

## RÜZGÂR ENERJİ SANTRALLERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ VE AÇIK DENİZ RÜZGÂR ENERJİ SANTRALLERİNİN TİPLERİ

Ahmet Selim KOCATÜRK, Yalçın ÜNSAN\*  
\*İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi

### ÖZET

Bu çalışmada rüzgâr enerji santrallerinin tarihsel gelişiminden başlayarak Açık Deniz Rüzgâr Enerji Santralleri (ADRES) tiplerinin tanıtımı yapılmıştır. ADRES'lerin 100 e yakın çeşitleri içinde nasıl tasnif edildiği ile ilgili bilgi verilmiştir. Ayrıca hangi derinlikte ne tür sistem seçileceği ile ilgili basit bir diyagram sunulmuş olup, gelecekle ilgili beklentiler sonuç bölümünde sunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Açık Deniz Rüzgâr Enerji Santralleri.

### 1. Giriş

Dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen önem gün geçtikçe artmaktadır. Yenilenebilir enerji, sürekli kullanılabilen ve aynı zamanda kısa sürede yerine konulabilen enerjidir. Son yıllarda birçok ülkenin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesiyle birlikte rüzgâr enerjisinin önemi de artmıştır. Özellikle ADRES kullanımı 2000'li yılların başından itibaren çok büyük bir gelişim göstermiştir. ADRES ilk olarak Danimarka'da 1991 yılında kurulmuş ve sonraki yıllarda diğer Kuzey Avrupa ülkelerinde de kurulmaya devam etmiştir. Özellikle İngiltere, ADRES e büyük yatırımlar yapmıştır. Şu an dünyada ADRES kurulu gücünün yaklaşık yarısı İngiltere'ye aittir. Avrupa dışındaki tek ADRES çiftliği Çin'de bulunmaktayken ABD'nin bu konuda çeşitli projeler geliştirdiği bilinmektedir. Günümüzde birçok ülke bu teknoloji üzerinde çalışmalar yapmaktadır [1].

Avrupa Birliği 2020 yılında tüketilen toplam enerjinin %20'sinin yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmasını hedef koymuştur. Avrupa Birliği ülkelerinin bu hedefe ilerlerken en çok kullandıkları yenilenebilir enerji kaynağı Rüzgâr Enerji Santralleri (RES) dir. Avrupa Rüzgâr Enerjisi Birliği (EWEA), 2030 yılında ADRES'den üretilen elektriğin karada üretilenlerle aynı seviyelerde olacağını öngörmektedir. EWEA ve Dünya Rüzgâr Enerjisi Birliği (WWEA), ADRES ile ilgili çok büyük araştırmalar ve çalışmalar yapmaktadır. Adı geçen kurumların yayınlamış oldukları haberler ve makaleler aracılığıyla gelişen teknolojileri, güncel bilgileri ya da geleceğe dair öngörülerini takip etmek mümkündür [2].

Rüzgâr enerjisinin yaygınlaşmasıyla birlikte dünya genelinde CO<sub>2</sub> emisyonlarında büyük bir azalma görülecektir. Avrupa Birliği'nin Kyoto Sözleşmesi'nde yer alan CO<sub>2</sub> emisyonunun azaltılmasına yönelik hedefinde, enerji sektörü önemli bir rol üstlenmiştir. EWEA'nın 2020 yılı için öngördüğü 40 GW açık deniz rüzgâr enerjisi kurulu gücüne ulaşılması durumunda 102 milyon ton, 2030 yılı için öngördüğü 150 GW kapasiteye ulaşılması durumunda ise 315 milyon ton CO<sub>2</sub> emisyonunda azalma görülecektir. Sadece ADRES sayesinde Kyoto Sözleşmesi'nde yer alan CO<sub>2</sub> yayılımı hedefinin % 30'u sağlanacaktır [2].

ADRES in kurulacakları yerler seçilirken göz önünde bulundurulması gereken çeşitli parametreler bulunmaktadır. Kurulacak yerde rüzgâr hızının yüksek ve daimi olması gerektiği gibi o yerin su derinliğinin ve kıyıya olan mesafesinin düşük olması tercih edilir. Su derinliğinin artışı temel için yapılan masrafları artırırken, kıyıya olan mesafenin artışı kablo bağlantısı için yapılan masrafları artırır [2].

## 2. Rüzgâr Enerji Santrallerinin Tarihsel Gelişimi

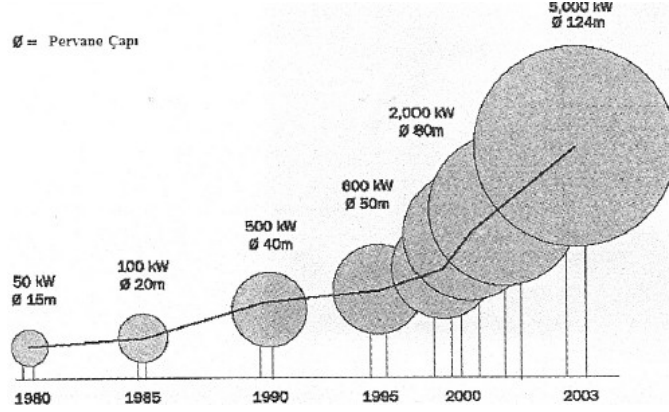
Rüzgâr kelimesinin meteorolojideki anlamı basit olarak hareket eden havadır. İlk insanlar rüzgârın kaynağının nereden geldiğini bilmeseler de onu günlük hayatlarında kullanmışlardır. Bu alanda ilk uygulamalar, tahıl öğütme ve yelkenli gemilerin yözdürülmesi ile başlamıştır. Eski Yunanlılar ve onların ardından Romalılar yelkenli gemilerini yözdürmek için rüzgâr gücünü kullanmış olmalarına rağmen, farklı alanlarda bu güçten faydalanmamışlardır. Dairesel hareketli yel değirmenlerinden yararlanma İran, Pakistan, Afganistan, Doğu Asya ve Çin gibi Orta ve Doğu Asya toplumlarında görülmüştür [1].

