



Binlerce yıldır teknelerin yelkenlerini şişiren rüzgâr enerjisi, artık elektrik üretimi için esmekte. İnsanlık yel değirmenlerinden modern rüzgâr santrallerine uzanan bir teknolojik süreç yaşamıştır. Bu süreç birkaç bin yıldır devam etmektedir. Yel değirmenleri günümüzde antik ve turistik nitelik taşımaktadır. Ancak, 1980 sonrasındaki gelişmelerle Avrupa'da ve ABD'de rüzgâr santralleri enerji, ekonomi ve çevre açısından çağdaş mühendislik ürünleri haline gelmişlerdir. 1996 başındaki verilere göre, dünya rüzgâr santrallerinin kurulu güç toplamı yaklaşık 5000 MW'a ulaşmıştır. Bu güç, elektrik santralleri gücünün % 0,2'si kadar olsa da, 1990'dan bu yana katlanarak artmıştır. Dünya Bankası ve Avrupa Yatırım Bankası gibi uluslararası finansman kuruluşları rüzgâr santrallerini destekleme projeleri geliştirmişlerdir. Kısacası bugün rüzgâr, göz ardı edilmemesi ve elektrik üretiminde değerlendirilmesi gereken temiz bir alternatif enerji kaynağıdır.

Yel Değirmenlerinden Günümüze Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi, çevrime uğramış güneş enerjisidir. Güneş enerjisinin karaları, denizleri ve atmosferi her yerde özdeş ısıtmaması nedeniyle oluşan sıcaklık ve basınç farkları rüzgârı yaratmaktadır. Rüzgâr, yüksek basınç alanından, alçak basınç alanına yer değiştiren havanın, Dünya yüzeyine göre bağıl olarak yaptığı harekettir. Yer değiştiren hava kütesine Dünya'nın dönmesinden kaynaklanan Coriolis kuvveti de etki eder. Ayrıca, rüzgârlar bir merkez çevresinde dolandıklarından, santrifüj kuvveti etkisinde kaldıkları gibi, yeryüzü ile hava arasındaki sürtünme kuvvetinden de etkilenirler. Kutuplar ve ekvator arasındaki hava akımlarına bağlı belli rüzgârlar varsa da, enerji üretimi açısından denizler, karalar, dağlar ya da vadiler arasındaki hava akımlarına dayalı yerel rüzgârlar önemlidir.

Rüzgâr atmosferde bol ve serbest olarak bulunan, kararlı, güvenilir ve sürekli bir kaynaktır. Doğası gereği kinetik enerji taşımaktadır. Atmosferin rüzgârı oluşturan brüt kinetik gücü $0,191 \times 10^{12}$ kW kadardır. Dünya'nın 50° kuzey ve güney enlemleri arasında rüzgâr gücü potansiyelinin 3×10^9 kW olmasına karşın, ekonomik ve fiziksel planlamanın getirdiği sınırlılıklardan dolayı, 1×10^8 kW kapasitenin kullanılabilceği hesaplanmıştır.

Havanın özgül kütlesi az olduğundan, rüzgârdan sağlanacak enerjinin miktarı hıza bağlıdır. Rüzgârın hızı yükseklikle, gücü ise, hızın kübü ile orantılı olarak artar. Sağlayacağı enerji, gücüne ve estiği süreye bağlıdır. Özgül rüzgâr gücü, hava debisine dik olarak, birim yüzeye düşen güçtür. Topoğrafik koşullara bağlı olarak, rüzgârın yerden

50 m yükseklikteki özgül gücü, hızı 3,5 m/s'den küçük iken 50 W/m^2 'den az, 11,5 m/s'den büyük iken 1800 W/m^2 'den çok olabilir. Dünya yüzeyinin % 27'sinde yıllık ortalama rüzgâr hızının yerden 10 m yükseklikte 5,1 m/s'den büyük olduğu saptanmıştır. Bu alan rüzgâr enerjisi bakımından zengin olan bölgelerin toplamıdır.

Tarihçesi

Rüzgâr enerjisi kullanımı M.Ö. 2800 yıllarında Orta Doğu'da başlamıştır. M.Ö. 17. yüzyılda Babil Kralı Hammurabi döneminde Mezopotamya'da sulama amacıyla kullanılan rüzgâr enerjisinin, aynı dönemde Çin'de de kullanıldığı belirtilmektedir. Yel değirmenleri, ilk olarak İskenderiye yakınlarında kurulmuştur. Türklerin ve İranlıların

ilk yel değirmenlerini M.S. 7. yüzyılda kullanmaya başlamalarına karşın, Avrupalılar yel değirmenlerini ilk olarak Haçlı Seferleri sırasında görmüşlerdir. Fransa ve İngiltere'de yel değirmenlerinin kullanılmaya başlanması 12. yüzyılda olmuştur.

Avrupa, Haçlı Seferleri'nde kazandığı bu teknoloji ile, Roma İmparatorluğu'nun kaçırdığı bir serveti yakalamıştır. Roma İmparatorluğu gücünün zirvesinde iken, para basmak için gereken altın ve gümüşü Avrupa dışındaki eyaletlerinden sağlamaktaydı. Bu eyaletleri kaybettikten sonra, Avrupa'daki fakir madenlerin işletilmesi denenmiş, ancak, bu madenlerin yüzeyel kapasiteleri hızla tüketilip, derinlere inildikten sonra galerilerden su çıktığından, madenler terk edilmişti. Altın ve gümüş bulunamayınca paralara bakır katılmaya başlandı. Giderek artan parasal ve ekonomik bunalımla birlikte, o dönemin yüksek hızlı enflasyonu Roma İmparatorluğu'nun sonunu getirmişti. Avrupa'nın Orta Çağ karanlığından sıyrılmasında önemli etmenlerden birinin, Romalıların terk ettikleri madenlerin yeniden işletmeye açılması olduğu söylenir. Avrupalılar bunu yel değirmenleri yardımıyla, galeri diplerindeki suları dışarı pompalayarak, yani rüzgâr enerjisini kullanarak başarmışlardır.

