

GÜNEŞ VE RÜZGAR ENERJİSİ KAYNAKLARINDAN YARARLANILMALIDIR

Doç.Dr. Muammer ERMİŞ

Sosyo ekonomik yaşamın sağlıklı bir biçimde sürdürülebilmesi ve yaşam düzeyinin yükseltilebilmesi, gerekli enerjinin sürekli ve güvenilir bir biçimde sağlanabilmesine bağlıdır. Günümüzde kişi başına enerji tüketimi, bir ülkenin gelişmişlik düzeyinin ve refahın belli başlı göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Ülke olarak gerek kişi başına toplam birincil enerji (ticari) tüketimi gerekse elektrik enerjisi tüketimi açısından parlak bir tablo çizemediğimiz bir gerçektir. 1987 yılında kişi başından enerji tüketimi Türkiye'de 782 KEP/kişi olarak gerçekleşmiştir (Dünya ortalaması: 1345 KEP/kişi). Nitekim kişi başına enerji tüketimi, aynı yıl içerisinde, Katar, ABD ve SSCB'de sırasıyla 15318, 6679 ve 4644 KEP/kişi olarak gerçekleşmiştir. Kişi başına elektrik enerjisi tüketimi açısından da benzer bir tablo ortaya çıkmaktadır. 1987 yılı Dünya ortalaması 2085 kWh/kişi olmasına karşılık Türkiye'de 848 kWh/kişi olarak gerçekleşmiştir (1990 yılının 1000 kWh/kişi olarak gerçekleşmesi beklenmektedir.) Aynı değerler Norveç, Kanada ve SSCB'de sırasıyla 24756, 11204 ve 5792 kWh/kişi olduğunu belirtmekte yarar vardır.

Yaygın olarak kullanılan enerji kaynakları insanlık tarihi boyunca önemli değişimler göstermiştir. Önceleri odunun kimsiyal enerjisi daha sonraları ise suyun potansiyel enerjisi, rüzgardaki kinetik enerji ve güneşin ışınma enerjisi insanlığın gereksinimlerine cevap vermiştir. Geçtiğimiz yüzyılda ise ana enerji kaynaklarının kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil kökenli yakıtlar olduğunu görmekteyiz. 1940'lı yılların ortalarından itibaren nükleer enerji potansiyel bir kaynak olarak hizmete sokulmuştur. 2. Dünya savaşı sonrasında gelen hızlı ekonomik büyüme süreci bir yandan bol ve ucuz petrolün 2000 yılına kadar kesintisiz sağlanabileceği diğer yandan da yeni-



nükleer enerji teknolojilerinin artan bir hızla fosil enerji teknolojilerinin yerini alacağı ve 2000 yılında ise dünya enerji gereksiniminin nükleer teknolojiye dayandırılabilceği varsayımına oturtulmuştur.

Bu beklentilerin gerçekleşmediği açıktır. Uluslararası siyasal ve ekonomik gelişmeler sonucu 1970 sonrası üç petrol krizi yaşanmıştır. Bu kriz dönemlerinde petrol fiyatları önemli artışlar göstermiş ve özellikle yeterli petrol kaynağı olmayan az gelişmiş ülkeler petrol temininde darboğazlara girmiştir. Son olarak, Körfez bunalımı nedeniyle, ham petrol piyasasında spekülasyon hareketleri gözlenmiş ve fiyatlar önemli ölçüde artmıştır. Gelişmiş ülkeler sahip oldukları ileri teknolojiler nedeniyle petrol girişi üretilmiş mal çıkışı zinciri içerisinde fiyat artışlarının olumsuz etkilerini gidermek (en azından minimize etmek) yeteneği ve hareket serbestisine her zaman sahiptir. Bu tür kriz dönemlerinde tüm fatura, Türkiye'nin de içinde bulunduğu, petrol kaynakları yetersiz gelişmekte olan ülkelere çıkarılmaktadır. Bu olumsuzluklar kendilerini, bütçede petrol ithalatına ayrılan bölümün çok artması ve belirsizlikler nedeniyle uzun dönemli kalkınma planlarının sağlıklı bir biçimde yapılamaması olarak göstermektedir.

Diğer yandan yeni nükleer enerji teknolojilerinde beklenen gelişmeler de gerçekleşmemiş ve gerçekleşmesi 2000 yılının ötesine kaymıştır. Son meydana gelen "Three Mile Island" ve "Çernobil" kazaları da nükleer santrallerde emniyet konusunda yoğun bir tartışma açılmasına ve mevcut santrallerin bu açıdan yeniden gözden geçirilmesine neden olmuştur.

Alışılmış fosil ve kısmen nükleer enerji kaynakları dışındaki alışılmamış kaynaklara dayanan ve potansiyel önem taşıyan yeni enerji dönüşüm teknolojilerinin ekonomik olarak devreye sokulabilmesi de 2000 yılı ve sonrasında beklemeyi gerektirmektedir. Hızla artan enerji gereksiniminin, alışılmış enerji kaynakları ve teknolojileri ile karşılanması zorunluluğu özellikle petrol öz kaynakları

O ODTÜ Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

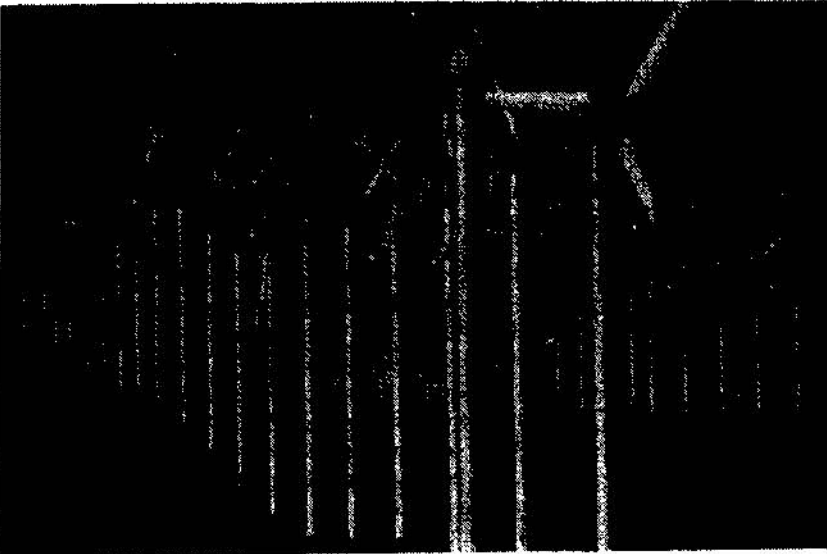
yetersiz olan gelişmekte olan ülkelerin kalkınma çabalarını önemli ölçüde etkilemektedir.

Birçok ülke, günümüz ekonomik problemlerin enerji alanlarındaki yapısal nedenlere de dayandığının bilincine varmış, enerjiye yönelik yapısal nedenleri, bünyelerine uygun ve ekonomik büyümeyi sağlayacak biçimde değiştirmek için, gerekli önlemleri son 15 yılda uygulamaya koymuştur. Bu önlemler: petrole olan bağımlılığın azaltılması, ulusal kaynaklardan olabildiğince yararlanma, yeni enerji kaynaklarının işletilmesine yönelik teknolojilerin hızla geliştirilmesi ve uygulanması ve enerji tutumluluğu önlemlerinin hayata geçirilmesi olarak özetlenebilir.

