş bir açıklıkta değişmekte ve 4 100 ABD \$/kW'dan başlayıp, 10 000 ABD \$/kW'a çıkabilmektedir. Çoğunlukla 5 000-6 000 ABD \$/kW sistem fiyatı egemendir. Genelde birim enerji maliyetleri de 15 cent/kWh düzeyini aşkın olmakla birlikte, Avrupa Birliği tarafından geliştirilmiş projelerde 50 MW'lık santrallerle bu maliyetin 8.5 cent/kWh düzeyine çekileceği belirtilmektedir. Bu amaçla, şimdilik 5 MW kurulu güçlü bir santral Girit adasında inşa edilmekte olup, 2003 yılında gücünün 50 MWp'a çıkarılması planlanmıştır.

PV üreteçlerinin Türkiye'de de çok sınırlı biçimde kullanıldığı görülmektedir. Ancak, pilot uygulamalarla yaygınlaştırılmalarına çalışılmalıdır. Şebeke bağlantılı dağınık PV güç sistemlerinin kullanılabilmesi için gerekli mevzuat düzenlemeleri yapılmalıdır. Ayrıca, 1 MW'dan küçük olmayacak pilot PV santrali kurulmalı, PV santralleri kurulu gücünün 2005 yılında 25 MW, 2010 yılında 200 MW ve 2020 yılında da 1 000 MW olması hedeflenmelidir. Bu uygulamaların özel sektör eliyle başlatılması benimsenerek, devlet teşvikleri verilmelidir. PV modüllerin yerli elektronik endüstrisince üretilmesi konusu üzerinde de durulmalıdır.

8.2.2.2. Güneş termik

Güneş termik elektrik santrallerinde; güneş enerjisi ile elde olunan buhar gücünden, klasik termik santrallerde olduğu gibi türbin-jeneratör ünitesi ile elektrik üretilmektedir. Bu santraller kollektörlerine göre gruplandırılır. Güneş termik elektrik santralleri heliostat tarlalı ve merkezi güç kuleli, parabolik oluk tipi odaklı kollektör tarlalı ve dağınık parabolik çanak tipi kollektör tarlalı olabilmektedir. Özellikle ilk iki tipin büyük çapta elektrik üretimine uygun olduğu görülmüştür. Güneşten elektrik üretiminde atılım, termik üretimle sağlanmıştır. 1975-1985 yılları arasında güçleri 1-10 MW olan değişik güneş termik santralleri kurularak denenmiştir. 1985 yılında ise Amerika'da Güneş Elektrik Üretim Sistemleri (SEGS) Projesi kapsamında Luz Şirketi tarafından California'da 13.8 MW gücündeki birinci ünitesi ile güneş-doğal gaz hibrid termik santrali kurulmuştur. Luz santralına teknolojik geliştirmelerle sürekli yeni üniteler eklenmiş ve 1991 yılında 9. ünitesi ile gücü 354 MW'a yükseltilmiştir. T.C. Cumhurbaşkanlığı Devlet Denetleme Kurulu Başkanlığı için 1998 yılında hazırlanan raporda, 18 ünite ile gücünün 674 MW olduğu belirtilmekte ise de, bu bilgi yabancı literatürlerce doğrulanmamakta, firmanın iflas ederek santrali devrettiği söylenmektedir. Luz santralındaki herbir ünitenin güneş tarlasında uzunlamasına parabolik modüler güneş kollektörleri yer almaktadır. Güneş tarlalarının çalışma sıcaklıkları 580-670 K arasında olup, büyüklükleri 2 400-6 300 m²/MW arasında değişmektedir.

Luz güneş-doğal gaz hibrid termik santrali üretiminin toplam enerji girdisinde doğal gazın payı % 25-30 arasında değişmektedir. Güneşle üretilen buharın kızdırılması için doğal gaz kullanılmaktadır. Amerika'da bu tür santrallerden elde olunacak elektrik enerjisinin % 75'inin güneş kökenli olması zorunluluğu getirilmiştir. Bu zorunluluk santralin işletmeciliğinde zorlama oluşturmuştur. Oysa, santral % 50 güneş ve % 50 doğal gaz girdisi ile çalışma yapabilecek biçimde inşa edilmiştir ve bu oranlarla çalışması da kazançlı görülmektedir. Luz santralında verim her ünite için değişik olup, % 29.4 - 37.6 arasında değişmektedir. Yalnız doğal gaz girdisi koşulundaki verim ise % 37.3-39.5 sınırlarındadır. Luz santrali yılda 4 500 h çalışmaya uygun olmakla birlikte, fiili çalışma süresi 3 000-3 500 h arasında kalmaktadır.

Değişik tip güneş termik santrallerinin maliyetleri 1 800-4 000 ABD \$/kW arasında bulunmaktadır. Güneş-doğal gaz hibrid santralının ilk örneği olan Luz santralında maliyet, ilk ünitelerde 2 850 - 3 000 ABD \$/kW iken, bugün 160-200

MW'lık ünitelerle 1 800 - 2 000 ABD \$/kW düzeyine çekilebileceği belirtilmektedir. İlk güneş termik santrallerinin enerji maliyeti 20 cent/kWh'ı aşkın olurken, Luz tipi hibrid termik santralleri için bugün hesaplanan maliyet 5-7 cent/kWh kadardır. Doğal gaz girdisinin % 50 oranında tutulması koşulunda maliyet daha da düşebilecektir.

Türkiye'de güneş-doğal gaz hibrid termik santral teknolojilerinden yararlanılması mutlaka gerekir. Türkiye'nin birinci güneş-doğal gaz hibrid termik santrali 2005-2010 arasında 250-500 MW güçle kurulmalıdır. Bu teknolojinin de özel sektör eliyle ülkeye girmesine olanak tanınmalı, bu amaçla özel devlet teşvikleri uygulanmalıdır. 2020 yılında güneş-doğal gaz hibrid termik santralleri kurulu gücünün 4 000-5 000 MW'a çıkarılması planlanmalıdır.

8.2.3. Güneş Enerjisi ile İlgili Sorunlar

Bugün için Türkiye'de hiçbir teşvik görmeden serbest piyasa kuralları içerisinde doğmuş güneş enerjisi sanayi, yine teşvik görmeksizin ortaya çıkmış güneş enerjisi kullanıcıları vardır. Bu spontane oluşum, güneş enerjisinin sınırlı biçimde de olsa kamuoyunun bir bölümünce tanınmasına ve sınırlı bir pazarın oluşmasına dayanmaktadır.

Güneş enerjisi sanayi kapsamında birkaç büyük firma ile yüzlerce küçük firma yer almaktadır. Büyük firmaların yurt dışına kollektör ihracatları vardır. Küçük firmaların korsan imalatları kalitesiz bulunmakta ve haksız rekabet yaratmakta, tüketicinin zarar görmesine neden olmaktadır. Kaliteli üretimin maliyeti yükselmekte, buna karşın alıcısı azalmaktadır. Bu çıkmazın aşılması için KDV indirimi, tüketici kredisi uygulaması, gerek üretici ve gerekse toplu tüketici için vergi kolaylıkları sağlanması teşvik unsuru olacaktır.