Tarımsal ürünleri öğütme, su pompalamak, hızar çalıştırmak gibi amaçlarla geliştirilen yel değirmenleri, Avrupa'da Endüstri Devrimi'ne kadar hızla yayılmışlardır. 18. yüzyılın sonunda yalnızca Hollanda'da 10.000 yel değirmeni bulunuyordu. Buhar makinesinin yapılması ve odun, kömür gibi yakıtlardan kesintisiz enerji üretimine başlanması ile rüzgâr enerjisi önemini yitiriyordu. Bununla beraber, rüzgâr türbini denilen ve elektrik üretiminde kullanılan ilk makineler 1890'ların baş-

larında Danimarka'da yapılmıştır. Aynı dönemde, bu makinelerin geliştirilmesi için Almanya'da da önemli çalışmalar yapıldığı bilinmektedir. Rüzgâr kuvvet makineleri yerlerini yakıtlı kuvvet makinelerine bırakırken, rüzgâr enerjisi kullanımının sürmesi için yeni bir teknoloji de başlıyordu. Ancak, 19. yüzyılda geliştirilen ilk rüzgâr türbinlerinin verimleri düşüktü.

1918 yılında Danimarka'da başlatılan bir çalışma ile, 120 kırsal merkezde elektrik üretimi için 20-35 kW'lık rüzgâr türbinlerinin kullanımı sağlanmıştı. Rusya'da 1931 yılında 100 kW'lık rüzgâr türbini yapılmıştı. 1941 yılında ABD'de Vermont, Rutland yakınlarında Grandpa's Knob'da kurulan Putnam rüzgâr türbini 1250 kW gücü ile o dönemin en büyük rüzgâr kuvvet makinesi olmuştur. İki kanatlı rotorunun (çarkının) çapı 53 m idi. Putnam türbini modern rüzgâr makinelerinin ilkidir. Toplam ağırlığı 250 ton olan bu rüzgâr santralına, bir milyon dolar yatırım yapılmıştı. Ancak, titreşim ve malzeme yorgunluğundan dolayı, 26 Mart 1945 sabahı olan bir kazada kanatlarından biri kopmuş, yaklaşık 8 tonluk kanat 230 m uzağa fırlamıştır.

İkinci Dünya Savaşı'nın ardından 1945'de İngiltere'de başlatılan deneysel çalışmalar sonucunda, Enfield'da 100 kW gücündeki Andreau makinesi kurulmuştur. Bu rüzgâr türbininin rotoru üç kanatlı olup, çapı 15 m idi. 1947 yılında Danimarka'da başlatılan ve modern yaklaşımlar içeren elektrik üretim amaçlı bir başka çalışmanın son ürünü ise, 1959 yılında işletmeye sokulan 200 kW'lık Gedser türbini olmuştur. Bu makinenin 24 m çaplı rotoru da üç kanatlı idi. Aynı dönemde Fransa'da yapılan makinelerden Nogent Le Roi'deki rüzgâr türbini 300 kW gücündedir. Fransa'da 1958 yılında yapılan Avrupa'nın

Rüzgâr türbininin arkasında oluşan hava akımı

en yetkin rüzgâr jeneratörünün rotor çapı 31 m olup, 3 kanatlı ve 800 kW gücündedir.

1961 yılında Roma'da Birleşmiş Milletler tarafından düzenlenen "Enerjinin Yeni Kaynakları Konferansı"nda ele alınan üç kaynaktan biri rüzgâr enerjisi idi. Böylece, çok eskiden bu yana tanınan rüzgâr enerjisi, teknolojik gelişmelerle ele alınıyor, yeni ve yenilenebilir kaynaklar arasına sokuluyordu. 1961-1966 yılları arasında Almanya'da rotor çapı 35 m olan 100 kW'lık bir modelin geliştirilmesi üzerinde duruluyordu. 1970'lerde Danimarka'daki Gedser türbini, gücü 650 kW olan büyük türbinlerle değiştiriliyordu. Bu dönemde rüzgâr jeneratörleri üzerinde İsviçre, Avusturya ve İtalya'da da teknolojik çalışmalar yapılmıştır. Amerika'da 1970'lerde büyük tip yatay eksenli makineler üzerinde yeniden çalışılırken, dikey eksenli Darrieus tipi makineler üzerinde de çalışmalar başlatılmıştır. Ucuz petrol döneminde güncellik kazanamayan rüzgâr enerjisi, 1974-1978 yılları arasındaki yavaş petrol bunalımlarının ardından, gündeme daha çok girmiştir.

Rüzgâr enerjisinin gelişimine, 1980'li yıllarda Uluslararası Enerji Ajansı eşgüdümünde yürütülen araştırma geliştirme çalışmalarının büyük etkisi olmuştur. Artık, eski tip rüzgâr jeneratörleri yerine, modern ve çağdaş rüzgâr enerjisi çevrim sistemleri (WECS) kurulmaktadır. Ayrıca, rüzgâr türbiniyle beraber, dizel motor ve güneş fotovoltaik jeneratörü içeren



Kappel rüzgâr çiftliği, Danimarka



rüzgâr-dizel-PV hibrid sistemler de geliştirilmiştir. Bir tüketiciyi besleyecek tek makine yerine, birden çok türbin içeren rüzgâr çiftlikleri ile elektrik şebekeleri için üretim yapılır olmuştur. ABD, Danimarka, Hollanda, İngiltere ve İsveç'in katkıları sonucunda, deniz üstünde, kıyıda uzakta rüzgâr santralleri kurulmuştur. Günümüzde şamandıra üzerine yerleştirilen rüzgâr türbinleri de vardır.



Petersdorf rüzgâr çiftliği

Son Gelişmeler

Son onbeş yıldır ABD'de çıkarılan çevre yasalarıyla beraber, kamu ve özel kesim işbirliği de, bu ülkede rüzgâr endüstrisinin gelişmesini sağlamıştır. 1982-1992 döneminde Kaliforniya'da yaklaşık 15 000 rüzgâr türbini kurulmuştur. 1993 yılında Kaliforniya'nın rüzgâr çiftliklerinden 3 milyar kWh elektrik üretilmiş ve bununla Kaliforniya elektrik tüketiminin % 1,2'si karşılanmıştır. Dünyanın en büyük rüzgâr çiftliği ABD'de bulunan 370 MW gücündeki Altamount Pass Rüzgâr Tesisi'dir. 8160 ha alan kaplayan bu çiftlikte 3500 adet 100 kW'lık ve 40 adet 300-405 kW'lık türbin bulunmaktadır. Geliştirilen makinelerin güçleri giderek büyütülüp, kurulu güçler artırılırken, fiyatların da aşağıya çekilmesiyle, rüzgâr enerjisi alışılmış kaynaklarla rekabet edecek bir boyuta gelmiştir.