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Yenilenebilir birincil enerji kaynakları (Güneş, Hidrolik, Rüzgar, Dalga, Fotosentez, Biyogaz, Gelgit ve Jeotermal Enerji) çok büyük bir potansiyel göstermektedir. Bu kaynakların yararlı hale dönüştürülebilir potansiyellerine ilişkin kestirimler Çizelge 1'de verilmiştir. Bu veriler değerlendirilirken, 1980 yılı dünya enerji isteminin yaklaşık olarak 200 Quad^o olduğu dikkate alınmalıdır. Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarından büyük potansiyel gösteren güneş ve rüzgar enerjisinden yaygın bir biçimde yararlanılamamasının temel nedenleri ilgili teknolojilerin tam olarak geliştirilememesi, enerji sunumunun değişken ve kesintili olması ve enerji yoğunluğunun düşüklüğüdür.

Türkiye açısından hidrolik, jeotermal, güneş ve rüzgar teknik ve ekonomik potansiyel gösteren yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklardan halihazırda ülkede yararlanma düzeyi en düşük iki tanesi olan güneş ve rüzgar yazımızın konusunu oluşturacaktır. Bu kaynakların özellikle, yararlanılabilir potansiyeli, enerji sunumu ve yoğunluğu ve gerekli dönüşüm sistemleri kısaca incelenecektir. Güneş-ısı enerjisi dönüşüm sistemlerinin, fosil kökenli yakıtların yerme kullanılarak ülke ekonomisine çok büyük katkılarda bulunabileceği bir gerçektir. Bu nedenle bu tür sistemlerin ayrı bir yazı konusu olması gereği açıktır.



Çizelge 1 : Yararlı hale dönüştürülebilir dünya yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli

Kaynak	Potansiyel	
	Wattx10 ¹²	Quad/yıl
Güneş (toplam)	1.8x10 ⁵	50x10 ⁵
Rüzgar	130	3900
Hidrolik	2.9	86
Jeotermal	0-13	4
Gel-git	0.08	2

GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneşin siyah bir cisim (black body) gibi ışıma yaptığı düşünülürken, etkin sıcaklığının 5770 K ve uzaya birim zamanda yaydığı toplam enerjinin 3.85 x 10²⁶ W olduğu belirlenmektedir. Bu çok yüksek boyutlu enerjinin ancak çok küçük bir bölümü, güneşten, 1.496 x 10¹⁷ m ortalama uzaklıkta bulunan dünya üzerine düşmektedir. Dünya atmosferinin hemen dışında, güneş akısı yoğunluğu 1370 ± 6 W/m² olarak kabul edilmektedir. Eğer atmosfer olmasaydı ve güneş ışınları yeryüzüne dik olarak düşebilseydi, dünyaran birim yüzey alanında da bu değerde bir giriş gücü yoğunluğu elde edebilecektik. Halbuki, güneş ışınları yer yüzüne ulaşmadan önce atmosferde uzun bir yol katettiklerinden, saçılma, yansıma, moleküller ve toz tarafından emilme ve diğer nedenlerden dolayı atmosfere giren güneş ışınlarının ancak bir bölümü dünya yüzeyine ulaşabilmektedir. Nitekim dünya atmosferine ulaşan güneş akısı yoğunluğunun: açık gökyüzü koşullarında % 80'i, bulutlu gökyüzü koşullarında ise ancak % 45-0'ı yeryüzüne ulaşabilmektedir.

Güneş etrafında eliptik bir yörüngede dönen dünya, bu yörüngeye eğik konumda olan kendi eksenini etrafında da batı'dan doğu'ya doğru dönmektedir. Bu nedenlerle dünya üzerinde verilen bir konuma ulaşan güneş akısı yoğunluğu: bu konumun coğrafi pozisyonuna (hangi enlem ve boylam üzerinde bulunduğu), ölçmenin yada hesaplamaların yılın hangi ayı ve günü ve günün hangi-saatinde yapıldığına bağlı olacaktır. Bu veriler, güneşin söz konusu konumun birim yüzey alanı ile yaptığı açıyı, dolayısıyla güneş ışınlarının birim yüzey alanına ulaşmadan önce atmosferde ne kadar bir mesafe katdeceğini belirleyecektir. Güneş ışınları yeryüzüne dik olduklarında atmosferde en kısa mesafe katetmiş olurlar (90°, atmosferik kütle m-1, zenith) ve birim alana düşen güneş akısı yoğunluğu en büyük değere ulaşır. Güneş ışınları, incelenen ko-

$$(*) 1 \text{ Quad} = 10^{15} \text{ Blu} = 1.0548 \times 10^{18} \text{ Joule}$$

$$1 \text{ Quad/yıl} = 3.4 \times 10^{10} \text{ Watt}$$

numa yatık geldiklerinde ise, atmosferde daha uzun yol katedeceklerinden (dolayısıyla atmosferde daha fazla yansıtılıp emileceklerinden) dolayı yeryüzüne ulaşan güneş akısı yoğunluğu daha düşük bir değer alır. Güneşin açısı 90° ve atmosferik kütle $m \ll 1$ olduğunda deniz seviyesindeki ortalama direkt güneş akısı yoğunluğu 900 W/m^2 dolayındadır. Atmosferik kütle, dikey kütle iki, üç ve beş katı olduğunda (güneşin yeryüzü ile yaptığı açı 30°, 19° ve 11°) doğrudan güneş akısı yoğunluğu sırasıyla 750, 600 ve 400 W/m^2 olacaktır.

Yeryüzünde belirli bir düzlemdeki toplam güneş akısı "toplam ışımaya (global radiation)" olarak adlandırılır ve "doğrudan (direct)" ve "yayınık (difuse)" bileşenlerinden oluşur. Açık hava koşullarında yayınık ışımaya bileşeni, doğrudan bileşene göre çok küçüktür. Güneş enerjisi temiz, tükenmeyen sonsuz bir kaynak olmasına, karşın, sunumu değişken ve kesintili olup enerji yoğunluğu düşüktür. Dünya'ya ulaşan güneş enerjisinin bir bölümü rüzgar, hidrolik, dalga ve fotosentez enerjisine dönüşerek yeryüzündeki yaşamı harekete geçirmektedir.

Güneş Enerjisi Dönüşüm Sistemleri

Işıma enerjisinden Uç tür sistem yardımıyla yararlanmak mümkündür. Isı enerjisi elde etmek amacıyla, güneş toplayıcıları ve güneş yoğunlaştırıcı sistemler kullanılmaktadır. Elektrik enerjisine doğrudan dönüşüm ise, fotovoltaik hücreler yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Işıma enerjisinden gelecekte yaygın bir yararlanma konusunda potansiyel gösteren uygulamalar: binaların ısıtılması (ısıması enerjisi dönüşümünü,) sıcak su elde edilmesi (ısıması), büyük ölçekli elektrik enerjisi üretimi (ısıma-ısı mekanik-elektrik), küçük ölçekli elektrik enerjisi üretimi (fotovoltaik hücreler ile ısıma-elektrik enerjisi dönüşümü) olarak özetlenebilir.

Günümüzde dünya birincil enerji tüketiminin önemli bir bölümü konut ve binaların ısıtılmasında kullanılmaktadır. Kaynak, ağırlıklı olarak fosil kökenli yakıtlardır. Bu alanda güneş enerjisinin geliştirilen etkin ve edilgen sistemler yardımıyla yaygın bir kullanım kazanacağı söylenebilir. Nitekim 21. yüzyılın ilk yarısında binaların ısıtılmasında kullanılacak olan enerjinin % 30-40'lık bir bölümün güneş kaynağından karşılanabileceği genel kabul gören bir değerdir. 2000 yılından sonra ticari olarak uygulamaya gireceği umulan, bir diğer sistem, büyük ölçekli elektrik enerjisi üretimine yönelik güneş santralleridir. Bu tür sistemlerin çöl alanlarına kurulması düşünülmektedir. Güneş enerjisi ilkönce toplayıcılar, ya da yoğunlaştırıcılar (ayna veya mercekle sistemleri) yardımıyla ısı enerjisine dönüşürülecek; elektrik enerjisine dönüşüm ise buhar türbini tarafından sürülen (tahrik edilen) generatör tarafından gerçekleştirilecektir. Yüksek ilk yatırım maliyeti ve büyük miktarlardaki soğutma suyu gereksinimi, güneş santrallerinin yaygınlaşmasında belli başlı engelleri oluşturmaktadır.