Türkiye'de düz yüzeyli güneş kollektörleri ve güneşli su ısıtma sistemlerine ilişkin standartlar bulunmakla birlikte, uygulaması zorunlu değildir. Kaldı ki, söz konusu standartlar ihtiyacı tam karşılamaktan uzaktır. Dışarıya ihraç açısından yabancı alıcılar, Türk Standartına uygun kollektörleri almamakta, standart dışı özel üretim istemektedirler. Çünkü, mevcut standartlar hızla gelişen teknolojinin gerisinde kalmıştır. Bu nedenle, güneş enerjisi uygulamaları ile ilgili standartlar gözden geçirilmeli ve ihtiyaç duyulan alanlarda yenileri hazırlanmalıdır. Hazırlanacak standartların uygulanmasına özen gösterilmeli, mecburi standart biçimine sokularak, küçük firmaların kalitesiz korsan imalatları da önlenmelidir.

Güneş enerjisinin geniş kitlelere planlı biçimde tanıtılması, bu enerjiye olan talebin artırılması gerekmektedir. Ülkemizde güneş enerjisi yalnız su ısıtıcılarla kullanılmaktadır. Diğer kullanım alanlarının ortaya çıkması için demonstrasyon çalışmaları yapılmalıdır. Güneşle pasif ve/veya aktif biçimde ısıtılan kamu binaları inşa edilmeli ve giderek yaygınlaştırılmalıdır. Güneşli yüksek sıcaklık uygulamaları, soğutma tekniği, PV düzeneklerle elektrik üretimi halka gösterilmelidir. Yabancı ülkelerde yapılan benzer uygulamalar TV programlarında yer almalıdır. Teknoloji geliştirmeye yönelik Ar-Ge çalışmaları da desteklenmelidir.

Hibrid güneş termik elektrik santralleri (güneş+doğal gaz ya da herhangi bir fosil yakıt) uzun dönem elektrik planlaması içerisine alınmalıdır. Yerli ve yabancı özel sermaye işbirliği ile teknoloji transferini de içeren biçimde kurulmalarını sağlamak amacıyla, bir dizi mali teşvik önlemleri ortaya konulmalıdır. Bu santrallerin toplam enerji girdisi içinde güneş girdisinin en az % 35 düzeyinde olması teşvikler için yeter sayılmalıdır.

Türkiye'de güneş enerjisi uygulamalarının yaygınlaştırılıp geliştirilmesi, gerekli kurumsal alt yapı oluşturulması, güneş enerjisi ile ilgili sanayiye ve/veya tüketicilere teşvik uygulanması için yasal düzenleme zorunludur. Bu arada yapı

ısıtmaya büyük katkı sağlayacak pasif yöntemlerden yararlanmayı hedefleyen güneş mimarisi uygulamalarının gelişebilmesi için "güneşten yararlanma hakkı" ilkesi kapsamında, yeni bir mevzuat oluşturulması gerekmektedir. Yeni yerleşim bölgelerindeki kent ve konut planlamasında güneş enerjisinden yararlanmayı sağlayacak yasal düzenlemeler yapılmalıdır. Toplu konut idaresi ve belediyelerce yapılan inşaatlarda, güneş enerjisi uygulamaları teşvik edilmelidir. Güneş mimarisine göre inşa edilen pasif ve/veya aktif sistemli binalara batı ülkelerinde olduğu gibi vergi indirimi getirilmelidir.

8.3. Rüzgar Enerjisi

Rüzgardan sağlanacak güç rüzgar hızının kübü ve kullanılacak rüzgar türbininin rotor süpürme alanı ile doğru orantılıdır. Önemli faktör olan rüzgarın hızı, yerden yükseldikçe logaritmik artış göstermektedir. Bir yörede kurulacak rüzgar santralinden elde olunabilecek güç, yalnızca kullanılan makina sayısı ve makina büyüklüğü ile sınırlanmakta, doğal karakteri ile sınırsız bulunmaktadır. Aynı yerde isteğe bağlı olarak 1 MW'lık rüzgar santrali da, 100 MW'lık ve/veya daha büyük rüzgar santrali da kurulabilir.

Rüzgar değirmenlerinin kullanılışı milattan öncesine uzanmakta ise de rüzgardan elektrik üretimi 100 yıl önce başlamıştır. 1950 yılı öncesinde daha çok 20-100 kW'lık makinalar üzerinde durulmuş olmakla birlikte, 1 250 kW'lık türbin de yapılmıştır. 1974-1978 Yapay Petrol Krizleri dönemine kadar 100 ve 800 kW'lık rüzgar türbinleri üzerinde durulduğu görülmektedir. 1980'li yıllarda yeni teknoloji ve malzemelerle yeniden geliştirilerek dizayn edilen ve maliyetleri düşürülen rüzgar türbinleri, rüzgar elektriği için yeni çağ açmıştır.

Son onbeş yıldır Amerika'da yeni bir rüzgar endüstrisi yaratılmıştır. 1982-1992 yılları arasında California'da yaklaşık 15 000 rüzgar türbini kurulmuştur. 370 MW güçlü Kenetech Rüzgar Çiftliği, dünyanın en büyük rüzgar santralidir. 8160 ha alan kaplayan bu çiftlikte 100 kW'lık 3500 adet ve 300-400 kW'lık 40 adet türbin bulunmaktadır. Ancak, kısa zamanda bu türbinlerden daha modernleri geliştirilmiştir. Avrupa rüzgar sanayinin gelişmesinde Uluslararası Enerji Ajansı çalışmalarının büyük katkısı vardır. Rüzgar teknolojisi hızla gelişmektedir. Öyle ki, 1995 yılında yeni türbinler 600 kW güçte iken, bugün yeni geliştirilen türbinlerin gücü 2 MW'dır. Almanya son iki yılda yaptığı atakla 1998 ortasında rüzgar kurulu gücünü 2 200 MW'a çıkarmış, kurulu gücü 1800 MW'larda kalan ABD'yi geçmiş ve birinciliği elde etmiştir.

Dünyada rüzgar santrallerinin kurulu gücü hızlı artış göstermektedir. 1990 yılında dünyanın kurulu rüzgar gücü 2 160 MW iken, 1994 yılında 3 738 MW'a, 1995 yılında 4 843 MW'a, 1996 yılında 6 097 MW'a ve 1997 yılında da 7 000 MW'a çıkmıştır. 1998 yıl ortası itibari ile 7 500 MW'a ulaştığı söylenmektedir. Kurulu gücün % 60'ı Avrupa, % 25'i Amerika'dadır.

Avrupa'da en büyük kurulu güç Almanya'da olup, onu Danimarka, Hollanda, İngiltere, İspanya, İsveç, İtalya ve Yunanistan izlemektedir. Asya'da Hindistan ve Çin rüzgar santrallerine önem vermektedir. 2000 yılı için dünyanın kurulu güç hedefi 14 000 MW kadardır. Avrupa Birliği 2005 yılında, Avrupa'daki kurulu gücü 11 500 MW'a çıkarmayı kararlaştırmıştır. Avrupa'nın 2010 yılı için hedefi 25 000 MW ve 2030 yılı hedefi ise 100 000 MW'dır.

Günümüzde rüzgardan elektrik üretimi için büyük güçlü türbinlerle kurulan rüzgar santrallerinin (rüzgar çiftliklerinin) yanında, küçük güçlü türbinler olan rüzgar jeneratörleri de kullanılmaktadır. Uygulamada bunlar şebekeden bağımsız çalıştırılan rüzgar jeneratörleri ve şebeke bağlantılı rüzgar santralleri olarak ayrılmaktadır.