1994 yılında, dünyada toplam 742 MW'lık rüzgâr tesisi kurulmuş olup, bu oran 1993 yılındakinden % 50 daha fazladır. 1995 yılında eklenen kapasite ise, 1253 MW ile 1994 yılında eklenenin 1,7 katıdır. 1996 Ocak ayı verilerine göre Dünya'nın kurulu rüzgâr gücü 4991 MW'tır. Bunun 1872 MW'ı ABD'de, 2311 MW'ı Avrupa'da, 601 MW'ı Hindistan'da ve 207 MW'ı dünyanın diğer alanlarındadır. Avrupa'nın kurulu gücü 1989 yılında yalnızca 320 MW'tı. Bu güç 1991 yılında 643 MW, 1993 yılında 1123 MW ve 1994 yılında 1723 MW olmuştur. Avrupa'da kurulu güç birinciliği 1993 yılında Danimarka'nın elinde

idi. 1994 yılından başlayarak birincilik Almanya'ya geçmiştir. İkinci sırada Danimarka, üçüncü sırada İngiltere yer almaktadır. Orta Doğu'da Golan tepelerinde de 6 MW'lık bir rüzgâr tesisi 1993 yılında Almanlar tarafından kurulmuştur.

1987 yılında Almanya'nın kurulu rüzgâr gücü 50 MW iken, 1994 yılında 632 MW'a çıkarılarak, Danimarka'yı % 17 oranında geçmiştir. Almanya'nın kurulu gücü 1995'de 932 MW'a yükseltilmiştir. İsveç'te 1990 yılında kurulan 220 kW'lık Nögersund türbini Avrupa'nın ilk deniz üstü rüzgâr türbinidir. İlk deniz üstü rüzgâr çiftliği ise Danimarka'nın Vindeby adasında kurulmuştur. 11 adet 450 kW'lık makinesi olan 5 MW'lık bu çiftlik, 1991 yılı ortalarında işletilmeye başlanmıştır. 1994 yılında 539 MW olan Danimarka'nın kurulu gücü, 1995 yılında 614 MW'a çıkarılmıştır.

İngiltere'de 1993 yılında 202 000 MWh elektrik rüzgârdan üretilmişken, 1994 yılında 316 720 MWh'a çıkarılmıştır. Bu da, 290 000 kişinin elektrik gereksinimini karşılamıştır. 1995 yılında, kurulu güç 170,5 MW'tan 190 MW'a çıkarılmıştır. İngiltere'nin Scottish Adası üzerindeki 3 MW'lık Orkney türbini dev türbin olarak adlandırılır. Hollanda 1000 MW kapasiteli dev rüzgâr çiftliğini kurmaya girişmiş bulunmaktadır. Bu amaçla, 1 MW'lık ilk deneysel türbin 1994 yılında Spijk'de inşa edilmiştir. 1995 yılında Hollanda'da 202 MW, İspanya'da 163 MW, İsveç'de 55 MW, Yunanistanda 46 MW ve İtalya'da 32 MW kurulu rüzgâr gücü vardı. Yunanistan bazı Ege adalarına (Syros, Paros,

Kea) telekomünikasyon güç gereksinimi için rüzgâr türbinleri kurmuştur. Avrupa Topluluğu yeni ve yenilenebilir enerji teknolojilerini geliştirmek için Thermie ve Joule adlı iki program uygulamaktadır. Avrupa Yenilenebilir Enerji Ajansı ile Hollanda Ulusal Laboratuvarı, Avrupa rüzgâr türbinlerinin standartlaştırılması için 1994 yılında bir çalışma başlatmış olup, Almanya, Yunanistan, Danimarka, İngiltere, İspanya ve İsveç de bu projeye katılmıştır. Çalışma 1995 yılında tamamlanmıştır.

Türkiye'ye Gelince

Türkiye'de, 1995 yılında yayınlanan enerji raporunda, geçmiş yıllara ilişkin rüzgâr enerjisi üretim verilerine ve 2010 yılına dek yapılacak üretim tahminlerine yer verilmemiştir. 1960-1961 yıllarında Tarım Bakanlığı tarafından yapılan Türkiye çapındaki bir anket sonucunda, 718'i su çıkarmada ve 41'i elektrik üretiminde kullanılan 749 rüzgâr kuvvet makinesi bulunduğu saptanmıştır. Ucuz petrol döneminde bu makinelerin sayılarının artması söz konusu olmamıştır. Tarım Bakanlığı'nın Türkiye kırsal alanlarının genel enerji durumunu saptamak amacıyla 1966-1967 yıllarında yaptığı bir başka anket çalışması da, su çıkarmada kullanılan rüzgâr türbinlerinin sayısını 307, elektrik üretimi için kullanılanları ise 2 olarak gösteriyordu. 1973-1978 yılları arasındaki petrol fiyatlarının zincirleme artışı, Türkiye'de de yeni kaynakları gündeme getirmişti. 1978-1979 yıllarında kırsal enerji makineleri envanterini çıkarmak için Tarım Bakanlığı'nın yaptığı Tarım ve Enerji Anketi, kullanılıp kullanılmadığına bakılmaksızın, 871 adet su çıkarma ve 23 adet elektrik üretim amaçlı rüzgâr türbini bulunduğunu gösteriyordu. Bu makinelerin güçleri 1 kW düzeyinin altında kaldığı gibi, yerli olanları ilkel yapıydı.

Türkiye'de rüzgâr enerjisi üzerinde yapılan bilimsel çalışmalar 1960'larda

Ankara Üniversitesi, 1970'lerde Ege Üniversitesi, daha sonraki yıllarda Orta Doğu Teknik Üniversitesi ve İstanbul Teknik Üniversitesi kapsamında sürdürülmüş olup, bugün daha çok üniversiteye yayılmıştır. Son dönemlerde TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) bünyesinde bazı çalışmalar yapılmıştır. MAM'da ilk rüzgâr atlası çalışması başlatılarak, Gebze-Özbek tepede pompa çalıştırma ve elektrik üretim amaçlı çeşitli rüzgâr türbinleri kurularak denenmiştir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na bağlı Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) 1981 yılından bu yana rüzgâr enerjisi çalışmaları sürdürmektedir. 1989 yılında Rüzgâr Enerjisi Şube Müdürlüğü diye ayrı bir birim de oluşturulmuştur. Bu çalışmalar Türkiye'de rüzgâr enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesi ile enerji amaçlı bilgisayar destekli rüzgâr gözlem istasyonları kurulması üzerine yoğunlaştırılmış, ayrıca çeşitli rüzgâr türbinleri üzerinde tanıtım amacıyla, uygulama ve araştırmalara girilmiştir. Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesi ve rüzgâr atlası ile rüzgâr haritaları oluşturulması için Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) tarafından yapılan bir çalışmanın da kullanılabilir sonuçları alınmıştır.