Güneş enerjisi temiz, bedelsiz, tükenmez ve potansiyel bir kaynak olmasına karşın ilgili dönüşüm sistemleri enerji teknolojisi ve ekonomisi açısından aşağıda sıralanan olumsuz özelliklere sahiptir. Güneş enerjisi dönüşüm sistemleri, enerji yoğunluğunun düşük olması nede-



*“2000 yılından sonra uygulamaya gireceği umulan bir diğer sistem, büyük ölçekli elektrik enerjisi üretimine yönelik güneş santralleridir.”**

niyle, yeryüzünde geniş bir alan kaplayacaklardır. Işıma enerjisi sadece gündüzleri mevcut olduğundan, bu tür sistemlerin yük faktörleri göreceli olarak düşüktür. Mevcut ticari fotovoltaik teknolojilerinde dönüşüm verimliliği ancak % 10-15 dolayındadır. Bazı uygulamalarda enerji sunumu ve istemi ayrı zaman dilimlerinde (yaz - kış, gündüz-gece) olmaktadır.

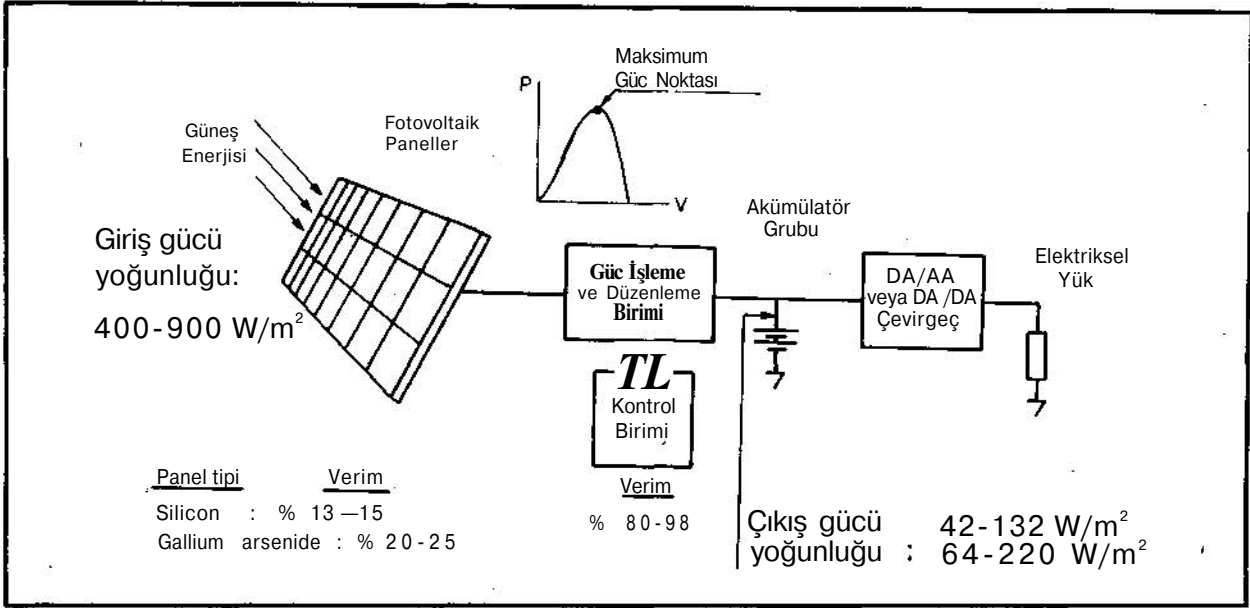
Fotovoltaik Sistemler

Silicon ve Gallium arsenide gibi yarı iletkenlerden oluşan fotovoltaik hücreler, güneş ışınlarına maruz bırakıldıklarında, D.A. gerilim üretirler. İstenilen gerilim seviyesini elde etmek için yeterli sayıda hücre seri olarak bağlanır ve paketlenir. Bu şekilde oluşturulan bir yapı fotovoltaik panel olarak adlandırılacaktır. Belirli bir yükü beslemek amacıyla tasarlanan bir fotovoltaik sistemde, yeterli sayıda fotovoltaik panel seri/paralel bağlanarak hem gerekli güç düzeyi hemde gerilim seviyesi elde edilecektir.

Fotovoltaik güç kaynakları: çeşitli yerleşim birimleri ve mevcut elektrik şebekelerinden uzak bölgelerde kurulu çiftlikler, mikrodalgatekrarlayıcı istasyonları, deniz fenerleri, yangın gözetleme kuleleri, deniz ve dağ evleri haberleşme sistemleri, katodik koruma sistemleri gibi kurulu gücü düşük tekil yüklerin elektrik enerjisi gereksinimini karşılamakta kullanılabilir. Bu tür yükler için alışlagelmiş enerji kaynaklarının kullanılması veya elektrik şebekesinin götürülmesi genellikle ekonomik bir seçenek oluşturmamakta hatta bazen mümkün olamamaktadır.

Fotovoltaik güç kaynaklarının tasarımında temel ilkelerden en önemlisi, yıl ve gün boyunca, sistemin kurulacağı konuma ulaşan güneş akısından en iyi bir biçimde yararlanmadır. Maksimum yararlanma, fotovoltaik panellerin üzerlerine güneş ışığı daima dik düşecek şekilde (güneşi izleyerek / sun tracking) hareket ettirilmesi ile sağlanır. Bu yöntem fotovoltaik güç kaynağının pahalı bir elektromekanik güneş izleme düzeneği ile donatılmasını gerektirmektedir. Küçük ve orta boy (birkaç kWp kurulu güç) fotovoltaik sistemler genellikle operatörsüz çalıştırılacak şekilde tasarlandılarından ve bu sistemlerin kurulacağı yerlerde genellikle teknik eleman bulunmadığından, fotovoltaik paneller yeryüzüne göre sabit açı yapacak şekilde monte edilirler.

Fotovoltaik panellerin üzerine düşen güneş enerjisinin en iyilenmesi amacıyla, paneller yüzleri güneşe (kuzey yarımkürede) bakacak şekilde monte edilir. Panel yüzünün yatayla yapacağı sabit açının belirlenmesinde ise iki yaklaşım söz konusudur:



Şekil 1: Tipik bir fotovoltaik sistemin kütle gösterimi ve giriş-çıkış güç yoğunlukları

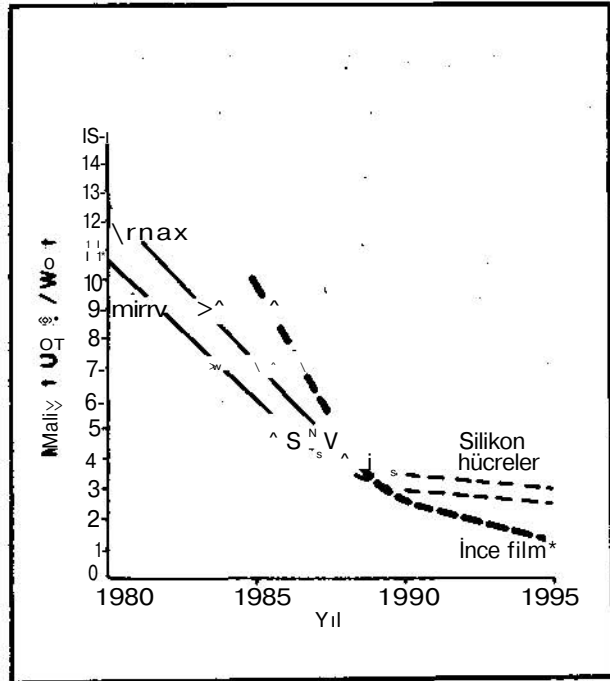
1. Yıllık elektrik enerjisi üretimini en iyilemek. Bu amaçla, sözü edilen açının konumun enlem derecesine eşit alınması yeterlidir.