Rüzgar enerjisi bakımından deniz alanları karalara göre daha büyük zenginlik gösterdiği için denizlerde de denizüstü (off-shore) tip rüzgar santrallerinin kurulmasına başlanmıştır. Birinci etapta kıyıda uzaklığı 10 km'yi ve derinliği 10 m'yi geçmeyen alanlar hedeflenmiştir. İlk denizüstü rüzgar çiftliği 5 MW güçle Danimarka'da Lolland adası yakınında kurulan Vindeby rüzgar çiftliğidir. Diğer ülkeler (İngiltere, İsveç) ile birlikte Avrupa'da şu anda 12 MW'lık denizüstü rüzgar santrali çalışır durumdadır. Avrupa'da denizüstü kurulu gücün kısa zamanda 180 MW'a çıkarılması planlanmıştır. 2030 yılında Avrupa'da 100 000 MW'a çıkması hedeflenen rüzgar kurulu gücünün denizüstü payının % 25'den az olmayacağı beklenmektedir.

Rüzgar enerjisindeki hızlı gelişimin önemli nedeni, bu kaynağın çevre dostu temiz kaynak oluşudur. Rüzgar türbinlerinin teknolojisi geliştirildiğinden, gerek kurulmalarında ve gerekse işletilmelerinde kaza olasılığı yok denecek düzeye indirilmiştir. Kompozite malzemenin yapılmış kanatlarda kırılma olmamaktadır. Rüzgar santralleri savlanıldığı gibi kuş ölümlerine de neden olmamakta, kuşların türbinlerin kanadına çarpma olasılığı milyonda birden az bulunmaktadır. Türbinden 100 m uzaklıkta duyulan ses 60 dB düzeyinde olup, oto içinde duyulan sestense azdır. 400 m uzaklıkta ise 37 dB ile gece sessizliğine ulaşmaktadır. Rüzgar enerjisinin CO₂, SO_x ve NO_x gibi sera gazları emisyonu olmaması da en büyük avantajıdır.

8.3.1. Şebekeden Bağımsız Rüzgar Elektrik Sistemleri

Şebekeden bağımsız rüzgar elektrik sistemleri birkaç kW ile 100 kW arasında kullanılmakla birlikte, çoğunlukla 30 kW'ı aşmamaktadır. Bu tür rüzgar jeneratörleri üç palli bir çark, transmisyon sistemi, DC jeneratör, yöneltici kuyruk ve fren sisteminden oluşur. Makina daha çok direk tipi pilon üzerine yerleştirilir. Elde olunan DC elektrik akü ile depolanabilir.

Şebekeden bağımsız büyük güçlü (10-100 kW) sistemler, yedek enerji kaynağı olarak diesel jeneratörlerle paralel çalıştırılmaktadır. Böyle bir sistemde diesel jeneratörün rüzgardan yararlanarak % 40-50 yakıt tasarrufu sağlanması amaçlanmaktadır. Rüzgar-Diesel sistemlerde DC/AC invertör kullanılarak tüketici AC ile beslenmektedir.

Türkiye'de özellikle 10 kW'dan küçük güçlerde rüzgar+güneş PV elektrik sistemlerine bir talep olduğu ve bu tür sistemlerin piyasaya çıkarıldığı da görülmektedir. Bu sistemler DC karakterli ve akülüdürler. Ancak, pahalı olmaları yaygınlaşmalarını engellemektedir. Ucuzlatıcı önlemler alınmalıdır.

8.3.2. Şebeke Bağlantılı Rüzgar Elektrik Sistemleri

Rüzgar santralının ana yapı elemanı türbinidir. Günümüz rüzgar türbinleri geliştirilmiş rüzgar enerjisi çevrim sistemleri (WECS) olarak tanımlanır. Rüzgar santrallerinde kullanılan türbinlerin hemen tümü yatay eksenli propeller türbinlerdir. Rotor kanat sayıları bir ile üç arasında değişmektedir. Kanatlar kompozite malzemenin yapılıdır. Çoğunlukla up-wind (üst rüzgarlı-rüzgarın kuleden önce rotora çarptığı) tip türbinler kullanılır.

Türbin rotor çapları 18-70 m, rotor süpürme alanları 255-3 850 m², rotor dönme hızları 28-60 rpm arasındadır. Kule yükseklikleri 75 m'ye dek uzanabilmektedir. Çalışmaya başlama için hub (rotor göbeği) yüksekliğinde gerekli rüzgar hızı 3-4 m/s olup, nominal güç üretim koşulu için 11-14 m/s rüzgar hızı gerekmektedir. Türbinler; mikroişlemcili logic kontrol-kumanda sistemli, stall güç ayarlı ve disk frenlidir. Senkron veya asenkron jeneratörlü olmaktadırlar. Transmisyon sistemi bulunmayan değişken hızlı senkron jeneratörlü tipleri de vardır. Rotor kütleleri 3-26 t, tüm donanımı ile gövde (tekne) kütleleri 10-56 t, kule kütleleri 12-88 t arasında değişmektedir.

Bugün rüzgar santralleri tek türbinli olarak değil, genellikle birden çok türbin içeren ve şebeke ile bağlantılı rüzgar çiftlikleri biçiminde kurulmaktadır. Büyük denilen türbinlerin güçleri 1990 yılında 100-250 kW iken, günümüzde 450- 2 000 kW arasında bulunmaktadır. Bugünkü uygulamada daha çok 400-1 500 kW'lık türbinler kullanılmaktadır. Ancak, 2 MW'lık türbinler de vardır. Bununla beraber uzunca bir dönem 600 kW-1 MW'lık türbinlerin başat olmaları beklenmektedir. Rüzgar santralleri teknolojisinin geleceğine ilişkin tahminlerde, 3 MW'lık türbinlerin önümüzdeki 25 yıl içinde ticari olarak uygulamaya konulabileceği yönündedir. Şebeke bağlantılı rüzgar santralleri genellikle elektrik iletim hatlarına yakın yörelerde kurulmakta, ya da oraya iletim hattı ulaştırılmaktadır. Ayrıca, yöredeki trafo kapasitesinin santrale uygun olması gerekmektedir.

Teknolojik gelişimle rüzgar türbinlerinin ünite güçleri artırılırken, son beş yıl içerisinde fiyatları düşürülmüştür. Karada kurulan türbinlerin birim fiyatları 1600 - 1 800 \$/kW'a kadar çıkabilmekte ise de, ABD iç piyasasında 750 \$/kW düzeyine inildiği belirtilmektedir. Dünya genelinde türbin pazarı 2000 MW/yıl düzeyine ulaştığında, birim kurulu güç maliyetinin 750 \$/kW değerinin altına çekilebileceği tahmin edilmektedir.

Rüzgardan üretilen elektriğin birim maliyeti ülkelere göre farklılık göstermektedir. 1981 yılında bu maliyet dünya genelinde 25-30 cent/kWh iken, bugün 10 cent/kWh'in altındadır. 1996 yılı verileri ile Amerika'da 3.9 cent/kWh, Almanya'da 10 cent/kWh olup, 1997 yılı verileri ile Almanya'da 5.6 cent/kWh, İngiltere'de 5.7 cent/kWh kadardır. Rüzgar enerjisinin teşvik edilmesi için Almanya'da, üretilecek elektriğin tamamının son tüketiciye uygulanan fiyatın % 90'ı ile alınma garantisi yasal (Energieinspeise-Gesetz) olarak verilmiştir. Rüzgar kurulu gücünün geliştiği diğer ülkelerde de benzer uygulamalar vardır.

8.3.3. Türkiye Rüzgar Santralleri

Türkiye'de başlangıçta daha çok demonstrasyon amaçlı olarak çok küçük kapasitelerde rüzgar projeleri tasarlanmıştır. 1994 yılında hazırlanan 7. Beş Yıllık Kalkınma Planı Genel Enerji Özel İhtisas Komisyonu Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Grubu Raporu'nda, 2000 yılında 10 MW, 2005 yılında 20 MW ve 2010 yılında 50 MW'lık rüzgar kurulu gücü önerilmiştir. Ancak, kabul olunarak yürürlüğe konulan planda rüzgar enerjisi ile ilgili bir önlem yer almamıştır.