EİE'nin önderliğinde yürütülen çalışmalar sonucunda, 1992 yılında Bakanlar Kurulu kararı ile Avrupa Rüzgâr Enerjisi Birliği Türkiye Şubesi (AREB-TŞ) kurulmuştur. AREB-TŞ, rüzgâr enerjisi ile ilgili bilimsel çalışmaların ve uygulamaların gelişmesine katkıda bulunmak, bu enerji kaynağını tanıtmak amacı ile çalışmalarını sürdürmektedir. AREB-TŞ'nin üyeleri ilgili kamu ve özel sektör kuruluşları, üniversiteler ve bu konuda çalışan bilim adamlarıdır.

AREB-TŞ tarafından gerçekleştirilen organizasyonla 1-2 Haziran 1995 tarihlerinde İstanbul'da 1. Ulusal Rüzgâr Enerjisi Sempozyumu yapılmıştır. AREB-TŞ, Türkiye'de kurulacak rüzgâr santralleri için bir ön çalışmayı da 1996 yılında Avrupa Yatırım Bankası'nın desteği ile başlatmıştır.

Enerji raporuna göre, Türkiye'de gücü 1 kW'ın üzerinde olup, çalışabilen elektrik üretim amaçlı iki rüzgâr türbini vardır. Bunlardan biri, 1985 yılında Danimarka'dan alınan 55 kW güçlü Çeşme-Altinyunus Turistik Tesisleri rüzgâr türbinidir. Diğeri, Ankara'da bulunan ithal rotorlu ve 1,1 kW gücündeki EİE rüzgâr türbinidir. EİE, Bandırma'da kurmak için 1986 yılında 20 kW'lık bir başka rüzgâr türbini ithal etmişse de, bu türbin sistem hatası yüzünden çalıştıramamıştır. TÜBİTAK-MAM arazisinde de 2 kW'lık bir sistem vardır.

Türkiye'de Rüzgâr Varlığı

Türkiye'nin rüzgâr potansiyeli tam olarak ortaya konulamamış olsa da, yapılan çalışmaların ortak bulgusu, yerden 10 m yükseklikte yıllık ortalama 2,7 m/s (10 km/h) hız sınırı ile ülkemizin elektrik üretimine elverişli yörelerinin bulunduğudur. DMİ istasyonlarında yapılmış uzun dönemli ölçümlere dayalı istatistikler EİE tarafından 1984'de tamamlanan "Türkiye Rüzgâr Enerjisi Doğal Potansiyeli" çalışmasında değerlendirilmiştir. 10 m yükseklikteki yıllık ortalama rüzgâr hızı ve güç yoğunluğu açısından en yüksek değer 3,29 m/s ve 51,91 W/m² ile Marmara'da saptanmıştır. En düşük değer ise, 2,12 m/s hız ve 13,19 W/m² güç yoğunluğu ile Doğu Anado-

lu'da bulunmuştur. Bu çalışmaya göre, Türkiye'nin % 64,5'inde rüzgâr enerjisi güç yoğunluğu 20 W/m²'yi aşmazken, % 16,1'inde 30-40 W/m² arasında, % 5,9'unda 50 W/m²'nin ve % 0,08'inde de 100 W/m²'nin üzerindedir. EİE, bazı özel alanlardaki 11 istasyonda enerji ölçümleri ve yöresel potansiyeli belirleme çalışmaları yapmaktadır.

DMİ tarafından 1993 yılında başlatılan Türkiye rüzgâr atlası çalışmasında 43 meteoroloji istasyonunun verileri bilgisayar paket programı (WASP) ile değerlendirilmiştir. Bu çalışma topografik verilerle genişletilerek sürdürülmektedir.

Türkiye rüzgâr bakımından zengin yöreleri olan bir ülkedir. Brüt potansiyelinin yılda 400 milyar kWh, teknik potansiyelinin ise, 120 milyar kWh olduğu düşünülmektedir. Söz konusu teknik potansiyel yıllık elektrik üretiminin 1,2 katıdır. Ancak, Türkiye genelinde 10 m yükseklikteki rüzgâr yoğunluğunun alansal ve zamansal dağılımı ile teknolojik kısıtlılıklar göz önünde tutulduğunda, güvenilir rüzgâr enerjisi potansiyeli 12 milyar kWh/yıl olarak hesaplanmaktadır. Ayrıntılı ölçümler ve yeni verilerle bu değer artması olasıdır.

Rüzgâr Teknolojisi

Rüzgâr enerjisi Betz teoremine göre maksimum % 59,3 etkililikle mekanik enerjiye çevrilebilir. Çevrim, rüzgâr türbini denilen kuvvet makinesi ile yapılır. Böyle bir türbin; çevredeki engellerin rüzgârı kesmeyecekleri yükseklikte bir kule, bunun üzerine



İsveç'in Nogsersund türbini

Vindeby deniz üstü rüzgâr çiftliği, Danimarka



Türkiye'nin rüzgârlı yöreleri için rüzgâr enerjisi verileri							
İSTASYON	10 m'de Ort.Hız m/s	10 m'de Maks.Hız m/s	10 m'de W/m ²	50 m'de W/m ²	100 m'de W/m ²	200 m'de W/m ²	50 m'de enerji kWh/m ² .y
Afyon	2,7	36	36	76	118	239	666
Antalya	2,7	38,7	39	80	124	253	701
Samsun	2,7	34,5	40	81	124	253	710
Sarıyer	2,9	41,2	42	94	149	299	823
Akhisar	2,7	32,5	44	96	152	304	841
Malatya	2,7	33,4	51	108	168	331	946
Anamur	3,1	42,2	52	111	177	353	972
Bergama	3,5	38,8	61	134	213	426	1174
İnebolu	3,7	41,8	63	145	232	460	1270
Gökçeada	3,5	35,2	69	193	308	613	1700
Sinop	3,6	40,5	84	182	283	556	1594
Bodrum	3,7	41,7	85	183	289	578	1603
Anrakya	4	28,4	85	202	329	646	2000
Çanakkale	3,9	35,4	92	205	311	575	1800
Çorlu	3,8	30,2	96	222	338	643	1900
Mardin	4,3	38,1	186	321	466	826	3000
Bandırma	5,8	39,9	300	474	671	1124	4100
Bozcaada	6,2	43,3	317	675	944	1522	5900