İnsanlar, milattan önceki yıllarda bile rüzgâr enerjisini, düşük seviyelerdeki suların daha yükseğe çıkarılmasında ve buğday öğütülmesinde kullanmışlardır. Rüzgâr enerjisinin toplum tarafından kullanımı Batı Medeniyetlerinde başladığı sanılsa da ilk olarak Doğu Medeniyetlerinden Çin, Tibet, Hindistan ve İran'da kullanıldığı bilinmektedir. Örneğin İran'da bulunan yel değirmenleri Haçlı Seferleri'nin ardından Batı'ya geçmiştir. M.Ö. 200'lü yıllarda yatay eksenli yel değirmenlerinin kullanımı ile ilgili yazılı bilgiler bulunmuştur. Buna ek olarak M.Ö. 700 yıllarında İranlıların da düşey eksenli yel değirmenleri kullanıldığı somut kanıtlar eşliğinde bilinmektedir. Tarihçiler ayrıca M.Ö. 1700'lü yıllarda Babililer'in Mezopotamya civarında sulama amaçlı yel değirmenlerinin kullanıldığını belirtmektedirler. Rüzgâr gücünün kullanımı Asya'dan Avrupa'ya 10. Yüzyıl civarında geçmiştir ve bu geçişin ilk belirtileri olarak İngiltere'deki yel değirmenleri gösterilebilir. 1190'lı yıllarda Alman Haçlıları yel değirmenlerini Suriye'den ülkelerine götürmüşlerdir [1].

Endüstri devrimi ardından 18. Yüzyılda buhar makinelerinin ortaya çıkması ile birlikte dünya genelinde termodinamik karakteristikli makinelerden yararlanarak enerji temin edilmeye başlanmıştır. Özellikle petrol, gaz, kömür gibi fosil yakıtların kullanımı, istenildiği zaman enerji kaynağı olarak kullanılabilirdikleri için bu makineler çok avantajlı hale gelmiştir [1].

Günümüzde ise rüzgâr enerjisi kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bunun temel nedenleri arasında, hammadde gerektirmemesi ve işletme giderlerinin çok düşük seviyelerde olması yatmaktadır. Rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretimi ilk olarak Danimarka'da başlamıştır. 1897 yılında Danimarkalı meteorolog Paul La Cour, ilk kez elektrik üretim amaçlı 89 Watt gücündeki rüzgâr enerji santralini yapmıştır. Danimarka'da 1940 – 1950'li yıllar boyunca F.L. Smidth adlı mühendislik firması 2 ve 3 kanatlı rüzgâr enerji santralleri yapmışlardır. Ancak bu santraller doğru akım (DC) ile çalışan rüzgâr enerji santralleridir. İlk alternatif akım (AC) ile çalışan rüzgâr enerji santralini ise Paul La Cour'un öğrencilerinden Johannes Juul tarafından geliştirilmiştir. Modern rüzgâr enerji santrallerinin öncüsü niteliğinde olan 200 kW kurulu güce sahip Gedser rüzgâr enerji santralini, 1956 yılında Danimarka'nın güneyinde çalışmaya başlamış olup 11 yıl boyunca bakım yapılmadan çalışmıştır. 1970'li yıllara kadar rüzgâr enerjisi teknolojisinde önemli fazla bir gelişme olmamıştır. 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi ve 1980'li yıllardan itibaren artan çevre bilinci ile birlikte yeni enerji kaynaklarının aranmasına sebep olmuştur. Bu yıllardan itibaren rüzgâr enerji santrali kurulu gücünün ve pervane çapının

gelişimine önem verilmiştir. Özellikle 1995 yılından sonraki gelişim büyük dikkat çekmektedir. Bu yıllarda KW mertebelerinde olan rüzgâr enerji santrali yerlerini MW mertebelerindeki rüzgâr enerji santrallerine devretmiştir. Günümüzde 6 MW güce sahip rüzgâr enerji santralleri bulunmaktadır. Kurulu güç ile beraber rüzgâr santrallerinin pervane çapları da dikkat çekici bir şekilde artış göstermektedir. Şekil 1.'de görüldüğü gibi 1980'li yıllarda pervane çapları 20 m civarındayken 2000'li yıllarda 100 m'ye ulaşmış olup, günümüzde 150 m çapında pervaneye sahip rüzgâr enerji santralleri mevcuttur [1].



Şekil 1. Rüzgâr enerji santrallerinin pervane çapları ve güçlerinin yıllara göre dağılımı [1]

1990'lı yıllarda ise ADRES'ler üzerinde çalışmalar ve yatırımlar başlamıştır. Deniz üzerinde rüzgârdan daha yüksek oranlarda faydalandığı bilindiğinden 1990 yılında ilk kez test amaçlı ADRES Norveç'te Nogensund'da kurulmuştur. Daha sonra 1991 yılında ilk ticari ADRES çiftlikleri kurulmuştur. Danimarka'nın Vindeby bölgesinde 11 adet kurulmuş olup bunların her biri 450 kW güç üretmektedir. 2000'li yıllarda rüzgâr enerjisine yönelimin artmasıyla birlikte karalarda rüzgâr enerjisi üretimi için verimli yerlerin azalması, rüzgâr hızının yüksek olduğu yerlerde ise ulaşım zorluklarından kaynaklanan bakım-tutum ve onarım maliyetlerinin artması, bu yıllarda o ADRES'e yönelimi hızlandırmıştır. Özellikle Kuzey Denizi civarındaki ülkeler olan Danimarka, Almanya, Hollanda ve İngiltere'de ADRES'lerin kurulmasına başlanmıştır [1].

2009 yılında yüzer ADRES olarak bilinen 'floating wind turbines' ilk kez prototip olarak Hywind, Norveç'te kurulmuştur. Karadan 10 km açıklıkta ve 200 metre derinlikte yer alan bu yüzer ADRES 2,3 MW güç üretmektedir. Bu gelişme daha derin sularda da rüzgâr çiftliklerinin kurulmasına olanak sunmaktadır [3].

Avrupa'da kurulmasına başlanan ADRES çiftliklerine ilgi her geçen gün artmakta olup dünyanın birçok farklı bölgesinde bu projelere rastlamak mümkündür. Son yıllarda dünyanın önde gelen rüzgâr enerji santralleri üretici firmaları bile yeni tasarımlarını daha çok ADRES amaçlı yapmaktadır [3].