Özel sektör tarafından Yap-İşlet-Devret modeli kapsamında 1996 yılında yapılan ilk üç başvuru ile toplam kurulu gücü 31.82 MW olacak rüzgar santrallerinin kurulması istenmişti. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından 2020 yılına kadar hazırlanan genel enerji planlamasında ise rüzgar enerjisi yoktur. Bakanlığın 2020 yılına kadar açıkladığı enerji üretim projeksiyonu, her yıl yenilenmekle birlikte 1998 yılındaki açıklamada yine rüzgar enerjisine yer verilmemiştir.

Türkiye'de elektrik planlaması çalışmalarını yürüten TEAŞ'ın planlamalarında da rüzgar enerjisi ele alınmamış olup, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları 2000-2020 dönemi üretim planlaması çalışmalarının henüz tamamlanmadığı bildirilmektedir. Oysa, Türkiye'de rüzgar santrallerinin kurulmasına başlanmıştır.

Türkiye'de otoprodüktör kapsamında kurulan ve 580 kW'lık üç türbinden oluşan 1.74 MW'lık Delta Plastik Çeşme-Germiyan Rüzgar Santrali (Demirer Holding A.Ş.) enterkonnekte şebeke bağlantılı olarak Şubat 1998'de işletmeye açılmıştır. Resmi kayıtlara göre bu santralin gücü 1.5 MW olarak üretim kapasitesi 11.3 GWh/yıl olarak bildirilmektedir. Yap-İşlet-Devret modeli ile ARES A.Ş. (Interwind) firması tarafından Çeşme-Alaçatı'da kurulacak 600 kW'lık 12 türbin içeren 7.2 MW güçlü santralin sözleşmesi imzalanmış ve inşaatına başlanmıştır. Bu santralin üretim kapasitesi brüt

25.09 GWh/yıl, net 18.98 GWh/yıl olarak rapor edilmiştir. ARES Santralı 1998 yıl sonunda işletmeye girmiş olacaktır. Yap-İşlet-Devret modeli ile As Makinsan tarafından kurulmak üzere sözleşme aşamasında olan 2x25.2=50.4 MW'lık Çeşme-Kocadağ rüzgar santralı üçüncü sırada yer almaktadır.

Türkiye'de Yap-İşlet-Devret Modeli ile rüzgar santralı kurulması için Ekim 1998 başı itibari ile yapılmış 30 başvuru bulunmaktadır. Yukarıda tanıtılan sözleşmesi imzalanmış ve sözleşme görüşmeleri yapılan iki santralin dışında; geri kalan 28 başvuruda yer alan toplam kurulu güç 587.82 MW olup, beş opsiyonlu proje ile bu toplam 679.82 MW'a yükselmektedir. İlk iki santral da dahil olmak üzere toplam kurulu güç opsiyonsuz ve opsiyonlu olarak 645.42-737.42 MW'dır. Söz konusu projelerin durumlarına göre güç dağılımları Tablo 8.4'de gösterilmiştir. Ancak, Mart 1998 başında toplam 25 başvuru ile opsiyonlu ve opsiyonsuz güç toplamının 673.82 -765.82 MW gibi daha yüksek bir düzeyde olduğu göz önüne alınınca, bazı projelerin çekildiği ya da güçlerinin azaltıldığı görülmektedir. Bunun nedeni, yatırımcının karşılaştığı bürokratik engeller ve yeterli teşvik olmayışıdır.

Avrupa'da rüzgar türbini üretimi ve satışı yapan 18 firmadan Türkiye için alınan tekliflerde türbin FOB fiyatları 900-1 750 \$/kW arasında değişme göstermektedir. Güç büyüdükçe, yeni teknoloji ürünü türbinler ortaya çıktığından, birim fiyat artmaktadır. 450-600 kW'lık türbinler 900-1 100 \$/kW iken, en çok kullanılan 750-1 000 kW'lık türbinlerde 1 200-1 300 \$/kW, 1 000-1 500 kW'lık türbinlerde 1 400-1 500 \$/kW olmaktadır. Yeni teknoloji ürünü olan 1 500-2 000 kW'lık türbinler için fiyat 1 750 \$/kW'a yükselmektedir.

TABLO

Yap-İşlet-Devret modeli ile kurulmak istenen Türkiye rüzgar santralleri.

Türkiye'de de rüzgar enerjisinin teşvik edilmesi için üretilecek elektriğin özendirici bir fiyatla satın alma garantisi verilmelidir. Bugün uygulanan yöntemde 20 yıllık işletme süresi için ortalama tarife (paçal fiyat) 6.21-6.65 cent/kWh arasındadır. Sözleşmesi imzalanan ilk rüzgar santralında, üretilecek elektriğin ilk 10 yıl için 9 cent/kWh'dan ikinci 10 yıl için de 4 cent/kWh'dan TEAŞ/TEDAŞ veya görevli şirket tarafından satın alınması garantisi verilmiştir. İkinci sözleşmede de paçal fiyat aynı düzeyde olmakla birlikte, ilk altı yıl için 8.7 cent/kWh, ikinci altı yıl için 8 cent kWh ve kalan sekiz için 3 cent/kWh gibi farklı bir tarife uygulanmaya kalkışılmıştır. 6.21 cent/kWh'dan elektriği satın alınacak üretimci ile 6.65 cent/kWh'dan elektriği satın alınacak üretiminin Türkiye'ye aynı hizmeti verdiği bir gerçektir. Bu tür fiyat farklılıklarının projeden kaynaklandığı söylenmekte ise de, izlenen yol teşvik için tutarlı değildir.

Yukarıda açıklandığı gibi, genel enerji planlamasında ve elektrik planlamasında rüzgar enerjisine yer verilmediğinden, Türkiye'de resmi olarak somutlaştırılmış bir rüzgar enerjisi politikası ve geleceğe ilişkin hedef projeksiyonları yoktur. Ancak, bu konuda bazı öneriler ve tahminler bulunmaktadır. Ülkemizde rüzgar santralleri kurulmasına 500 MW'lık paket projelerle başlanması, paketlerin uygun sürede bitirilmesi, her paket için ayrı teknik, ekonomik ve mali koşullar belirlenmesi Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na sivil toplum kuruluşları tarafından sunulan raporlarla istenmiştir ve Türkiye 7. Enerji Kongresi'nde de dile getirilmiştir.

İlk projelerde Ege ve Marmara kıyıları öncelik kazanmıştır. Yapılan başvurularla Çeşme yarımadasında toplam kurulu gücü 260-290 MW arasında olacak rüzgar santralı kurulmak istenmektedir. Rüzgar elektriğinin şebekeyi kesintisiz besleyebilmesi, rüzgar santrallerinin diğer yörelere de dağılması gerekir.

Bugüne kadar yapılan çalışmalardan ve etütlerden çıkan sonuçlara göre; Afyon,

Akhisar, Alaçatı, Anamur, Antakya, Bandırma, Belen, Bozcaada, Bozkurt, Çanakkale, Çeşme, Çorlu, Datça, Didim, Dikili, Edremit, Erdek, Erzurum, Foça, Gökçeada, Haymana, İnebolu, Karabiga, Karaburun, Karaman, Kocadağ, Kumköy, Malatya, Mardin, Nurdağ, Pozantı, Samsun, Seydişehir, Silifke, Sinop, Söke, Şarköy, Tekir Yaylası, Ulukışla, Urla, Yalıkavak yöreleri rüzgar enerjisi bakımından zengin görülmektedir. Ancak, bu yerlerde rüzgar rasatlarının geliştirilmesi gerekir. Araştırma ölçümleri ile başka yerler de bulunabilir.