Kaynak: DMI

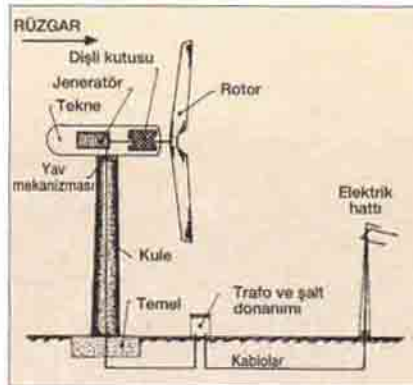
yerleştirilmiş gövde (ya da tekne) ve gövdeye bağlı rotordan oluşur. Rüzgârın kinetik enerjisi rotorda mekanik enerjiye çevrilir. Rotor milinin devir hareketi hızlandırılarak, gövdedeki jeneratöre aktarılır. Gövde içinde çeşitli kontrol düzenleri de bulunur. Türbinin rüzgâra göre yönlendirilmesi, rotor eksenini rüzgâr doğrultusu arasındaki yav açısını kontrol eden yav mekanizmasıyla sağlanır ve motorla çalıştırılır. Elektrik üretimine yarayan bu makine rüzgâr jeneratörü (aerogeneratör) diye tanınır. Yeni teknoloji ile geliştirilenlere WECS (Rüzgâr Enerjisi Çevrim Sistemi) ve küçük makinelere de SWECS denir. WECS'ler 2000 kW'a kadar uzanırken, SWECS'ler 100 kW'dan küçüktür. Dünya piyasasındaki WECS'ler 150-1500 kW gücünde olup, 350-500 kW gücünde olanlar daha yaygındır. 150-1500 kW'lık türbinlerin rotor çapları 25-66 m ve kule yükseklikleri de 25-70 m arasında değişir.

Türbinler, rotor konumuna göre yatay ve düşey eksenli olurlar. Yatay eksenliler; yüksek hızlı, az kanatlı propeller türbinler, difüzörlü türbinler ve tornado türbinler olarak üçe ayrılır. Elektrik üretiminde kullanılan düşey eksenli türbinlerin ise Darrieus türbinleri, Darrieus-Savonius kombinasyonu türbinler ve Musgrove türbinler olmak üzere belli başlı üç tipi vardır. Elektrik üretim amaçlı modern rüzgâr türbinlerinin çoğunluğu yatay eksenli, yüksek hızlı ve az kanatlı propeller türbinlerdir.

Türbinler hız özelliğine göre, değişken ve sabit hızlı rüzgâr türbinleri ola-

rak ikiye ayrılırlar. Değişken hızlı rüzgâr türbinleri daha çok kullanılır. Yatay eksenli türbinler; rüzgârın kuleyi yalamadan rotora çarpması durumunda ileri ya da üst rüzgârlı (up-wind), önce kuleye dokunup sonra çarka gelmesi durumunda geri ya da alt rüzgârlı (down-wind) türbin adını alırlar. Avrupa'da daha çok ileri rüzgârlı türbinler kullanılırken, ABD'de geri rüzgârlı türbinlere de yer verilmektedir. Rüzgâr türbininin çalışması açısından harekete geçme, hareketi sürdürme ve kesme hızı gibi değişik rüzgâr hızları söz konusudur. Kesme hızı çoğunlukla 28-30 m/s olup, 55 m/s'ye de çıkabilmektedir.

En çok kullanılan propeller türbinlerde rotor, göbekte mile bağlanmış aerodinamik profilli kanatlardan oluşur. Kanat sayısı bir ile üç arasındadır. Kanatların konumları sabittir ya da ayarlanabilir. Kanat çelik bileşenler içeren bir materyalden ve özellikle reçine ya da polyester ile güçlendirilmiş fiberglass (GRP) bir malzemeden yapılır. Uzunlukları 10-30 m arasında olup, özgül



kütleleri 130-240 kg/m kadardır. Dünya piyasasındaki sabit hızlı türbin rotorlarının dakikadaki devir sayısı 30, 34, 35, 43 rpm düzeyindedir. Değişken hızlı rotorlar için bu değer 15-44 rpm, 18-39 rpm, 36-45 rpm, 40-60 rpm ve 58-72 rpm arasındadır. Rotor hızı değişken türbinlerde senkron, sabit olanlarda indüksiyon jeneratörler kullanılır. Rotor ile jeneratör arasında hızı yükseltecek dişli kutusu yer alır. Dişli kutuları planet dişli sistemli olmaktadır. Gürültüyü önlemek için rotor, elastomerik salınlı yatak kullanılarak dişli kutusundan izole edilir.

Rüzgâr türbinlerinin kuleleri çelik yapı ya da beton olur. Çelik kuleler, kafes ya da boru biçiminde olup, betonlar da boru kule biçimindedir. Boru kuleinin iç boşluğundan rotora çıkılır. Yükseklik fazla olduğunda boru kuleler iki ya da üç parçalı yapılır. Boru çapları 1-2 m arasında değişir. Rüzgâr türbininin tekne denilen ve rotor dışındaki makine aksamı ile jeneratörü içine alan gövdesi kaynaklı çelikten yapılmaktadır. Titreşimden kaynaklanan gürültünün azaltılması için teknenin tamamı lastik izolasyonla kaplanır.

SWECS'ler elektrik ağından bağımsız kurulduklarında, gerektiğinde bir başka enerji kaynağı kullanan santralla desteklenerek çalıştırılırlar. Elektrik ağı bağlantılı bir türbin tek tüketiciyi beslemek için kullanıldığında, türbinle şebeke ve şebekeyle tek tüketici arasında enerji alışverişi yapılır. Elektrik ağı bağlantılı WECS'ler tek türbin olabilecekleri gibi, rüzgâr çiftliği ya da tarlası olarak tanımlanan çok sayıda türbinden oluşabilirler. Çiftliklerdeki türbinler birbirlerine özdeş olmayabilir. Çiftlik alanı yerleştirme biçimine, rotor çapına ve türbin sayısına bağlıdır.