### 3. Deniz Üstündeki Rüzgâr Santralleri (ADRES) (Sabit)

1990'lı yılların başından itibaren kullanımına başlanan ADRES'ler, 2000'li yıllarda Kuzey Denizi ülkelerinin önderliğinde önemli bir gelişim göstermiştir. Tamamı Avrupa'da hizmet veren ADRES'lerle birlikte yapımı devam eden projelerin toplamında 4.000 MW kurulu güce ulaşılabacaktır. Avrupa Birliği'nin tahminleri doğrultusunda, Avrupa'da 2020 yılı sonunda toplamda 40.000 MW kurulu güce ulaşılması beklenmektedir. Avrupa'da yaşanan bu gelişmelerin ardından Çin'de ve Kuzey Amerika'da da ADRES çiftlikleri projelerine başlanmıştır [2].

Herhangi bir yerde ADRES yapılabilmesi için aşağıdaki parametrelere dikkat etmek gerekmektedir;

- Rüzgâr potansiyeli,
- Kıyıya olan mesafe,
- Deniz derinliği,
- Deniz trafiği,
- Askeri kullanım,
- Balıkçılık,
- Doğal kullanım,
- Boru hatları ve kablolar.

#### 3.1. Deniz Üstündeki Rüzgâr Özellikleri

Deniz üzerinde esen rüzgârın kendine has bazı özellikleri bulunmaktadır. En önemli özelliği, deniz üstünde rüzgâr hızının, kara üzerindeki daha yüksek olmasıdır. Yapılan araştırmaların sonucunda deniz üstü rüzgâr hızının en yakın kara parçasından % 20-25 civarında daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Buna ek olarak deniz üzerindeki yüzey pürüzlülüğü kara üzerindeki daha düşük olmasından dolayı, rüzgâr akışının türbülans yoğunluğu da düşüktür. Türbülansın düşük olması da rüzgâr enerji santrallerindeki yorulmanın daha düşük olması anlamına gelir [1,2].

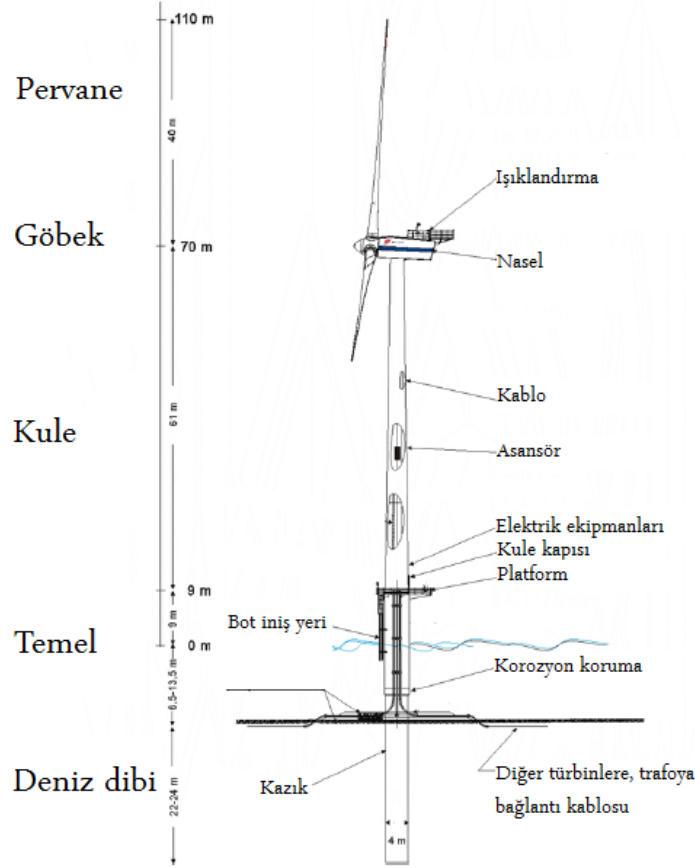
#### 3.2. ADRES Özellikleri

Avrupa ülkelerinin ADRES'e geçmelerinde, karadaki rüzgâr için verimli yerlerin azlığı, rüzgârın verimli olduğu yerlerde ise bu bölgelere ulaşım, bakım ve onarım zorlukları gibi sebepler etkili olmuştur. Bunların yanı sıra, deniz üstünde rüzgâr hızının karaya oranla daha yüksek olmasından ötürü ADRES'de daha fazla enerji elde ediliyor olması da ADRES'in tercih edilmesinde çok büyük bir öneme sahiptir. Son yıllarda Çin ve ABD gibi ülkeler de bu projelere başlamış hatta Çin'de 102 MW kurulu gücünde ADRES çiftliği kurulmuştur [1-3].

ADRES'in tek avantajı daha yüksek oranda enerji elde edilmesi değildir. Karadaki rüzgâr enerji santrallerinden çok büyük bir gürültü duyulurken ADRES'den gelen tiz sesi mesafeden ötürü karadan duymak mümkün değildir. Aynı zamanda karadaki rüzgâr enerji santralleri görselliği büyük oranda bozmaktayken deniz üstündekilerin görselliğe etkileri daha azdır [5].

ADRES'ler temel olarak nasel, göbek ve pervane kanatları parçalarından oluşur. Şekil 2.'de görüldüğü gibi türbin, kule ve temel ile desteklenir. ADRES'lerde ilk yıllarda onshore (kıyı) tasarımlarında ufak değişiklik yapılarak tasarlanmış olursa da günümüzde offshore (açık deniz) için özel tasarımlar yapılmaktadır. Hatta rüzgâr enerji santrallerini üretici firmaları artık

tasarımlarını daha çok açık deniz amaçlı yapmaktadır. Yeni nesil rüzgâr enerji santrallerinin kanat çapları 80-154 metre, kule yükseklikleri ise 60-105 metre civarındadır. ADRES’de karadaki sistemlerden en önemli fark korozyon korumasıdır. İklim şartlarının deniz üstündeki farklılıkları, tasarımda bazı değişikliklere sebep olmaktadır. Deniz ortamında bulunan tuz ve sudan ötürü ADRES’de etkin bir koruma zorunludur. Dolayısıyla rüzgâr enerji santrallerinin yüzeyleri uygun boyalar kullanılarak ve aktif katotlar ile korunmalıdır [1,3,5,6].