Foça ve Urla'nın deniz alanları denizüstü rüzgar santrali kurulmasına uygun durumdadır. Ayrıca, Ege'de kıta sahanlığı üzerindeki kayalıklarda, kayalıklar doğal zemin oluşturmak üzere, karadakinden az bir maliyet farkı ile denizüstü rüzgar santralleri kurulabilir.

Rüzgar santralleri inşaatı başladıktan sonra büyüklüğüne göre 2-5 aylık bir inşaat süresinde kurulabilmektedirler. Türkiye'deki başvuruların işlemlerinin sonuçlandırılması koşulunda 2000 yılında, istemlere koşut biçimde 300-500 MW'lık bir rüzgar kurulu gücünün oluşması beklenebilir. Avrupa Birliği, 2005 yılında kurulu gücünün % 2'si kadar rüzgar gücü olmasını, 1995 yılında kararlaştırmıştı. Şimdi bu oranın yükselmesi beklenmektedir. Ancak, Avrupa Birliği'nin enerji politikası hedefleri ile uyum sağlayabilmek için ülkemizde 2005 yılında kurulu rüzgar gücünün 900 MW'dan az olmaması gerekmekte ise de bu değer katlanarak aşılabilir.

Bu rapor için ESM ve EOM modellerin çıktılarına göre yapılan hesaplamayla, 2000-2025 döneminde olması gereken rüzgar kurulu gücünün gelişimi Tablo 8.5 ve Şekil 8.5 de gösterilmiştir. Buna göre kurulu güç 2000 yılında 300 MW, 2010 yılında 2 979 MW ve 2025 yılında 11 200 MW olabilecektir. Rüzgar santrallerinin yıllık çalışma süresi 1500-3000 h arasında olup, optimal olarak 2000-2500 h, güvenilir olarak 1800 h alınabilir. Bu çalışmada ortalama yıllık üretim için 2250 h'lık çalışma süresi temel alınmıştır. Buna göre 2000 yılında 675 GWh, 2025 yılında da 25 200 GWh elektrik üretilebilecektir. Tüm ülke yüzeyine yayılacak rüzgar santralleri, kurulu güçlerinin dörtte birine eşdeğer güçle sistemi kesintisiz besleyebilir.

TABLO

Yap-İşlet-Devret modeli ile kurulmak istenen Türkiye rüzgar santralleri.

Türkiye'de maksimum olarak her 10 km²'ye bir rüzgar türbini yerleştirmekle kurulabilecek toplam türbin sayısı yaklaşık 80 000 olmaktadır. Bugünkü teknolojinin üst sınırına göre her direğe 2 MW'lık bir türbin yerleştirilmesi koşulunda güç 160 000 MW olup, Türkiye'nin brüt ve teorik rüzgar potansiyeline eşdeğerdir. Söz konusu maksimum değer 2050 yılına doğru % 20-25 oranında gerçekleştirilmesi durumunda, üretilebilecek enerji en az 72 milyar kWh/yıl gibi önemli bir büyüklüktedir.

ŞEKİL

Türkiye için önerilen rüzgar kurulu gücü ve enerji üretimi.

8.3.4. Rüzgar Enerjisi ile İlgili Sorunlar

Rüzgar santralleri Yap-İşlet-Devret modeli ile değil Yap-İşlet modeli ile kurulmalıdır. Çünkü rüzgar devletin hüküm ve tasarrufu altında görülecek bir doğal kaynak değildir.

Rüzgar santralının kurulacağı yerin seçiminde yeterli rüzgar potansiyeli ve arazi olanağından başka; iletim hattına uzaklığı, trafo gücü, sit alanı ve/veya doğal koruma, milli park alanı olup olmaması, yakınında uzun mesafeli alıcı-verici antenler ve link hatları bulunmaması gibi özellikler önem kazanmaktadır.

Rüzgar tarlalarının geniş alan istemesi sorun olarak görünmekte ise de, türbinler

gerekli arazinin yalnızca % 1'ini kapsadığından, türbinlerin altında yetiştiricilik yapılabildiğinden, arazi kaybı söz konusu değildir. Herbir türbin (500-1000 kW) temeli 100 m x 10 m alanında ve 1.5 m derinliğinde beton temel gerekmektedir. Ayrıca, türbinlere ulaşım sağlayacak ölçüde yol yapılmaktadır.

Proje sahasını belirleyerek başvuru raporu alan ve rüzgar hızı ölçümlerine girişen üretici şirketlerin belirledikleri alanlara başka şirketlerin girmesi, yatırım olanaklarının prodüktif kullanılması açısından engellenmelidir. Santralin devletin hüküm ve tasarrufu altındaki bir yerde kurulmasının gerekmesi durumunda, üretim şirketine üs hakkı tanınmalıdır. Yerleşim yerlerinin rüzgar santrallarına 500 m'den fazla yaklaşmasına işletme süresi boyunca imar izni verilmemeli, aksi takdirde, üretici şirkete tazminat ödemesi zorunlu duruma getirilmelidir.

Rüzgarlı doğal sit alanlarında rüzgar santralları kurulması, bu alanları korumaya da yarayacağından, her derece doğal sit alanında rüzgar santralı kurulması engellenmemelidir. Tarihi sit alanlarının bazıları için de bu olanak tanınabilir. Rüzgarlı orman yörelerindeki rüzgar santralları 6831 Sayılı Orman Kanunu'nda bulunan fon ödemesinden muaf tutulmalıdır.

Şebeke bağlantılı rüzgar santralları için rüzgarlı yörelerdeki enerji iletim hatları artırılmalı ve yeni hatlar özel sektörle koordineli planlanmalıdır. Bugün en yakın noktadaki trafo merkezinin kısa devre gücünün en çok % 5'i kadar rüzgar santralının kurulmasına izin verilmektedir. Ancak, diğer ülkelerde böyle bir uygulama yoktur. Uygun alanlarda trafo MVA güçleri artırılmalı, kör güç oranı daha yüksek tutulmalıdır. Ayrıca, santral bağlantısı en az 34.5 kV'luk hattın BARA'sına yapılabilmektedir. Bu konuda da mevcut teknik olanaklarla sınırlandırmaların kaldırılması uygun olur.

Rüzgar enerji santrallarının gelişimi ve sanayi yatırımlarını teşvik için enerji alımında dünya örnekleri olduğu gibi, tüketiciye uygulanan fiyatın altında kalmak üzere yüksek paçalı fiyat uygulanmalıdır. Ancak, bu fiyatın üretici şirketler bazında farklı düzeylerde tutulmaması gerekir. Yıllara göre planlanacak üretim kapasitesi paketleri belirlenmeli, belli pakete proje ayrımı yapılmaksızın eşdeğer fiyat uygulanmalıdır.