Rüzgâr Enerjisi ve Ekonomi

Türbin olmadan kullanılamayacağı için rüzgâr enerjisinin de belirli bir maliyeti vardır. Amortisman süresi 25 yıl olan türbinin ABD'de iç piyasa fiyatı en az 750 \$/kW'dır. Ancak, Avrupa ve dünya piyasasındaki modern rüzgâr türbinlerinin fiyatı 1400 \$/kW'a kadar çıkmaktadır. Bu enerji kullanımının gelişmesi için, bu miktarın 1000 \$/kW düzeyine indirilmesi gerekmektedir. Rüzgâr

elektrığının maliyeti ABD'de 5 cent/kWh'in altına ve 3,9 cent/kWh düzeyine düşürülmüşken, Avrupa'da çoğunlukla 0,05-0,065 ECU/kWh (6,4-8,3 cent/kWh) kadardır. ABD koşullarına göre, rüzgârdan elektrik üretim maliyeti kombine gaz santralleri ve jeotermal santraller ile rekabet edebilmektedir. Rüzgâr elektrığının maliyeti güneş elektrığının % 38-66'sıdır. İngiltere'de rüzgâr elektrığının birim maliyeti gaz santrallerinde üretilenin 1,4 katı, nükleer santrallerde üretilenin % 52'si, yeni kömür santrallerinde üretilenin ise % 71'i kadardır.

Rüzgâr enerjisi dışarıya dayanmadığından, alışılmış kaynaklardan pahalı da olsa, ulusal ekonomi açısından kazançlıdır. Kaldı ki, alışılmış kaynaklarla ekonomik olarak rekabet edebilir boyutlara ulaşmıştır. Dünya türbin pazarı 2000 MW/yıl düzeyine ulaştığında, birim kurulu güç maliyetininin 750 \$/kW'in altına düşmesi beklendiğinden, rekabet daha artacaktır. Rüzgâr enerjisinin ulusal ekonomiye katkısı, yalnızca enerji dışalımını azaltması ve klasik santrallerle rekabet edebilir olması değildir. Ayrıca, yeni iş alanları ile istihdam olanağı yaratmaktadır. Rüzgâr teknolojisi gelişmiş olan Danimarka'da rüzgâr endüstrisinde 12 000 kişi çalışmaktadır.

Rüzgâr Enerjisi ve Çevre

Temiz olsa bile rüzgâr enerjisi teknolojisinin çevrede olumsuz değişiklikler yaratması kaçınılmazdır. Türbinlerin görsel ve estetik olumsuzlukları, gürültü yapması, kuş ölümlerine neden olması, haberleşmede parazitler oluşturması, 2-3 km'ye kadar radyo ve TV alıcılarını karıştırmaları gibi istenmeyen etkileri ve kaza olasılıkları vardır. İngiltere'de 10 türbinden fazla veya 5 MW'tan büyük güçte olan rüzgâr çiftlikleri çevre sorunlarından dolayı milli park alanlarında kurulmamaktadır.

Rüzgâr çiftlikleri ile yerleşim birimleri arasındaki uzaklığın 400 m olması gürültüden korunmayı sağlamak ve bu koşulda taban gürültüye 5 dB(A) kadar gürültü eklenmektedir. Rüzgâr çiftliğindeki gürültü 85 dB(A) olabilmektedir. Türbinden 400 m uzaklıkta 36,9 dB(A)'lik gürültü uygun görülmektedir. Ancak, bu uzaklıkta 56 dB(A)'lik bir gü-



rültü olduğu kaydedilmiştir. Toplum sağlığı açısından rüzgâr enerjisi 0,2-0,6 PDL³/MW.yıl parametresi ile değerlendirilir. PDL, çevrede yaşayanlar için kayıp gün sayısıdır. Hastalık tipi kazalar ise WDL parametresi ile ölçülmekte olup, WDL işgünü kaybını göstermektedir. Rüzgâr enerjisi için 0,4-10 WDL/MW.yıl kadardır. Ayrıca, istatistiklere göre, 1000 MW başına yılda zarar verici 3 kaza olabilmektedir. Ölüm oranı ise 1000 MW başına yılda 0,09 ile 0,6 arasındadır.

Rüzgâr enerjisinin çevre için yadsınamayacak olumlu yanları vardır. Örneğin, ABD'nin 370 MW'lık Altamount Pass Rüzgâr Tesisi, yılda 461 400 ton karbon dioksit ve 423 ton azot oksit yayılımını engellemektedir. İngiltere'de 1994 yılındaki rüzgâr enerjisi kullanımının 350 000 ton karbon dioksit tasarrufu sağladığı bildirilmektedir. Böylece, rüzgâr enerjisi küresel ısınma sürecinin yavaşlamasına katkıda bulunmaktadır.

Rüzgâr Enerjisi ve 21. Yüzyıl

2000 yılı için kurulu kapasite hedefi ABD'de 2800 MW, Avrupa'da 6340 MW, Asya'da 3817 MW ve tüm dünyada 13803 MW'dır. 2000 yılı Avrupa'sında en büyük kapasite 2000 MW ile Almanya'da olacak, onu 1000 MW ile Danimarka, 800'er MW ile İngiltere ve İspanya izleyecektir. ABD'nin beklentisi 10-12 yılda rüzgârdan üretilen elektrik diğer kaynaklardan ucuz olacaktır. Gelecek 10 yıl sonunda ABD elektrik

üretiminin % 20'sini rüzgârdan sağlamayı hedeflemiştir. Avrupa Birliği ise 2005 yılında elektrik enerjisinin % 20'sini yenilenebilir kaynaklardan sağlamayı hedefleyerek, rüzgâra % 2'lik pay ayırmıştır. 2005 yılında Avrupa'da kurulu rüzgâr gücü 12 000 MW olacaktır. Bunun için gereken 12 km²'lik yerleşim alanı, 1200 km²'lik bir yüzeye (Avrupa alanının % 0,05'ine) yayılacaktır. 12 000 MW'lık kurulu güçle yılda 30 000 000 ton karbon dioksit, 2 000 000 ton uçucu kül, 80 000 ton kükürt dioksit ve 40 000 ton azot oksit tasarrufu sağlanacaktır. Avrupa kurulu gücününün 2030 yılında 100 000 MW'a çıkması beklenmektedir.