Şekil 2. ADRES'in genel yapısı [5]

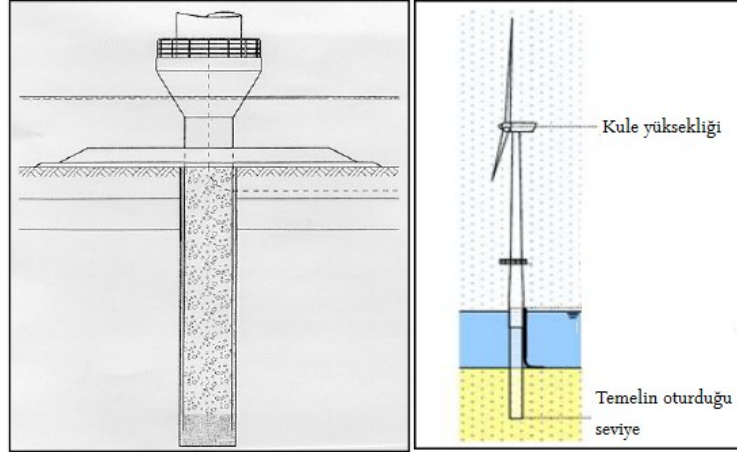
### 3.2.1. Kule ve Temel

ADRES'ler genellikle silindirik içi boş kuleden oluşmakta olup deniz seviyesinden yükseklikleri 105 metreye kadar ulaşmıştır. Çok az rastlansa da kafes tipi kuleler de kullanılmaktadır. Kuleler, geçiş elemanları kullanılarak temele monte edilir [1].

Kulelerin monte edildiği temellerin tasarımlarını belirleyen çeşitli parametreler vardır. Bunlardan bazıları, maksimum rüzgâr hızı, su derinliği, dalga yüksekliği, akıntı, tuzluluk oranı olarak gösterilebilir. Bu zamana kadar yapılan projelerde daha çok monopil ve yerçekimi merkezli temeller kullanılsa da derinliğin çok olduğu ya da karmaşıklıkların bulunduğu bazı yeni projelerde tripod, tripil, jacket gibi çeşitli temeller kullanılmaya başlanmıştır [3].

### 3.2.1.1. Monopil Temel

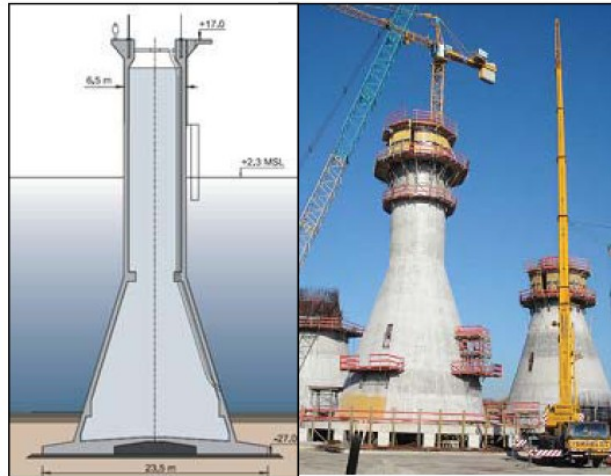
Monopil temeller düşük maliyeti, basitliği ve sığ sulara (20 metreden düşük) uygunluğu gibi nedenlerden ötürü ADRES projelerinde en çok kullanılan tasarımlardır. Monopil temel, 500 tona yaklaşan ağırlığı ve 5,1 metreyi bulan çapıyla diğer temel tasarımlarından daha kolay bir şekilde üretilir. Fakat derin sularda, dalgaların şiddetli olduğu ya da türbin boyutlarının büyük olduğu durumlarda tercih edilmezler. Şekil 3.'de monopil temelin yapısı görülmektedir [3].



Şekil 3. Monopil temel [3]

### 3.2.1.2. Yerçekimi Merkezli Temel

Monopilin bir alternatifi olarak kullanılan yerçekimi merkezli temeller de piyasada yaygın olarak kullanılır. Bunlar da genellikle sığ sularda uygulanır. Günümüzde 29 metre derinlikteki sularda uygulanması da mümkün hale gelmiştir. Yerde kapladığı alanın genişliği ve ağırlıklarının çokluğu sayesinde akıntıların ve dalgaların ADRES'e etki eden kuvvetlerine karşı koyabilmektedir. Yere gömüldükten sonra içleri ağırlıklarla doldurularak yeterli teknik özelliklere sahip olurlar. Yerçekimi merkezli temellerin ağırlıkları 7.000 tonu bulmaktadır. Şekil 4.'de tipik bir yerçekimi merkezli temel görülmektedir [3].



Şekil 4. Yerçekimi merkezli temel [3]

### 3.2.1.3. Jacket Tipi Temel

Jacket tipi temel aslında petrol ve gaz endüstrisinde kullanılan açık deniz uygulamalarında kullanılsa da ADRES uygulamalarında da kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzdeki örnekleri 4 yüzeyli olup, uzay kafes yapısından oluşur. Yüksek güçlü türbinleri (5 MW) destekleyebilme ve 40 metreden daha derin sularda çalıştırabilme özelliği bulunur. Monopil temelden daha geniş en kesiti olduğu için dalgadan ve akıntıdan gelen yüklerden oluşan momentlere karşı dayanıklıdır. Şekil 5.'de gösterilen jacket tipi temelin ağırlığı geometrisinden ötürü daha düşüktür. Yaklaşık 600 ton civarındadırlar [3]. Tasarımı daha karmaşık gibi görünse de petrol ve gaz endüstrisinde uzun zamandan beri kullanıldığı için kolay anlaşılır bir uygulamadır. Jacket tipi temellerin önümüzdeki yıllarda özellikle derin sularda çok fazla kullanılır hale gelmesi beklenmektedir [3].