Bugünkü uygulama ile rüzgar santralları 3096 Sayılı Kanun'a bağlı biçimde kurulmaktadır. Bu projelerin finansmanı için uluslararası finans kuruluşları ve bankalardan belli koşullarla kredi sağlanabilmektedir. Ancak, güçlerine bağlı olarak gereken yatırım kredisi Türk bankalarından da sağlanabilir. 3226 Sayılı Finansal Kiralama (Leasing) Kanunu'ndan yararlanmak olanaklı gibi görülmeyle birlikte, 3096 ve 3226 Sayılı Kanunlar koordinesiz çıkarıldığı için, yasalarda açık hüküm bulunmamasına rağmen yorumlanmaları sonucu uygulamada bürokratik zorluklar çıkarılmaktadır. Bu konunun yeni bir düzenleme ile çözümlenmesi, rüzgar santralı kurulması ile ilgili bürokratik işlemlerin azaltılması, başvuruların değerlendirilmesi süresinin kısaltılması gerekir.

Sıralanan tüm sorunların çözümü rüzgar enerjisi için özel bir yasal düzenleme ile sağlanabilir. Bu amaçla Rüzgar Enerji Santralları Sanayi İş Adamları Derneği (RESSİAD) tarafından hazırlanarak, Cumhurbaşkanına sunulan, Cumhurbaşkanlığı tarafından da Başbakanlık, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Orman Bakanlığına gönderilmiş bulunan Rüzgar Enerjisi Santralları Kanun Tasarısı en kısa zamanda yasalaştırılmalıdır.

Türkiye'de uzun dönemde yerli türbin üretimi üzerinde de durulmalı, bu amaçla yerli sanayinin Avrupa'daki türbin üreticileri ile işbirliği olanakları araştırılmalıdır. Rüzgar enerjisi Türkiye'de yeni iş alanları açabilecek, binlerce yeni istihdam yaratabilecektir. Danimarka'da rüzgar sanayinde 12 000 kişi çalışmaktadır.

8.4. Biomas Enerji

Biyomas (ya da biyokütle) enerji; yetiştiriciliğe dayalı olduğu için yenilenebilir, çevre dostu, yerli ve yerel bir kaynak olarak önem kazanmaktadır. Biyomas enerji kullanımını klasik ve modern olmak üzere iki grupta ele alınır. Klasik biyomas enerji konvansiyonel ormanlardan elde olunan yakacak odun, yine yakacak olarak kullanılan bitki ve hayvan artıklarından (özellikle tezek'den) oluşmaktadır. Klasik biyomas enerji kullanımının temel karakteri ilkelden gelişmişine dek çeşitli yakma araçları ile biyomas materyalden enerjinin direkt yanma tekniği ile elde olunmasıdır. Sanayileşmemiş kırsal toplumlarda kullanımı yaygındır.

Modern biyomas kaynakları enerji ormancılığı ürünleri ile orman ve ağaç endüstrisi atıkları, enerji tarımı ürünleri, tarım kesiminin bitkisel artıkları ve hayvansal atıkları, kentsel atıklar, tarımsal endüstri atıkları biçiminde sıralanır. Söz konusu biyomas materyaller alçak ve yüksek biyomas yakıt teknikleri ile işlenerek katı, sıvı ve gaz yakıtlara çevrilir. Biyomas yakıtlar odun biriketi ve alkolden sentetik ham petrole kadar uzanmaktadır.

Biyomas yakıt üretmek için piroliz, hidrogazifikasyon, hidrojenasyon, parçalayıcı distilasyon asit hidroliz tekniklerinden yararlanılmaktadır. Biyomas yakıtlar ısı ve elektrik üretimi için kullanılabilir. Biyomas yakıtların fosil yakıtlarla karıştırılmış biçimde kullanılmaları da olanaklıdır. Modern biyomas yakıtların birim maliyetlerinin ve/veya fiyatlarının fosil yakıt fiyatlarının altında olması gerekir.

Birincil enerji kaynakları açısından Türkiye'nin enerji bütçesine bakıldığında, son on yıldır hemen hemen sabitleşmiş verilerle yılda 18 milyon ton odunun üretilip tüketildiği görülmektedir. Kesin istatistik veriler olmamakla birlikte hayvan ve bitki artığının (açık deyişle tezeğin) üretim ve tüketimi son on yıldır 11 milyon tondan 6.6 milyon tona düşürülmüş bulunmaktadır. Söz konusu tüketim için ormanlar üretim kapasitesinin iki katı zorlanarak, önemli bir tarımsal girdi olan hayvan gübresi de yakılarak yok edilmektedir. Geçmişten bu yana süren bu klasik ve ilkel biyomas kullanımı, dünya ortalaması altında enerji tüketen Türkiye'nin enerji sektörünün yeterince gelişmediğinin ve yetersizliğinin bir başka kanıtıdır. 1997 yılı verilerine göre yerli enerji üretiminin % 25.5'i odun ve tezekten sağlanmış, toplam birincil enerji tüketiminin ise % 9.8'i odun ve tezekle karşılanmıştır.

1991-1996 yıllarında uluslararası kuruluşlar ve büyük şirketlerin yaptırdıkları araştırmalara göre, 2025 yılında dünya genelinde biyomasdan sağlanacak enerji, Dünya Enerji Konseyi'nin Survey of Energy Resources 1998 Raporu'nda 1 339. 3 Mtep ile 3 291.5 Mtep arasında bildirilmiştir. En düşük öngörüm Dünya Enerji Konseyi'ne aittir. Dünya Enerji Konseyi raporlarında 2020 yılında yeni ve yenilenebilir kaynaklarla enerji talebinin minimum % 3-4'ünün, maksimum % 8-12'sinin karşılanabileceği belirtilmektedir. Ortaya konulan senaryoya göre modern biyomas ile sağlanacak enerji jeotermal enerjinin 6.4 katı, rüzgar enerjisinin 2.6-3 katı, güneş enerjisinin 1.6-2.2 katı olabilecektir. Görüleceği gibi en büyük pay modern biyomasa ayrılmıştır.

Günümüzde Avrupa Birliği kapsamında enerji tüketiminin % 2-3'ü biyomasdan karşılanmakta olup, bazı AB ülkelerinde biyomasın payı % 10-16 düzeyinde bulunmaktadır. Ancak, ilkel tezek kullanımı hiç yoktur. 2020 yılında modern biyomas enerji üretiminin ABD'de 235-410 Mtep, Almanya'da 11-21 Mtep, Japonya'da 9-12 Mtep olması planlanmıştır. Oysa, Enerji ve Tabii kaynaklar Bakanlığı'nın Türkiye için 2020 yılına kadar uzanan planlama ve projeksiyonlarında modern biyomasa hiç yer verilmemektedir.

8.4.1. Biyomas Yetiştiricilik

Biyomas yetiştiricilik enerji ormanlarına ve enerji bitkilerine bağlı olarak

yapılmaktadır. Bu yetiştiriciliğin amacı, modern biomas yakıt hammaddesini elde etmektir. Ormancılık ve tarıma dayalı bu yetiştiriciliğin temelinde enerji çevrimi olarak fotosentez yatmakta, hızlı fotosentezle çabuk büyüyen bitkiler üzerinde durulmaktadır.

Klasik doğal ormanlardaki ağaç türlerine dayalı verimli baltalıklardan yılda ençok 7 t/ha odun üretmek olanaklı olup, buna göre odun plantasyonunun gücü 2.8 kW/ha kadardır. Ancak, kullanım verimine bağılı olarak özgül güç değeri düştüğünden, buhar üreten odun boylerli tesislerde 1 kW kurulu güç için gereken plantasyon alanı 1.43 ha düzeyine yükselmektedir. Enerji ormanlarında ise doğal orman veriminden yüksek verim aranmaktadır. Enerji ormanlarının verimi 15-35 t/ha arasında olup, yetiştiricilik dönemi 4-8 yıl kadardır.