2. En kötü aydaki enerji üretimini en iyilemek. En kötü ay enerji girişinin en düşük, istemin ise en yüksek olduğu aydır..Sözü edilen açı, konumun enlemine bağlı olarak hesaplanmalıdır. Örneğin, Ankara konumu için ve çevre aydınlatmasında en kötü dönem Aralık-Ocak ayları olup, enerji girdisini en iyilemek için paneller yatay ile 55° lik sabit açı yapacak şekilde monte edilmelidir.

iyi tasarlanmış bir fotovoltaik sistemde güneş enerjisi girdisinin en iyilenmesi yeterli olmayıp, bu gücün en yüksek verimlilikle elektriksel güce dönüştürülmesi de gerekmektedir. Bir fotovoltaik panelin verimliliği, dolayısıyla çıkış gücü (sabit panel yüzey sıcaklığı ve-güneş ışımaya şiddetinde), panel çıkış gerilimine bağlı olarak 0-max değerleri arasında radikal bir değişim göstermektedir. Bu nedenle, tasarımda temel kısıtlardan bir diğeri, panelin en verimli çalışma noktası olan maksimum güç noktasında çalışmasının sağlanmasıdır (Bkz. Şekil 1). Maksimum güç noktasının sağlandığı panel gerilimi, panel yüzey sıcaklığına ve ışımaya şiddetine bağlı olarak değişecektir. Değişen çalışma koşullarında, panel verimliliğini sürekli maksimize eden işletim biçimini maksimum güç noktasının izlenmesi olarak adlandırıyoruz.

Maksimum güç noktasının izlenmesi amacıyla, orta büyüklükteki sistemlerde, güç işleme birimleri ve sayısal veya örneksel kontrol birimi kullanılmaktadır. Küçük fotovoltaik sistemlerde ise uygun çalışma eğrileri olan panellerin kullanılması ve akümülatör grubu ile yükün bu eğrilere uyumlandırılarak seçilmesi maksimum güç noktasının civarlarında bir çalışma bölgesini ortaya çıkaracaktır. Fotovoltaik enerji kullanımı gündeme geldiğinde, hangi yoğunlukta bir enerjinin veya gücün söz konusu olduğu bilinmelidir. Bağımsız bir fotovoltaik güç kaynağının (şebekeye bağık olmayan) ana elemanları, bu elemanların

elektriksel verim değerleri ve sistemin giriş-çıkış güç yoğunlukları Şekil 1'de verilmiştir. Güneş ışınları panel yüzeyine dik olarak düştüğünde, $400-900 \text{ W/m}^2$ giriş gücü yoğunluğu söz konusudur. Teknolojik olarak gelişkin ve güvenilir panel tipleri olarak Silicon ve Gallium-arsenide paneller dikkate alınmıştır. Gallium-arsenide tipi paneller göreceli olarak yüksek verimliliğe (%20-25) sahip olmalarına karşılık silicon tipi panellerden dört kat pahalı oldukları için yeryüzü uygulamalarında nadiren kullanılırlar.

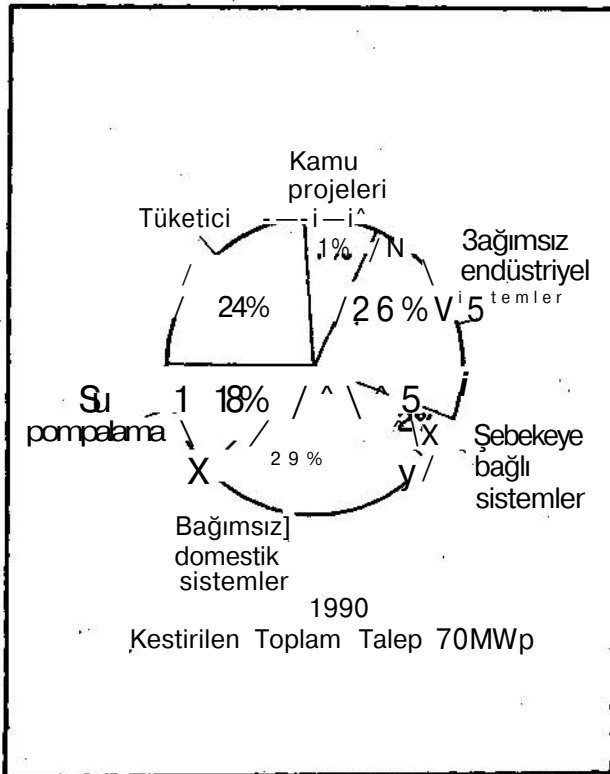


Şekil 2: Fotovoltaik panel maliyeti

Sistem elemanlarının verimlilikleri dik-kate alındığında fotovoltaik güç kaynağının çıkış gücü yoğunluğu en çok, silikon panellerde 132 W/m^2 , Gallium-arsenide panellerde ise 220 W/m^2 değerleri civarına ulaşacaktır. Alışlagelmiş güç kaynakları ile karşılaştırıldığında, bu değerler çok düşük güç yoğunluklarına karşılık gelmektedir.

Fotovoltaik sistemlerin olurluluğunu etkileyen bir diğer unsur ilk yatırım maliyetlidir. Bu tür sistemler 20-25 yıllık teknik ömürleri boyunca sifıra yakın bir işletme maliyeti ile çalıştırılabilirler. İlk yatırım maliyetini, en pahalı eleman olan panellerin fiyatları etkileyecektir. Silikon tipi paneller ve son yıllarda ilgi çeken ince film tipi panellerin Wp başına fiyat değişimleri Şekil 2'de verilmiştir. Panellerin anma gücü Wp (Watt peak) olarak verilir ve bu güç standart test koşullarında (1000 W/m^2 ışımaya, 25°C pañel yüzey sıcaklığı) elde edilir.

Büyük ölçekli yaygın bir kullanım için panel birim maliyetlerinin 1-2 US \$ düzeyine indirilmesi gerektiği çeşitli uzmanlarca öngörülmektedir. Dünya ölçeğinde fotovoltaik panellere olan talebin, 1990 yılı için, 70 MWp olacağı tahmin edilmektedir. Bu talebin uygulama bazında dağılımı Şekil 3'de verilmiştir. Tesis edilecek panellerin önemli bir bölümünün, elektrik şebekesi mevcut olmayan yerlerde, bağımsız güç kaynakları oluşturmak amacıyla kullanılacağı anlaşılmaktadır.