Şekil 5. Jacket Tipi Temel [3]

### 3.2.1.4. Tripod Temel

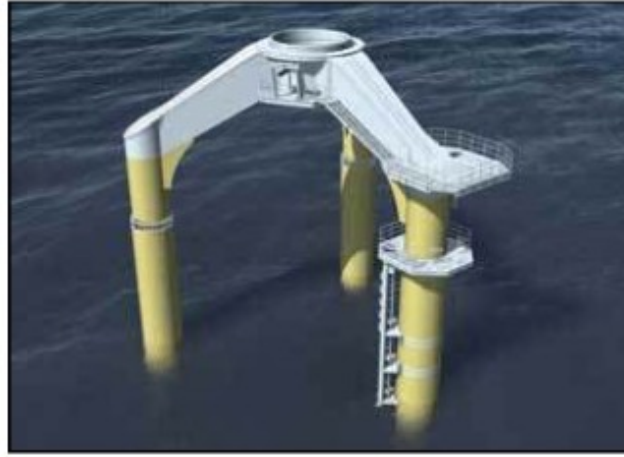
Monopil temelden yola çıkılarak yapılan bu tasarımda temel 3 ayaküstüne oturtulmuştur. Şekil 6. 'da görüldüğü gibi 3 ayaklı olmasından dolayı dalga ve akıntıdan kaynaklanan momentlere karşı çok dayanıklıdır. Tripod temellerin de tasarımı jacket tipi temellerdeki gibi karmaşıktır. Üretimleri uzun zaman alır ve bu temeller jacket temellerden daha ağırlardır [3].



Şekil 6. Tripod temel [3]

### 3.2.1.5. Tripil Temel

Tripil temel bu endüstride yeni kullanılmaya başlanan bir temel tipidir. 3 ayaktan oluşan bu temelde ayaklar su yüzeyine kadar çıkar ve su yüzeyinin hemen üstünde birleşirler. Şekil 7.'de görülen tripil temel yüksek dayanıklılığıyla 50 metreye varan su derinliklerinde dahi uygulanabilmektedir [3].



Şekil 7. Tripil temel [3]

### 3.2.2. Elektrik Sistemi ve Donatım

ADRES'lerden üretilen elektrik enerjisinin merkeze iletimi çeşitli aşamalardan oluşur. Rüzgârdan elde edilen enerji öncelikle elektrik enerjisine dönüştürülür. Dönüştürülen elektrik enerjisi toplanarak iletim kablolarıyla karaya ulaştırılır. Karaya ulaşan elektrik enerjisi ise buradan ana trafoya ulaştırılır. Rüzgâr çiftliklerinin karaya olan mesafeleri burada önemli bir öneme sahiptir. Mesafe arttıkça sistem ve donatım masrafları da aynı oranda artış göstermektedir [3].

#### 3.2.2.1. Transformatörler

ADRES'ler için kullanılan dönüştürücüler karada kullanılanlardan farklılık gösterir. Karadakilerde olduğu gibi yerin üstüne konmaz. Kulenin üstüne ya da türbinin hemen altına konulur. Her bir transformatör türbinden elde edilen enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür [3].

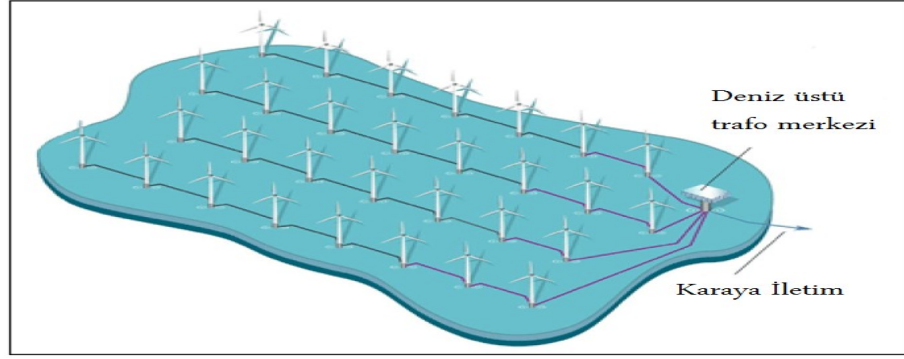
#### 3.2.2.2. Toplama Sistemi

Toplama sisteminde sualtı iletken kablolar aracılığıyla transformatörlerden elektrik enerjisi toplanır. Şekil 8.'de görüldüğü gibi her bir türbin birbirine bağlanarak deniz üstündeki trafoya gitmeden önce birleşir. Bu tasarımdaki amaç kablo maliyetini düşürmektir [3].

#### 3.2.2.3. Deniz Üstü Trafo Merkezi

Toplama sisteminden gelen her bir kablo burada bir araya gelir ve buradan karaya gönderilir. Deniz üstü trafoların boyutları projeye ve projenin enerji kapasitesine göre değişiklikler gösterir. Toplama sisteminden gelen orta gerilim, burada iletim sistemindeki yüksek gerilime çevrilir [3].





Şekil 8. İdeal enerji toplama sistemi [3]

#### 3.2.2.4. Karaya İletim

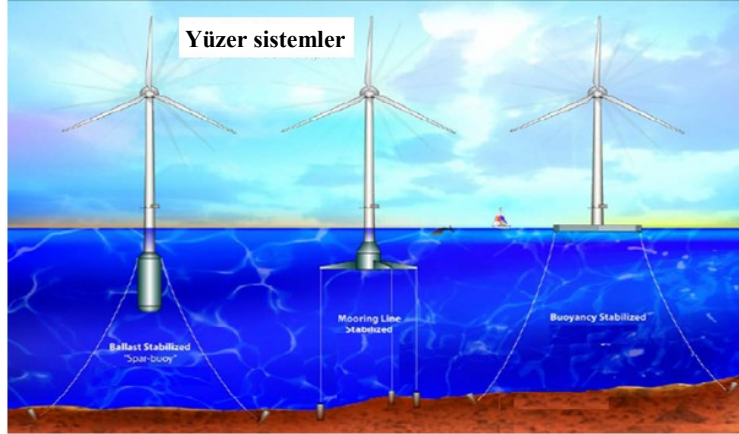
İletim kabloları karaya uygun voltajda ve güç oranında gelir. Kabloların boyutları projelerin kapasitelerine ve iletilecek gücün miktarına göre değişir. Karaya ulaşan elektrik gücü, uygun trafo merkezine gönderilir [3].