Enerji ormanları için uygun ağaç türleri, özellikle onların öze yakın yıllık halkalarını içeren hızla büyüyen genç odunları dikkate alınarak seçilir. Bu seçimde, yerli türlere öncelik vermek koşulu ile bölgeye en iyi uyabilecek türlerin seçiminde iyi sürgün verme özelliğine, ayrıca mantar ve böcek zararlılarına karşı dayanıklı olmalarına dikkat olunur. Yapraklı ağaçlar ibrelilerden daha iyi görülmektedir. Çünkü, yapraklıların genç odun büyümeleri daha hızlıdır. Bugün dünyada enerji ormancılığında, karakavak, balzam kavakları, titrek kavaklar, söğüt, okaliptus gibi ağaçlar kullanılmaktadır.

Odun yongalanmış biçimde veya brikete dönüştürülerek modern biomas yakıt olarak değerlendirilmekte, kömür termik santrallerinde yongası kömüre karıştırılarak kullanılmaktadır. Ayrıca, odundan modern biomas yakıtlar olarak metil alkol, etil alkol, jeneratör gazı ve piroliz katranı elde olunabilmektedir.

Enerji tarımı ise tek yıllık veya çok yıllık C4 bitkileri ile yapılmaktadır. C4 tipi bitkiler grubuna tatlı darı (sweet sorghum), miscanthus, şeker kamışı ve mısır gibi çok çeşitli bitkiler girmekte olup, ürünlerinden etanol, sentetik petrol, gaz yakıt ve katı yakıt elde olunmakta, ısı ve elektrik üretiminde kullanılabilirler. Buğday, arpa, çavdar, şeker pancarı gibi C3 bitkilerinde yıllık üretim 10-30 t/ha.yıl ve birim yaprak yüzeyi başına günlük kuru madde üretimi 50-200 gr/m²yaprak.gün iken, C4 bitkilerinin verimi 60-80 t/ha.yıl ve kuru madde üretimleri 400-500 gr/m²yaprak.gün düzeyindedir. Ayrıca, yine bir yıllık endüstri bitkilerinden yağ üretiminde kullanılan bitkiler de enerji tarımı türleri arasındadır. Enerji bitkileri yetiştirme sürecinde ikinci ürün olmalıdır. C4 tipi bitkiler diğer bitkilere göre CO₂ ve suyu daha iyi kullanmakta, kuraklığa dayanıklı olmakta, fotosentetik verimleri de yüksek bulunmaktadır. Alkol üretiminde en yüksek verim 3 500 lt/ha.yıl ile şeker kamışından sağlanmakta, bunu 3 200 lt/ha.yıl ile odun, 3 000 lt/ha.yıl ile sorghum izlemektedir. Mısırdaki bu değer 2 000 lt/ha.yıl düzeyindedir.

8.4.2. Biomas Artık ve Atıklarının Değerlendirilmesi

Biomas artıklar bitkilerden sağlanırken, tarım kesiminde biomas atıklar daha çok hayvansal yetiştiricilikten elde olunmaktadır. Belediye çöpleri de biomas atıklar kapsamına girmektedir. Biomas atıkların değerlendirilmesi için biogaz tesisleri ile çöp termik santralleri gerekmektedir. Biogaz tesislerinin daha çok kırsal kesim için uygun olmasına karşın, çöp termik santralleri şebeke ile bağlantılı elektrik üretim üniteleridir. Bu arada Kuzey Avrupa ülkelerinde biomas materyalle ve bu arada biogazla çalışan otoproduktör kojenerasyon ünitelerinin kurulduğu görülmektedir. Biogaz Danimarka'da kent ısıtılmasında bile kullanılmaktadır.

8.4.2.1. Biogaz

Biomas materyalin yakma dışında en basit değerlendirmesi anaerobik fermantasyonla biogaz üretimidir. Biogaz, insan faaliyetleri sonucu üretilen organik içerikli çöpler, tarım faaliyetleri sonucu açığa çıkan hayvan dışkıları, pamuk, mısır, buğday gibi bitkilerin sap ve saman artıkları, şeker ve gıda faaliyetleri sonucu üretilen

melas, meyve posaları gibi biomas materyalin anaerobik koşullarda, optimal olarak 35 °C mezofilik ve 60 °C termofilik sıcaklıkta, 6.7-7.6 pH ortamında enzimatik hidroliz, bakterilerle organik aside dönüşme ve metan jenerasyonu işlevlerinden oluşan fermantasyon sonucunda elde olunmaktadır. 1 kg kuru organik maddeden elde olunabilecek biogaz miktarı 0.15-0.20 m³ kadardır.

Biogazı oluşturan bileşenler metan, karbondioksit, su buharı, hidrojen sülfür, amonyak, azot ve hidrojenidir. Bileşiminde kabaca % 55-70 CH₄ ve % 35-45 CO₂ ve az miktarda diğerleri bulunur. Biogazın ısı değeri karışımdaki CH₄ yüzdesine bağlı olarak 19 -27.5 MJ/m³ arasındadır. Biogaz üretimi sonucu kalan katı ve sıvı organik artık ise bitki besin değeri yüksek gübredir.

8.4.2.2. Çöp termik santralleri

Çöp yakıtlar kent atıklarından sağlanmaktadır. Çöp termik santralleri enerji üretiminin yanısıra, çöp yok etme işlevi de görerek önem kazanmaktadır. Bu santrallerden yalnızca elektrik üretilebileceği gibi, ısı ve elektriğin birlikte üretildiği kombine çevrimli olanları vardır.

Çöp yakıtların ısı değerleri değişik olmaktadır. Isıl değer konutsal atıklarda 6.2-8.4 MJ/kg, büyük yığın atıklarda 8-16.7 MJ/kg, ticarethane, sanayi ve belediye atıklarında 7.5-12.5 MJ/kg, kağıtsal atıklarda 14.2-15 MJ/kg, mutfak atıklarında 5.8-6.7 MJ/kg, plastik atıklarda 18-27.2 MJ/kg, tekstil atıklarında 17.1-20.5 MJ/kg, kanalizasyon atıklarında (kuru organik fraksiyon olarak) 14.6-20.9 MJ/kg'dır. Bu değerlerin ortalaması bazı linyit santrallerinde kullanılan kömürün ısı değerinden yüksektir.

Bir çöp termik santralına gelen katı atıklar özel ızgaralı (bazen akışkan yataklı) ocakta yakılırken, sıvı atıklar aynı ocağa püskürtülmektedir. Baca gazları filtrasyondan geçirildiği için çevrede herhangi bir hava kirliliğine neden olmamaktadır. Çöp yanmadan önce çeşitli selektörlerden geçirilerek içerisindeki metalik malzeme ve cam gibi parçalar ayrılmaktadır. Dolayısıyla santraldan enerjinin yanısıra, hurda metal ve inşaat materyalleri alınmakta olup, kül de inşaat materyali olarak değerlendirilmektedir.

8.4.3. Biomas Enerji ile İlgili Sorunlar

ESM ve EOM modellerinin çıktıklarına göre, Türkiye koşullarında yapılabilecek klasik ve modern biomas enerji üretiminin yıllara göre gelişimi, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın öngördüğü odun, hayvan ve bitki artıkları kullanımı ile karşılaştırmalı biçimde Tablo 8.6'da gösterilmiştir.

TABLO

Türkiye'de yapılması önerilen biomas enerji üretimi.