Şekil 3: Fotovoltaik Sistemlerin 1990 yılı tahmini uygulama alanları dağılımı



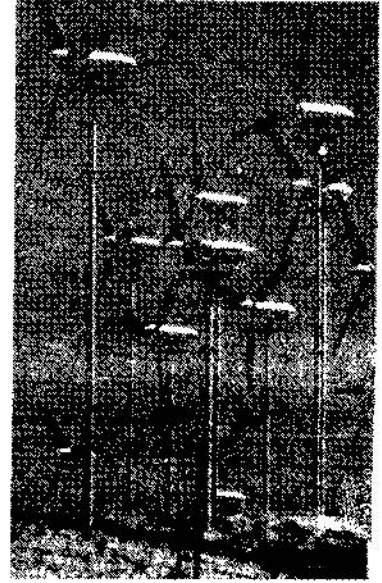
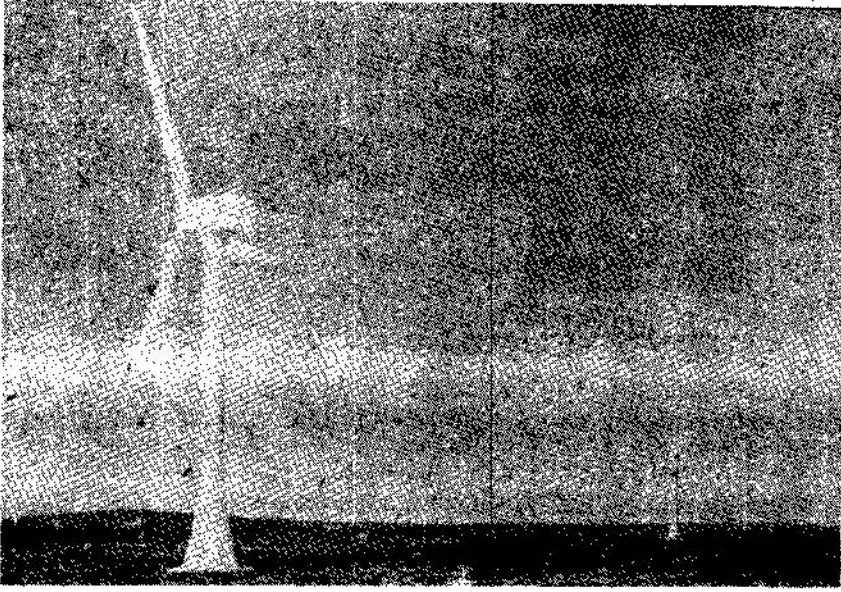
“Rüzgarların taşıdığı kinetik enerji ile rüzgardan elde edilebilecek enerji arasında bir ayırım yapılmalıdır.”

RÜZGAR ENERJİSİ

Atmosfere ulaşan toplam güneş akısı dünyanın yüzey alanına bölündüğünde elde edilen 350 Watt/m^2 yoğunlukta ortalama güneş akısı: dünya atmosferi, denizler ve karalarla etkileşerek rüzgarın oluşmasına neden olmaktadır. Rüzgar enerjisi sistemini, bir girdisi (rüzgara dönüşen güneş enerjisi), bir çıktısı (rüzgarın atmosfer ve yeryüzünde turbulans ve sürtünme ile kaybettiği kinetik enerji), ve depolama özelliği (sürekli hareket halinde olan atmosferin taşıdığı kinetik enerji) olan bir sisteme benzetmek mümkündür. Rüzgarların sürekliliğinin, diğer bir deyişle mevcut dengenin devamının sağlanabilmesi için girdi çıktıya eşit olmalıdır. Bu deñge durumunda, dünya atmosferine ulaşan güneş akısının ancak % 2'sinin rüzgara dönüştüğü kabul edilmektedir.

Rüzgardan mekanik enerji üretimi, hava kitlelerinin taşıdığı kinetik enerjinin doğal engeller (toprak yüzeyi, bitki örtüsü vb.) yerine uygun bir biçimde tasarlanmış yapay engellerle (rüzgar türbinleri) emilmesi esasına göre gerçekleştirilir. Rüzgar türbinleri (0-150 m çapında) yeryüzü sınır tabakasındaki hava akımları ile çalışmaktadır. Rüzgarın kinetik enerji kayıplarının % 35'i atmosferin yer yüzeyinden itibaren 1 km'lik bölümünde gerçekleşmektedir. Şekil 4'de gösterildiği gibi, bu değerlendirme bir yıllık süre için yapıldığında, dünyaya ulaşan güneş enerjisinin 5.7×10^{24} Joule ve sınır tabakasında rüzgara dönüşen bölümün 4×10^{22} Joule değerinde olduğu görülmektedir.

Rüzgarların taşıdığı kinetik enerji ile rüzgardan elde edilebilecek enerji arasında bir ayırım yapılmalıdır. Rüzgarlardaki toplam kinetik enerjinin 3×10^{20} Joule değerinde olduğu kestirilmektedir. Bu değer, güneş akısının rüzgara dönüşen bölümünün yaklaşık olarak bir günlük kısmının atmosferde kinetik enerji olarak depolandığını göstermektedir. Dünya rüzgar sistemine verilen enerji girdisinin ne kadarlık bir bölümünün yararlı biçime dönüştürülebileceği kestirilirken, bu çevrimin dünya ikliminde değişikliklere neden olmaması ve doğal süreçleri etkilememesi gerektiği esas alınmaktadır. Rüzgar enerjisinin dünyadaki dağılımının güneş enerjisi dağılımından çok farklı olması nedeniyle, eldeki mevcut bilgilerle, söz konusu üst sınırı tam olarak belirlemek mümkün olamamaktadır. Bu belirsizliklere rağmen, üst sınır olarak, sınır tabakasında yitirilen kinetik enerjisinin % 10'unun yararlı biçime dönüştürülebileceği varsayılabilir. Kabul edilen % 10'luk üst sınır değeri daha önce belirtilen büyüklüklere (Şekil 4) uygulandığında yararlanılabilir rüzgar gücünün 2.5 Watt/m^2 ve dünya rüzgar enerjisi kaynağının 1.3×10^{11} Watt değerinde olduğu anlaşılmaktadır. Bu kaynağın boyutu



Çizelge 1 incelendiğinde daha iyi değerlendirilebilmektedir. Rüzgar Enerjisinin Özellikleri

Ortalama rüzgar gücü yoğunluğu düşük olduğundan, bu kaynaktan, dünyanın tüm bölgelerinde ekonomik olarak yararlanmak mümkün değildir. Bazı bölge ve konumlar da ise rüzgar gücü yoğunlaşmaktadır. Rüzgar kaynağının yaygın işletimi gücün yoğunlaştığı bu bölge ve konumlarda gerçekleştirilecektir. Çizelge 2 de genel kabul gören rüzgar gücü sınıfları ve bunlara karşılık olan rüzgar gücü yoğunluğu değerleri verilmiştir. Bu çizelgede rüzgar gücü yoğunluğu birim türbin süpürme alanı başına Watt olarak verilmiştir. 4-7. sınıflara düşen bölgelerde rüzgar enerjisinden ekonomik olarak yararlanmak mümkündür.

Kurulu güçten ne kadar etkin bir şekilde yararlandığının bir göstergesi olan yük faktörü, rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri için, diğer alışlagelmiş enerji santrallerine ilişkin değerlerle karşılaştırılabilir boyutlardadır. Konumun rüzgar rejimine ve sistemin transfer karakteristiğine (rüzgar hızına karşı çıkış gücü eğrisi) bağlı olarak bu değer % 20-60 arasında değişmektedir.