Türkiye'ye gelince, Ağustos 1993 tarihli 7. Beş Yıllık Kalkınma Planı Genel Enerji Özel İhtisas Komisyonu Yeni ve Yenilenebilir Enerji kaynakları Grubu Raporu'nda, elektrik üretim amaçlı rüzgâr enerjisi kullanımına, 1995 yılında 1 MW'lık örnek bir ünite ile başlanması, rüzgâr çiftlikleri ile kurulu gücün 2000 yılında 10 MW'a, 2005 yılında 20 MW'a ve 2010 yılında 50 MW'a yükseltilmesi planlanmıştır. Söz konusu hedefler çok küçük olmakla birlikte, teknolojik gelişimi izleyebilmek açısından düşünülmüştü. Ancak, rüzgâr enerjisi plana alınmamıştır.

Rüzgâr enerjisinden ticari boyutta elektrik üretmek isteyen dört firmanın yapı-şlet-devret modeli ile santral kurma girişimleri de vardır. Bu girişimlerin artması beklenmektedir. Bu girişimler, birer adet 1,82 MW'lık, 18 MW'lık ve 2 adet 50 MW'lık rüzgâr çiftliği kurulması amacıyla yapılmıştır. 50 MW'lık çiftliklerin gücününün de, bir süreç içerisinde 400 MW'a çıkarılmaları hedeflenmektedir. 2010 yılının elektrik üretimi resmi tahmininde rüzgâr enerjisi şimdilik yoksa da, 2010 yılına gelindiğinde Türkiye'nin çeşitli rüzgâr santrallerinin olacağı beklenmektedir.

Mustafa Özcan Ültanır

Prof.Dr., Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Tarm Makinaleri Bölümü

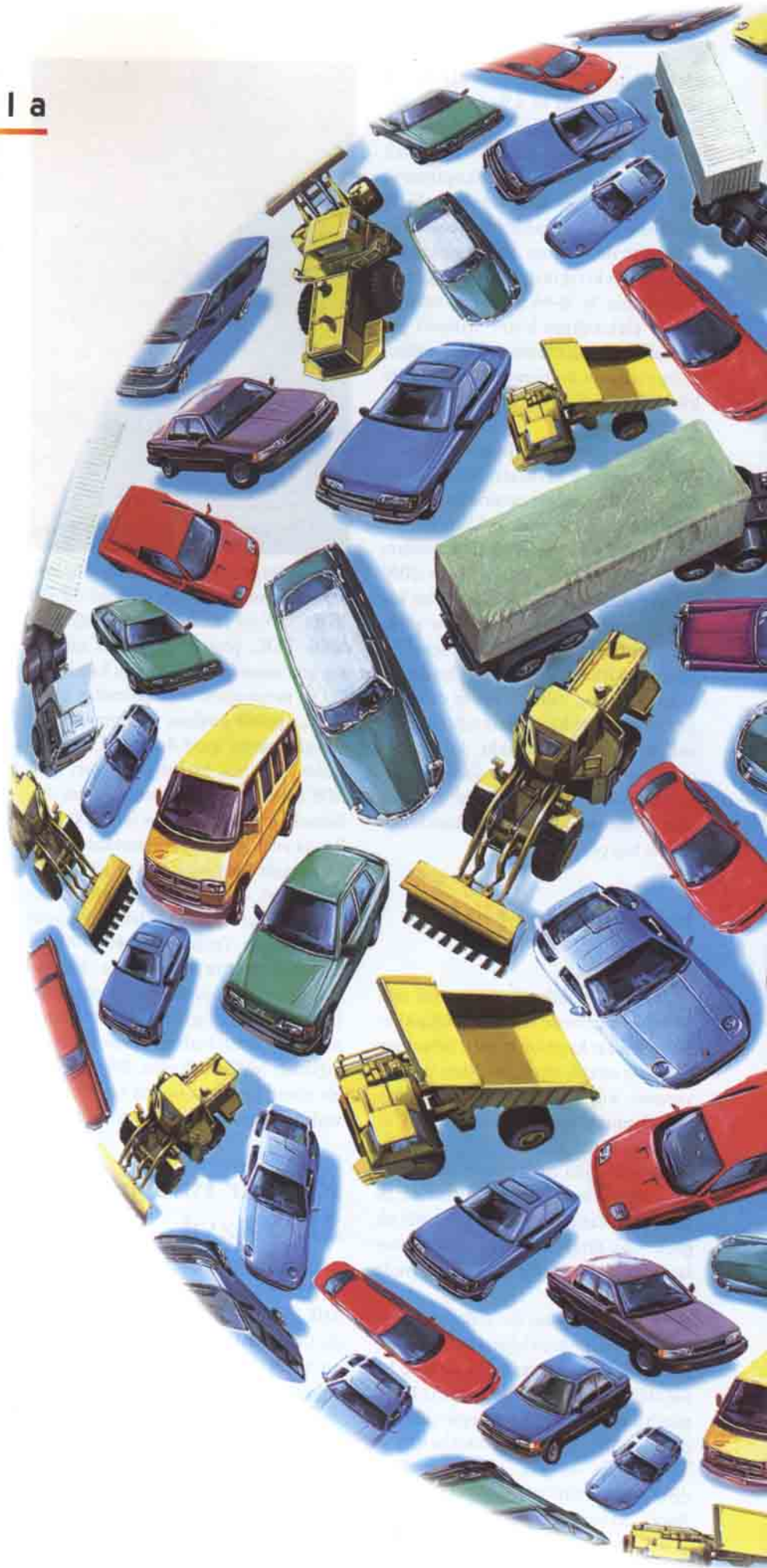
Kaynaklar

- Ferris, L.L. *Wind Energy Conversion Systems*, Prentice Hall Int. Ltd, 1990
- Gipe, P. *Wind Energy Comes of Age*, John Wiley & Sons Ltd, 1995.
- Ültanır, M.Ö. "Kırsal Alanda Alternatif Enerji Kaynaklarından Yararlanma Olanaklarının Kalkınma Amacıyla Geliştirilmesi Üzerinde Bir Araştırma", (Yayımlanmamış Doçentlik Tezi) Ankara: Ankara Üniversitesi, 1982.
- European Directory of Renewable Energy Suppliers and Services*, James and James Science Publishers, 1993, 1994, 1995.
- Sun World*, International Solar Energy Society, Vol. 19, Num. 2, 1995.
- Wind Directions*, British and European Wind Energy Association, Vol. X-XV, 1990-96.
- Wind Energy Conversion*, Mechanical Engineering Publications Ltd, 1994.
- Türkiye 1. Ulusal Rüzgâr Enerjisi Sempozyumu Bildirileri, İstanbul, 1995.