#### 4. Deniz Üstündeki Rüzgâr Santralleri (ADRES) (Floating-Yüzer)

ADRES’lerde yaşanan gelişmelerin sonucunda yüzer anlamındaki floating sistemler ortaya çıkmıştır. Bu sistemlerin en büyük avantajı rüzgâr hızının yüksek olduğu yerlerde su derinliğinin fazla bir önemi kalmamasıdır. Burada kuleyi yere oturtmak için temellerin kullanılmasına gerek yoktur. Temel yerine halat veya zincirler kullanılır ve kule yere bağlanır. Şekil 9.’da tipik yüzer sistemler görülmektedir. ADRES çiftlikleri kurulurken su derinliğinin artışı, maliyetin de aynı oranda artmasına sebep olurken, yüzer sistemlerde bunun önüne geçilmiştir. Prototip olarak yapılan dünyanın ilk yüzer ADRES’i 2009 yılında 2,3 MW gücünde Hywind, Norveç’te yapılmıştır. Kıyıya olan mesafesi yaklaşık 10 km ve su derinliği 200 metre civarındadır. Ayrıca bu sistemlerin uygulanması sonucunda rüzgârdan çok büyük bir verim alınması hedeflenmiştir. Rüzgârın estiği yöne bağlı olarak bu türbinler dişi sistemiyle bir doğrultu üzerinde her iki yöne de hareket ederek rüzgârdan en verimli şekilde faydalanılması mümkün hale gelmiştir. Bu sistemlerin en büyük avantajı görsel kirliliğe neden olmamasıdır. Kıyıdan uzaklıkları en az 10-15 km civarında oldukları için ADRES’i görmek mümkün değildir [7].

Bu tür yapılarda denge en önemli faktördür. Dengeyi sağlamak için aşağıdaki üç sistem en çok kullanılan sistemlerdir;

- Balastlı Dengeleyici Sistemler; Bu tür sistemlerde platformda balast ağırlığı kullanarak doğrultma momenti yaratılır ve bu doğrultma momenti ile birlikte platformun dengeye ulaşması sağlanır [7].
- Mooring Line Dengeleyici Sistemler; Bu sistemlerde ise gerilmiş halatlar kullanılarak ADRES’in dengeye ulaşması sağlanır. [7].
- Sephiye Dengeleyici Sistemler; Platformların, kaldırma kuvvetinin etkisiyle dengeye ulaşılması amaçlanır. Su yüzeyindeki alanın sağlamış olduğu doğrultma momenti sayesinde denge sağlanır [7].



Şekil 9. Tipik yüzer sistemler [7]

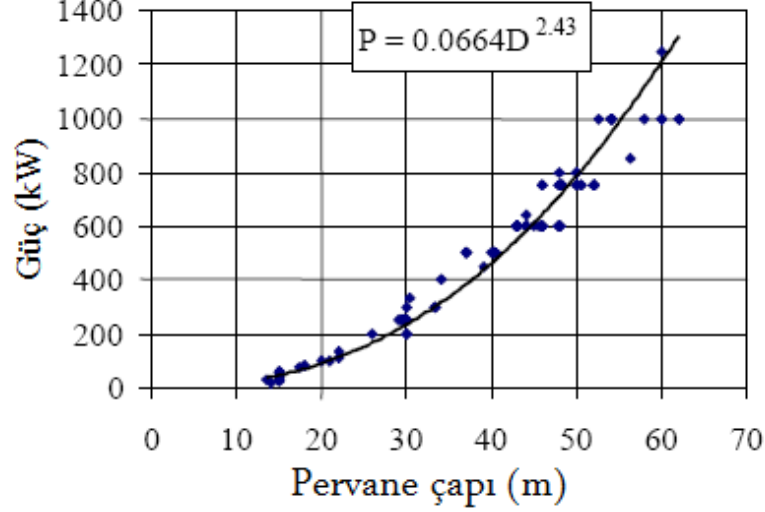
## 5. ADRES TİPİNİN SEÇİM KRİTERLERİ

30 KW üstündeki ADRES tasarımlarını ele alındığında 100'e yakın sayıda tasarım olduğu görülmektedir. Bu tasarımlar farklı boyutlarda ya da farklı üretici firmalar tarafından üretilmiş olsa da birbirleri arasında ilişkiler kurabilmekte, bazı özellikleri ile ilgili öngörülerde bulunmak mümkün olabilmektedir. Bu ilişkileri kurarken bazı benzerliklerden faydalanılır [8]. Bunlardan bazıları;

- Geometrik benzerlik: Geometrik benzerlikle, hacim, ağırlık ya da çeşitli öğelerin maliyetleri hakkında öngörülerde bulunulabilir.
- Parametrik benzerlik: Benzer tasarımdaki ürünlerde çeşitli parametreler vardır ve bunlardan bazıları tasarımlarda çok önemli bir yere sahiptir. Örneğin, türbin pervanesi kanat ucu hızı, kule ağırlığını ve ADRES'in maliyetini direkt olarak etkileyen anahtar parametrelerden biridir. Buna ek olarak, güç-çap oranları ve kule yüksekliği-çap oranları ağırlığı ve maliyeti etkileyen parametrelerdir.
- Görev benzerliği: Makine tasarımları, ağırlıklar ve maliyetler tasarım sınıfı farklılıklarından etkilenirler.
- Gelişmiş tasarımlar: En son yapılan ADRES'ler, üretici firmaların en üst seviyede bilgiye sahip olmalarından ötürü ağırlıkları ve maliyetleri aza indirebilmeyi başarmışlardır.