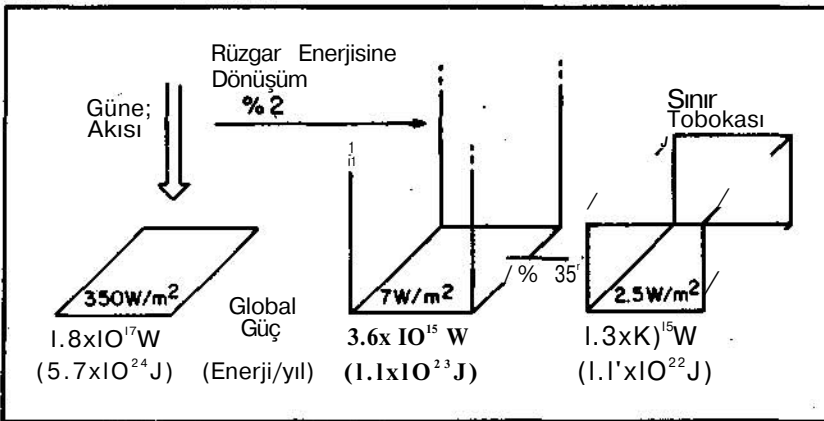
Rüzgar temiz, yenilenebilir, bedelsiz ve potansiyel bir kaynaktır. Rüzgar enerjisinin bu olumlu özelliklerinin yanında, enerji ekonomisi ve teknolojisi açısından aşağıda sıralanan olumsuz yönlerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Rüzgar kaynağı değişkendir. Bu nedenle bir elektrik sisteminin tüm girdisi rüzgar kaynağına dayandırılmaz. Büyük elektrik şebekeleri için % 20 değeri makul bir üst sınırdır. Rüzgar kaynağı kesintilidir. Bu nedenle durgunluk sürelerinde (rüzgarın hiç esmediği veya hızının enerji üretimi için yetersiz olduğu dönemler) gerekli enerjinin bir depolama sistemi (akümülatör, su pompalama, sıkıştırılmış hava, uçanteker vb.) veya başka bir kaynaktan (elektrik şebekesi, dizel motor-generator grupları vb.) sağlanması gerekmektedir.

Rüzgar Enerjisi Dönüşüm Sistemleri

Günümüzde rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri aşağıda sıralanan uygulama alanlarında önemli bir potansiyel sergilemektedir.

Elektrik Enerjisi Üretimi

Elektrik şebekesine bağlanacak orta ve yüksek güçteki rüzgar sistemleri önemli boyutlarda petrol ve kömür tutumluluğuna neden olabilirler. Bu alanda 10 M Watt gücüne kadar ticari rüzgar sistemleri tekil olarak veya rüzgar çiftlikleri şeklinde (onlarca rüzgar enerjisi dönüşüm sisteminin potansiyel bir konuma konuşturulması) kullanılmaktadır. Bu tür büyük ölçekli elektrik enerjisi üretimine yönelik uygulamalar günümüzde ancak 6m/sn ve daha yüksek ortalama rüzgar hızları için ekonomik olmakta ve önümüzdeki dönemlerde birim enerji maliyetinde önemli düşüşlerin ancak ileri tasarım ve malzeme ile kütle üretimine geçilmesi ile sağlanabileceği öngörülmektedir.



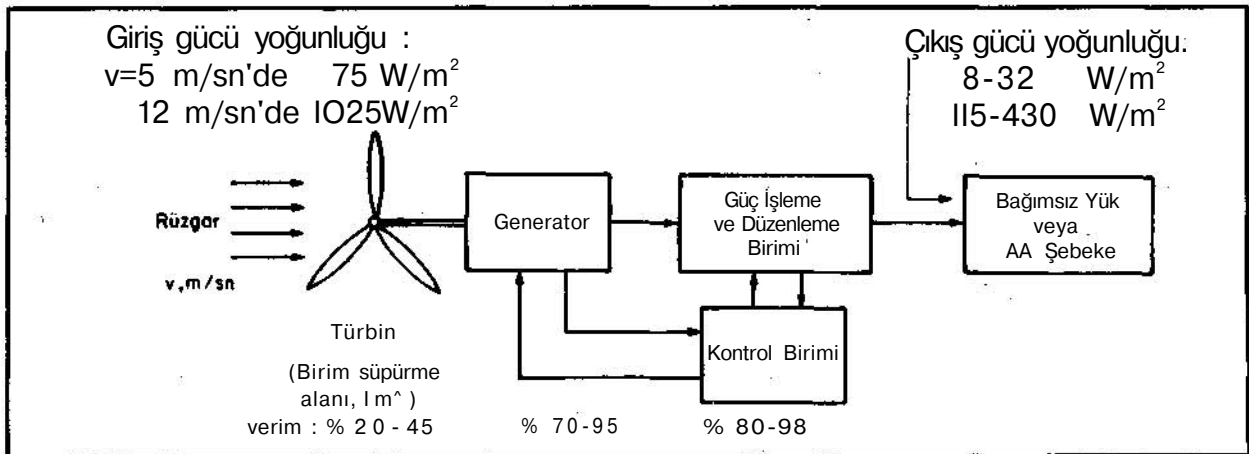
Şekil 4 : Güneş Akısının rüzgar enerjisine dönüşümü

Rüzgar gücüsınıfı	10m(33ft) Rüzgargücü yoğunluğu (Watt/m ²)	Rüzgar verileri Ortalama rüzgar hızı (m/s)
1	0	0
2	100	4.4
3	150	5.1
4	200	5.6
5	250	6.0
6	300	6.4
7	400	7.0
	1000	9.4

Ç'uolge 2: Rüzgar gücü sınıfı ve yoğunluğu

Bir diğer uygulama alanı ise, elektrik şebekesinin mevcut olmadığı uzak yerleşim merkezlerinin, adaların, kırsal alanlar, ormanlık ve dağlık bölgelerdeki birimlerin (radyo ve TV ara istasyonları, haberleşme istasyonları, yangın gözetleme kuleleri, petrol boru hatlarının katodik koruması, çiftlikler, deniz fenerleri, deniz ve dağ evleri vb.) elektrik enerjisi gereksinimini karşılamada ekonomik olarak kullanılabilirler. Bu tür uygulamalar için dizel motor-generatör gruplarının veya fotovoltaik sistemlerin desteği ya da enerji depolama sistemlerinin rüzgar kaynağı ile beraber kullanılması gerekmektedir.

Elektrik enerjisi üretimi amacıyla tasarlanmış bir rüzgar enerjisi dönüşüm sisteminin ana elemanları, bu elemanlara ilişkin verimlilik değerleri ve sistemin giriş ve çıkış güç yoğunlukları (türbinin birim süpürme alanı bazında) Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5: Tipik bir rüzgar elektrik enerjisi dönüşüm sisteminin kütle gösterimi ve giriş-çıkış yoğunlukları

Rüzgar gücü yüksek bir verimlilikle (% 20-45) mekanik güce dönüştürülmektedir. Mekanik gücün elektrik gücüne dönüşüm verimliliği de dikkate alındığında, iyi tasarlanmış, modern bir rüzgar enerjisi dönüşüm sisteminin toplam verim değeri % 40'ı aşabilmektedir. (Fotovoltaik sistemlerin toplam dönüşüm veriminin iki katı).

Rüzgar enerjisi, güneş enerjisine göre daha yoğun bir enerji kaynağıdır. 5 m/sn ve 12 m/sn rüzgar hızları tipik "cut-in" ve "anma" rüzgar hızı değerleri olarak alındığında, birim türbin süpürme alanı başına 30-430 Watt çıkış gücü yoğunluğu elde edilebilecektir. Aynı güç seviyesinde, bir rüzgar enerjisi dönüşüm sistemi, düşeye monte edileceği dikkate alındığında, fotovoltaik sisteme göre çok düşük bir toprak alanı işgal edecektir.

Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri dinamik sistemler olduklarından, tamamen durağan olan fotovoltaik sistemlere göre, daha karmaşık ve zor sistemler olarak değerlendirilebilir.

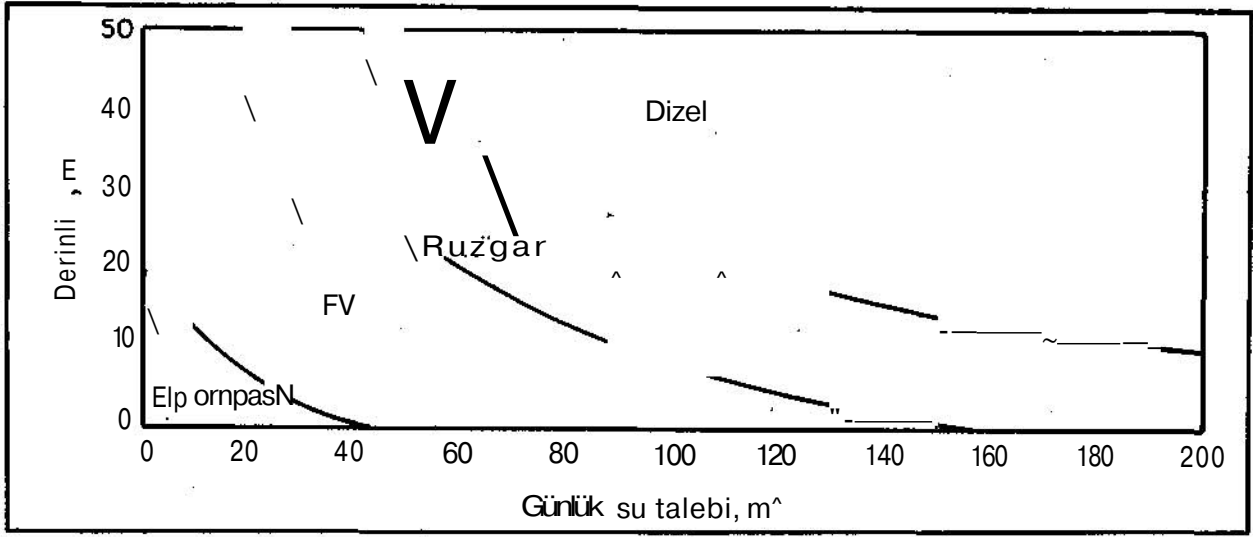
Su Pompalama Sistemleri

Rüzgar enerjisi çeşitli su pompalama sistemlerinde (hayvancılık, ziraat, içme suyu temini) ya doğrudan ya da elektrik enerjisine dönüştürülerek yaygın bir biçimde ve ekonomik olarak kullanılabilir. Elektrik enerjisine dönüşüm rüzgar türbininin, genellikle topoğrafik olarak çukurda olan su kaynağından uzak ancak, rüzgarın yoğunlaştığı bir konuma tesis edilebilmesine olanak sağlar. Bu yaklaşım özellikle orta ve büyük ölçekli su pompalama sistemlerinin ekonomikliğini arttıracaktır.

Küçük ölçekli su pompalama sistemlerinde rüzgar enerjisi uygulamaları, bölgenin yıllık ortalama rüzgar hızı 3-3.5 m/sn gibi düşük bir değerde olsa dahi ekonomik olabilir. Rüzgar ve fotovoltaik kaynağa dayalı su pompalama sistemlerinin maliyet açısından yarışabilir kullanım aralıkları Şekil 6'da günlük su ihtiyacına ve su kaynağının yeryüzünden derinliğine bağlı olarak verilmiştir.

Diğer Uygulamalar

Isıtma, soğutma, suyun artırılması, drenaj ve ulaşım rüzgar enerjisinin diğer uygulama alanları olarak düşünülebilir.



Şekil 6: Rüzgar ve Fotovoltaik kaynağa dayalı su pompalama sistemlerinin maliyet açısından yarışabilir kullanım aralıkları

(') Varsayımlar:

1. Güneş akısı: 4-6 kWh/m² gün
2. Rüzgar hızı: 5 m/sn
3. Yerine teslim mazot fiyatı: 0.5-1.0 U.S. \$/1t
4. Sistemlerin anahtar teslimi fiyattan dikkate alınmıştır.
5. Operatör ücretleri analize dahil edilmemiştir.

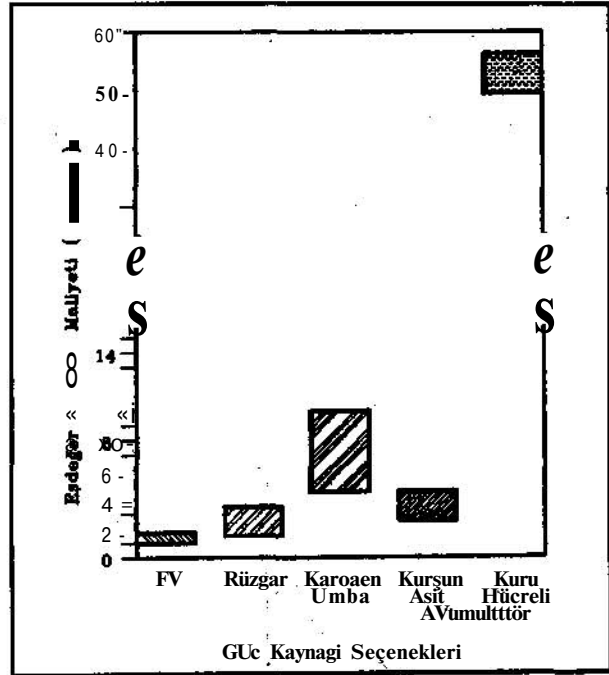
RÜZGAR VE FOTOVOLTAİK ENERJİNİN EKONOMİK UYGULAMA ALANLARI

Rüzgar ve fotovoltaik güç kaynaklarının günümüzde dünyada ve ülkede ekonomik olduğu kesinleşmiş uygulama alanları, elektrik şebekesinin mevcut olmadığı bölge ve kırsal kesimlerde: haberleşme, aydınlatma, sulama, iletişim, sağlık, eğitim ve koruma sistemlerinin elektrik enerjisi ihtiyacının bu kaynaklardan karşılanmasıdır. Bu tür uygulamalarda rüzgar ve fotovoltaik kaynaklar ayrı ayrı kullanılabilirler gibi bileşik bir sistem içerisinde beraber de kullanılabilirler.

Bu tür bölge ve konumların elektrik enerjisine kavuşturulması, ile hem yaşam düzeyi yükselecek hem de üretkenlik ve verim artacaktır. Elektrik enerjisinin temini amacıyla kullanılabilir seçenek kaynaklar: FV, rüzgar, mikrohidro, dizel motor-generatör ve ülkede mevcut elektrik şebekesinin o noktaya uzatılmasıdır.

AID (Agency for International Development) tarafından 1988 yılında yayınlanan bir raporda tarım ve sağlık alanlarında kullanılabilir alternatif enerji kaynaklarının ekonomisine ilişkin değerler verilmiştir. İlk örnekte, uzak kırsal bölgelerde, aydınlatma ve diğer düşük güçlü yükler için gereken elektrik enerjisinin fotovoltaik, rüzgar, karosel lamba, kurşun-asit akümülatör ve pil seçeneklerinden beslenmesi durumu incelenmiştir. Günlük elektrik enerjisi ihtiyacının 2 kWh değerinden düşük olduğu varsayılmıştır. Bu değer küçük ya da orta boy bir konutun elektrik enerjisi talebine eşit olduğu düşünülebilir. Şekil 7'de özetlenen değerlendirmeden de anlaşılacağı üzere

en ekonomik çözümler sırasıyla fotovoltaik veya rüzgar kaynaklarının kullanılmasıdır.