Yakacak odun açısından Türkiye baltalıkları Avrupa değerleri ile kıyaslanacak olursa, hem verim düzeyleri ve hem de yetiştirilen ağaçların ısı değerleri düşüktür. Ülkemizdeki baltalıkların verimi 0.85 t/ha ve birim gücü de 0.33 kW/ha gibi çok yetersiz düzeydedir. Bu nedenle, ülkemizdeki yakacak odun üretiminin verimli plantasyonlara dayalı biçimde enerji ormancılığı anlayışı ile yeniden düzenlenmesi zorunlu bulunmaktadır. **Türkiye'de enerji ormancılığı ve enerji tarımı hızla geliştirilmesi gereken konulardır.** Enerji ormancılığı için uygun alanın yaklaşık % 15 kadarı bu amaçla değerlendirilmiş durumdadır, ama % 85'i beklemektedir.

Ülkemizde odun ve ağaç artıklarından odun briketi üretimine gidilmelidir. Katı yakıt olarak kullanılacak biomasın sanayi tesislerinde ve termik santrallerde yüksek verimle yakılabilmesi için akışkan yataklı kazanlar geliştirilmesi üzerinde durulmalıdır.

Enerji tarımı ise ülkemizde hemen hiç el atılmamış bir konudur. Ülkemizde enerji bitkileri tarımına C4 tipi bitkilerle, tatlı sorghum ve Miscanthus ile başlanmalıdır. Tatlı

sorghum hem yakıt alkolü ve hem de katı biyoyakıt üretmeye uygun görünmektedir. Öte yandan, Miscanthus'un direkt olarak katı yakacak biçiminde kullanılması durumunda, birim enerji fiyatı, primer enerji girdi çıktı oranı ve çevresel CO₂ azaltımı yönünden en uygun kaynak olacağı, akademik araştırma ile saptanmıştır. Üst ısıl değeri de 16.5 MJ/kg olup, düşük kaliteli linyitlerden yüksek bulunmaktadır. Miscanthus'un brüt yakacak verimi birinci yıl için 19 GJ/da.yıl kadar olmasına karşın, ikinci yıl 35 GJ/da.yıl düzeyine çıkabilmektedir. Bu açıdan ikinci yetiştirme yılında Miscanthus yetiştiriciliği 850 kep/da'a ulaşabilmektedir.

Türkiye'de hububat bitkilerinin katı artık miktarı 39.2-52.3 milyon ton, mısır için 3.8-4.8 milyon ton, şeker pancarı için 1.3-1.5 milyon ton ve patates için de 522-617 bin ton kadardır. Bu artıklar çeşitli biçimlerde işlenerek biomas yakıt olarak kullanılabilir. Ayrıca, yağlı tohum bitkileri ve zeytincilik artıkları da önemli biomas hammaddelerdir. İkel biçimde kullanılmakta iseler de, biomas yakıt üretimine gidilmemektedir. Kuru bazda hesaplanan toplam biomas artık miktarı 54 800-70 400 milyon ton/yıl ve enerji üretimi için kullanılacak olan kısmı 37 3001-47 900 milyon ton/yıl sınırlarındadır. Biomas materyalin ortalama ısıl değeri 17.5 MJ/kg varsayılarak, bu miktardan sağlanacak yıllık enerji 14.8-19.0 Mtep/yıl bulunmaktadır.

Türkiye'de toplam 23.64 milyon ha alan tarımsal üretim amacı ile işlenmektedir. Bunun 18.64 milyon ha'lık bölümü ekilirken, kalanı nadasa bırakılmaktadır. Yine yapılan envanter çalışmalarına göre Türkiye'de 1997 yılı verileri ile 20.2 milyon ha orman alanı mevcut olup, bunun 5 milyon ha'lık kısmı enerji ormanına dönüştürülebilir.

Modern biomas yetiştiriciliğine geçiş için iki yöntem önerilebilir: Birinci yöntem, ekilebilir tarım alanlarının % 1-10'unun C4 bitkileri tarımına ayrılmasıdır. Bu koşulda, % 1 alandan sağlanacak enerji 1.8 Mtep/yıl, % 10 alandan sağlanacak enerji 17.8 Mtep/yıl olmaktadır. İkinci yöntem ise, 1 milyon ha'lık bozuk orman alanının enerji ormanı durumuna getirilmesi ile sağlanacak 10 Mtep/yıl enerjidir. Söz konusu bu üretimler, enerji dışında kırsal kesimde yoğun biçimde görülen açık ve gizli işsizliğe de bir çözüm sağlayacaktır.

Enerji planlaması kapsamında, modern biomasa verilecek yere koşut üretimin sağlanması için, tarımsal üretim planlaması ve orman planlamasına gerek vardır. Modern biomas üretimine başlanması amacı ile ilk etapta, kısa vadeli projelerle 0.5-1.2 milyar ABD \$'ı ve 10 yıla kadar uzanan uzun süreli çalışmalar için de 6-12 milyar ABD \$'ı yatırım finansmanına gerek olduğu hesaplanmaktadır.

Türkiye'de biogazla ilgili çalışmalar 1957 yılında başlatılmıştır. 1975 yılından sonra Topraksu ve 1980'li yıllarda Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü kapsamında yürütülen çalışmalar, uluslararası bazı anlaşmalarla da desteklenmiş olmasına karşın, 1987 yılında anlaşılamayan bir nedenle kesilmiştir. Türkiye'de biogaz potansiyelinin 1.4-2 Mtep/yıl düzeyinde olduğu belirtilmektedir. Ancak, bugün Türkiye'de biogaz konusu üzerinde çalışan hiçbir kamu kuruluşu bulunmamaktadır. Ülkemizde biogaz çalışmalarına yeniden önem verilmeli, bölgelerde kurulacak pilot tesisler yaygınlaştırılmalıdır. Bu arada, Ankara'da biogazla çalışacak 3.4 MW kurulu güçte, 25.2 GWh/yıl üretim kapasiteli BELKA otoproduktör santrali için sözleşme imzalanmış olup, santral henüz tamamlanmamıştır.

7. Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu çalışmasında İstanbul'da 125 MW, Ankara'da 40 MW, İzmir'de 30 MW'lık çöp santrallerinin kurulması istenmişti. Bugün için Türkiye'de çöp santrallerinin kurulması Yap-İşlet-Devret Modeli ile sürdürülmektedir.

Bu kapsamda, ENAŞ tarafından kurulacak olan 45 MW güçte ve net enerji üretimi 302 milyon kWh/yıl olacak Adana Çöp Santrali'nin sözleşmesi imzalanmıştır. TAIEV tarafından kurulmak istenen 10 MW güçlü ve 76.8 milyon kWh/yıl kapasiteli Mamak

Çöp Santrali'nin sözleşmesi Danıştay'dan geçmiş ve imza aşamasına gelmiştir. Ayrıca, Soyer İnşaat tarafından yapılan girişimle, başvuru aşamasında olan 18.75 MW güçlü Mersin Çöp Santrali ve 12.5 MW güçlü Tarsus çöp santrali vardır. Listede yer alan çöp santrallerinin toplam kurulu gücü 86.25 MW'dır.

Bunların dışında otoprodüktör olarak Bursa'da AKSA Enerji tarafından, kurulu gücü 1.4 MW ve üretim kapasitesi 12.2 GWh/yıl olacak çöp santrali için sözleşme imzalanmış, tesis henüz işletmeye geçmemiştir. İstanbul Deri Sanayicileri Derneği de, İstanbul Kazlıçeşme'de 106 MW'lık katı atık yakıtlı bir santrali Yap-İşlet-Devret modeli ile kurmak için ön başvuru yapmıştır. Çöp santrali kurulabilecek illere Antalya, Diyarbakır, Eskişehir, Konya, Sakarya eklenmeli ve santral kurulan illerdeki kurulu güçler artırılmalıdır.