### 5.1. Güç Oranı

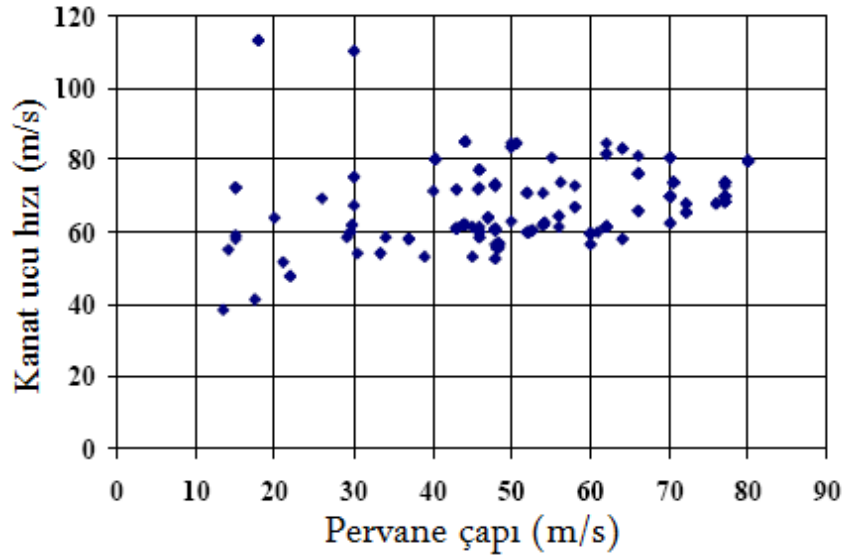
Çeşitli ADRES çeşitlerinden yola çıkarak Şekil 10.'daki eğri elde edilmiştir. Görüldüğü gibi pervane çapı arttıkça üretilen güç üstel olarak artış göstermektedir.



Şekil 10. ADRES'lerde güç-pervane ilişkisi [8]

### 5.2. Kanat Ucu Hızı

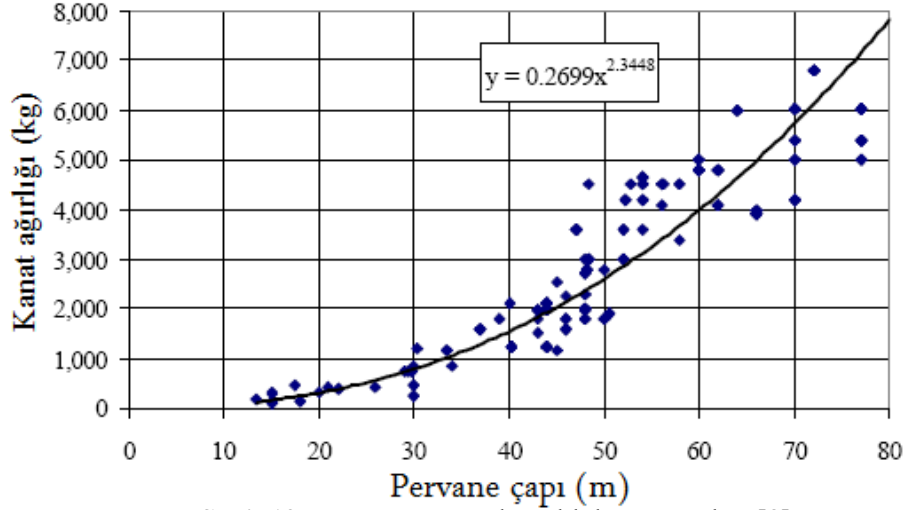
Kanat ucu hızı, karalardaki akustik gürültü sebebiyle nispeten sabit bir eğriye sahiptir. Kanat ucu tasarımında aerodinamik verimi yüksek tutmaya çalışılırken aynı zamanda gürültüyü düşük tutmak gerekmektedir. Şekil 11.'de görüldüğü gibi kanat ucu hızı sabit bir görünüme sahiptir.



Şekil 11. Kanat ucu hızı dizaynı [8]

### 5.3. Kanat Ağırlığı

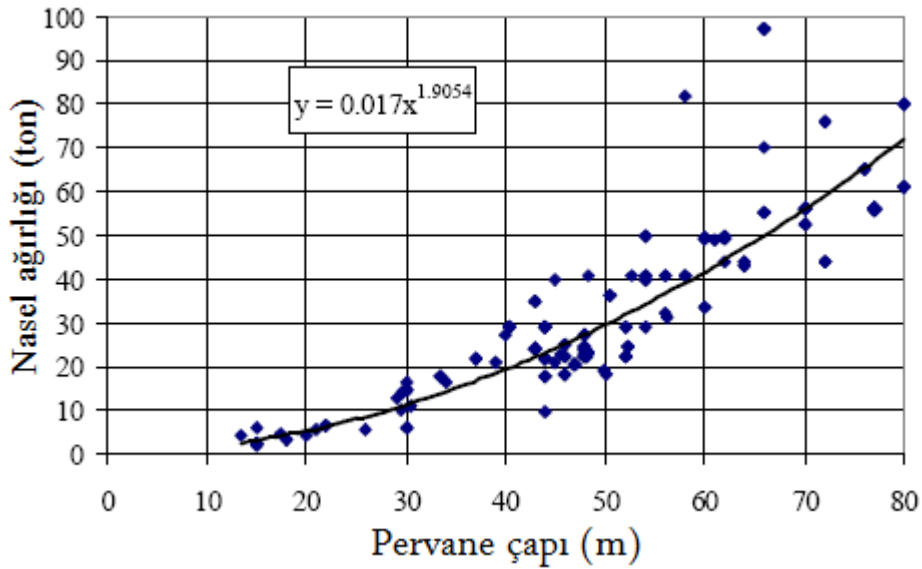
ADRES tasarımının en önemli aşamalarından biri kanat tasarımıdır. Kanat ağırlıkları da çapın artmasıyla orantılı olarak şekil 12.'de görüldüğü gibi üstel bir şekilde artış göstermektedir.



Şekil 12. Pervane çapına karşılık kanat ağırlığı [8]