Şekil 7: Uzak bölgelerde aydınlatma ve diğer düşük güçlü uygulamalarda elektrik enerjisi maliyeti.

(") Varsayımlar:

1. Enerji talebi 2 kWh/gün değerinden küçüktür
2. Yerinde teslim gazyağı maliyeti 0.5-1.0 US\$/1t.
3. FV ve rüzgar sistemlerinin enerji maliyetleri mevcut ticari küçük sistemlerin fiyatları dikkate alınarak hesaplanmıştır.
4. Rüzgar hızı: 5/m/sn

ikincisi ise, yine elektrik şebekesinin mevcut olmadığı konumlarda, çok amaçlı kullanım için gereksinim duyulan elektrik enerjisinin mikrohidro, fotovoltaik, rüzgar, dizel ve elektrik şebekesinin 10 km uzatılması seçenekleri yoluyla sağlanmasını irdeleyen örneklerdir. Elde edilen sonuçlar Şekil 8'de özetlenmiştir. Günlük elektrik enerjisi talebinin çok düşük olduğu durumlarda (< 2 kWh) fotovoltaik ve rüzgar kaynaklarının en ucuz, elektrik şebekesinin o noktaya uzatılmasının ise dikkate alınmaya değmeyecek kadar pahalı seçenekler olduğu görülmektedir. Yükün elektrik enerjisi talebinin artması ile birlikte mikrohidro seçeneğinin giderek bariz en ekonomik seçenek olduğu görülmektedir. 10 kWh/gün enerji tüketim



düzeyi için, eğer uygun bir akarsu mevcut değilse, en ekonomik seçenekleri sırasıyla rüzgar ve fotovoltaik kaynaklar oluşturmaktadır. 50 kWh/gün gibi kırsal kesim için oldukça yüksek bir enerji kullanım düzeyinde fotovoltaik, rüzgar, dizel ve şebeke tesisi seçeneklerinin aşağı yukarı aynı değeri taşıdıkları anlaşılmaktadır.

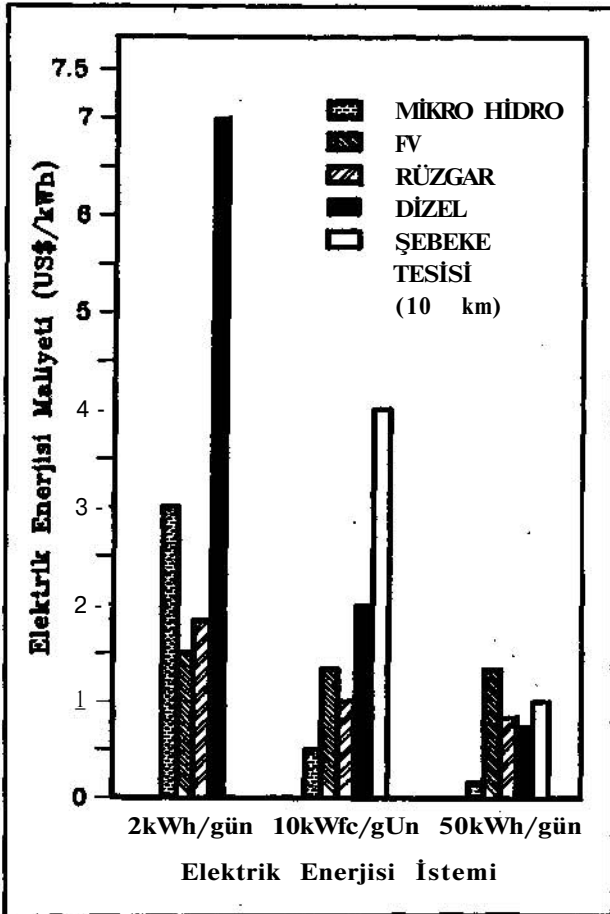
Ülkede 1988 yılı sonunda yapılan uygulamada da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bir tiftik geçisi ağınının 600 m² iç ve 500 m² çevre aydınlatması fotovoltaik kaynaktan sağlanmıştır. Aynı

amaça yönelik olarak ulusal elektrik şebekesinin o konuma uzatılması durumunda fotovoltaik sistemin üç katı bir ilk yatırım maliyeti ödenmesi gerekeceği bulunmuştur. Ayrıca tüketilen her bir kWh enerji için bir bedel ödenmesi gerektiği, buna karşılık, fotovoltaik sistemlerin çok düşük bir işletme maliyeti ile çalıştırılabilecekleri de değerlendirilmede dikkate alınmalıdır.

SONUÇ

Tarım, endüstri ve günlük yaşamımızda gelişmiş ülkeler düzeyinin çok altında birincil enerji ve elektrik tükettiğimiz bir gerçektir. Özellikle kırsal kesimde kurulu pek çok sivil ve askeri tesisler ve yerleşim birimlerinde bu konuların şebekeye uzaklıkları nedeniyle, elektrik enerjisinden yararlanılamamakta ya da, elektrik üretimi fosil kökenli yakıtlara dayandırılmaktadır. Bu yazıda sergilendiği üzere, bu tür konumlarda fotovoltaik ve rüzgar kaynakları ekonomik olarak ve süratle işleme sokulabilir. Bu yolla bir yandan çalışma koşulları ve yaşam düzeyi geliştirilecek diğer yandan verimlilik ve üretim, özellikle tarım sektöründe önemli ölçüde arttırılacaktır. Ayrıca rüzgar potansiyeli yüksek kıyı bölgelerimizde, şebekeye bağlı olarak büyük ölçekli elektrik enerjisi üretimi yapabilecek rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinin tesis edilmesinin mutlaka dikkate alınması gereken ekonomik bir seçenek olduğunu belirtmekte yarar vardır. Önümüzdeki yıllarda enerji tüketimimizin gerekli düzeye yükseleceği, bu tüketim içerisinde güneş ve rüzgar kaynaklarının gereken yeri alacağı ve bu amaçla bu tür sistemlerin araştırılması ve geliştirilmesi yönünde gerekli kaynakların ayrılacağını umalım.

D



Şekil 8: Çok amaçlı kullanım için elektrik enerjisi maliyeti

(*) Varsayımlar:

1. Güneş akısı: 4-6 kWh/m²/gün
2. Yarine teslim sıvı yakıt maliyeti: 0.5-1.0 US\$/11
3. Mikro - Hidro incelemesinde yıl boyunca yeterli bir yakıt ve bakım servisinin mevcut olduğu varsayılmıştır.
5. İskonto oranı: % 10
6. Rüzgar hızı: 5m/sn
7. Talebin 2 kWh/gün düzeyinde olduğu durumlarda yeni elektrik şebekesi tesisi seçeneği düşünülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Gustavson, M.J., "Limits to Wind Power Utilization", *Science*, Vol 204, April 1979, pp 13-17.
2. "Renewable Energy for Agriculture and Health", AID Report, 1988.
3. "New and Renewable Sources of Energy", *Impact of Science on Society*, Vpl 37, No 4, 1978.
4. "Meteorological Aspects of the Utilization of Solar Radiation as an Energy Source", WMO Publication, Technical Note No.: 172, 1981.
5. "Enerji İstatistikleri", Türkiye 5. Enerji Kongresi, Ankara, 1990.