Leasing

dünyasıyla

tanişın!



Merkez: İstiklal Caddesi No: 168 Kat: 5-6-7 Beyoğlu 80070 İstanbul

Tel: (0-212) 293 34 44 (5 Hat) Faks: (0-212) 293 34 49

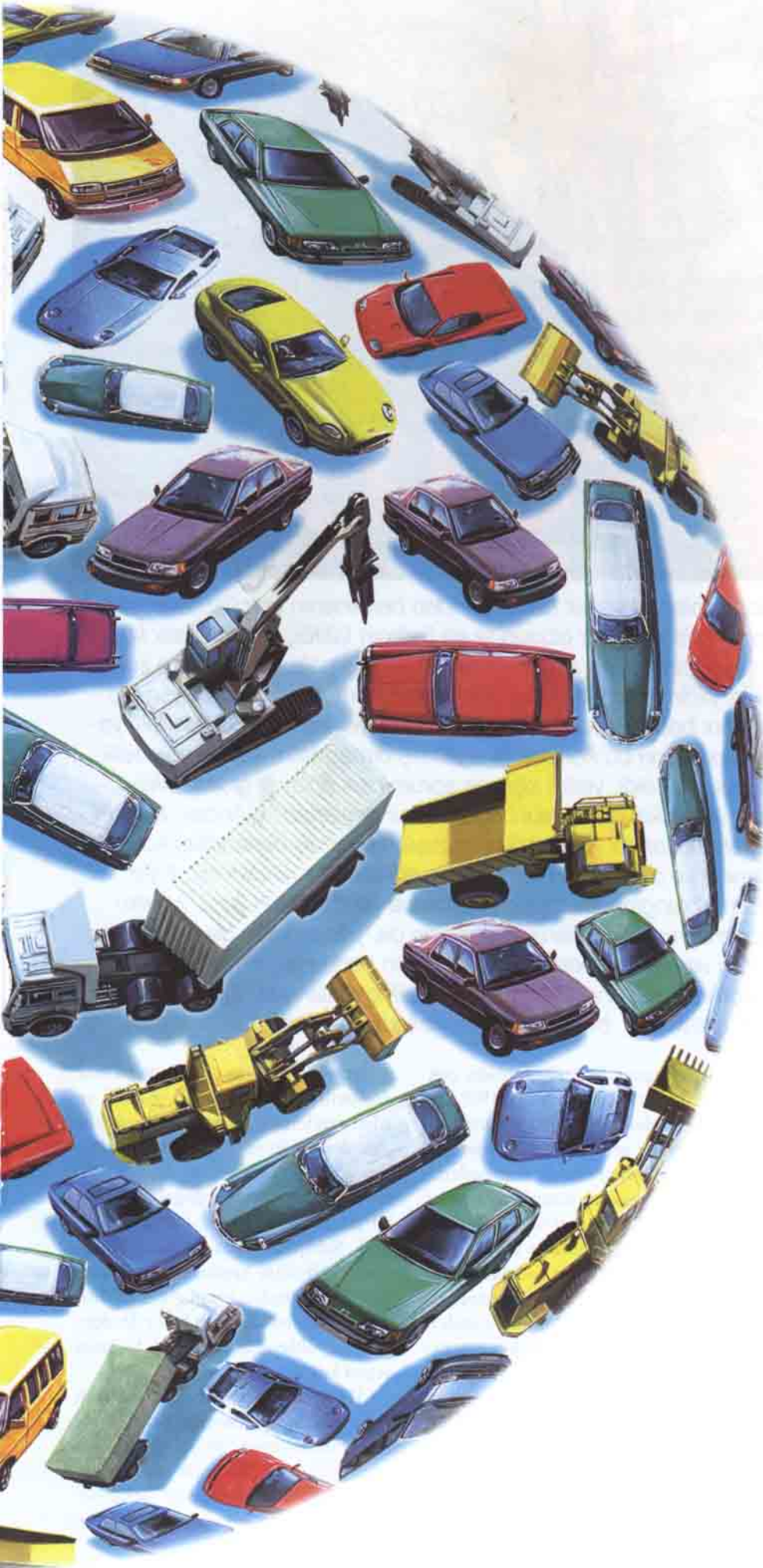
Ankara Temsilciliği: VakıfBank Finans Market Tunali Hilmi Caddesi

No: 75 Kavaklıdere 06700 Ankara Tel: (0-312) 468 83 70 (6 Hat)

(0-312) 427 56 16 Faks: (0-312) 427 56 07

İzmir Temsilciliği: Atatürk Caddesi No: 40 Kat: 3 Birsani Han Konak 35210

İzmir Tel: (0-232) 445 99 18 - 445 93 10 Faks: (0-232) 445 98 94



Daha modern, daha büyük, daha fazla... Aklınıza gelebilecek her türlü iş ya da yatırım aracı var leasing dünyasında... Vakıf Deniz Leasing dünyasında... Miktarı, boyutları ve fiyatı ne olursa olsun, otomotivden inşaat sektörüne, hava ve deniz taşımacılığında bilgi işlem sistemlerine kadar ihtiyaç duyduğunuz her türlü iş ya da yatırım araçlarının finansmanını Vakıf Deniz Leasing sağlıyor. Yurt içi ya da yurt dışında olması Vakıf Deniz Leasing için hiç önemli değil. Size uygun modeli ve ödeme koşullarını belirleyin, bütçenizi zorlamadan, leasing yöntemi ile dilediğiniz ekipmana sahip olun. **Zaman kaybetmeden Vakıf Deniz Leasing'le tanışın, leasing dünyasının olanaklarından kolayca yararlanın.**

VAKIF DENİZ
LEASING
VAKIF DENİZ FİNANSAL KİRALAMA A.Ş.