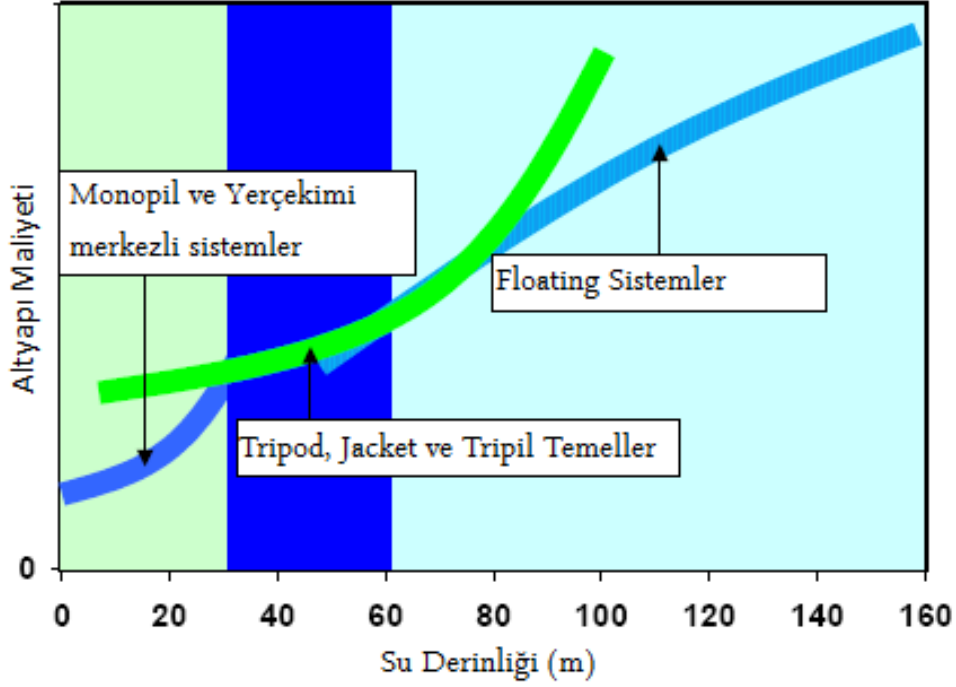
### 5.4. Nasel Ağırlığı

Nasel ağırlığında da kanat ağırlığının pervane çapına olan oranının sahip olduğu eğriye benzer bir eğri vardır. Şekil 13.'de görüldüğü gibi nasele ağırlığı, pervane çapıyla orantılı biçimde üstel bir artış göstermektedir.



Şekil 13. Pervane çapına karşılık nasele ağırlığı [8]

Şekil 14.'de farklı su derinliklerinde ne tür sistemlerin kullanılması gerektiği görülmektedir. ADRES'lerin yapımında maliyeti etkileyen en önemli parametrelerden birini su derinliği oluşturmaktadır.



Şekil 14. Su derinliğine göre uygun sistem [7]

ADRES'lerin kurulması istenen yerin fiziki şartlarına göre hangi sistemin kullanılacağı öncelikle belirlenmelidir. Sığ sularda en çok kullanılan temel tipleri, monopil ve yerçekimi merkezli temellerdir. Bu temellerin kullanılmasının sebebi üretiminin kolay ve ucuz olmasıdır. Yerleştirildiklerinde ise gerekli dayanıklılık sınırlarını sağlamaktadırlar. Ancak su derinliğinin yüksek olduğu yerlerde bu temeller gerekli dayanıklılıkları sağlayamazlar. Dolayısıyla derin sularda tripod, jacket ve tripil temeller kullanılır. Bu temellerin üretimleri nispeten biraz daha pahalı ve karmaşıktır. Açık denizlerde ise yüzer sistemler (floating systems) kullanılmaktadır [7].

## 6. Sonuç

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik ilgi artmaktayken, rüzgâr enerjisi bu kaynaklar arasında önemli bir yer tutmaktadır. ADRES ile elektrik üretimi, veriminin yüksek olması dolayısıyla ön plana çıkmaktadır. Yapılan çalışmalarda, özellikle Kuzey Avrupa ülkelerinin önderliğinde kurulumuna başlanan ADRES çiftliklerinin, ileriki yıllarda daha fazla tercih edileceği ve karadaki rüzgâr enerji santralleriyle aynı seviyelerde elektrik enerjisi üretir hale geleceği öngörülmektedir. Rüzgâr Enerji Santrali üreticisi firmaların, yeni tasarımlarını ADRES'lere yönelik olarak yapmaları, bu teknolojinin daha çok tercih edildiğinin ve ilerleyen yıllarda da gelişim kaydedeceğinin bir göstergesidir.

Türkiye'ye ait veriler incelendiğinde, ülkemizde ADRES'lerin kurulmasının önümüzdeki 15 sene içerisinde başlayacağını söylemek mümkündür. Bu günden itibaren ADRES'lerle ilgili gerçek araştırmalar, Deniz Teknolojileri Mühendisleri yönetiminde vakit kaybetmeden başlatılmalıdır. Unutulmamalıdır ki ADRES'ler yeni bir teknoloji olmasına rağmen şu anda 50 sene geridedir.

**Kaynaklar:**

KAYNAKLAR

- [1] Durak, M. ve Özer, S., 2007, Rüzgar Enerjisi: Teori ve Uygulama
- [2] EWEA, 2007, Delivering Offshore Wind Power in Europe: Policy Recommendations for Large Deployment of Offshore Wind Power in Europe by 2020
- [3] AWS Truewind, September 17, 2009, Offshore Wind Technology Overview
- [4] EEA Technical Report, No: 6, 2009, Europe's Onshore and Offshore Wind Energy Potential
- [5] Atlantic Renewable Energy Corporation, AWS Scientific, November 2004, New Jersey Offshore Wind Energy: Feasibility Study
- [6] [http://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/power-generation/renewables/wind-power/6\\_MW\\_Brochure\\_Jan.2012.pdf](http://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/power-generation/renewables/wind-power/6_MW_Brochure_Jan.2012.pdf), Erişim Tarihi: 12 Mayıs 2012.
- [7] S. Butterfield, W. Musial, J. Jonkman and P. Sclavounos, 2005, Engineering Challenges for Floating Offshore Wind Turbines, Copenhagen Offshore Wind Conference, Copenhagen, Denmark, October 26–28.
- [8] CA-OWEE, December 2001, Offshore Wind Energy: Ready to Power a Sustainable Europe
- [9] Türk Loydu, 2008, Rüzgar Türbinlerini Sertifikalandırma Esasları
- [10] WWEA, 2010, 9th World Wind Energy Conference and Exhibition Large Scale Integration of Wind Power, Istanbul, Turkey, June 15-17
- [11] EWEA, November 2011, Wind in our Sails: The Coming of Europe's Offshore Wind Energy Industry
- [12] <http://www.limitsizenerji.com/component/content/article/64-makaleler/437-tuerkye-elektrk-enerjs-htyacinin-karilanmasinda-ruezgar-enerjsnn-yer?directory=950>, Erişim Tarihi: 12 Mayıs 2012.