

YÜKSELEN HAVA AKIMLI RÜZGAR TÜRBİNLERİ

Özer KARA¹
okara@bornova.ege.edu.tr

Aydoğan ÖZDAMAR²
aozdamar@bornova.ege.edu.tr

Necdet ÖZBALTA²
nozbalta@bornova.ege.edu.tr

¹ Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, 35100 Bornova İZMİR.

² Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 35100 Bornova İZMİR.

ÖZET

Güneş enerjisi; çok uzun zamandan beri seralarda, güneş bacaları ile bina havalandırması ve soğutulmasında, rüzgar gülleriyle tahıl öğütme ve su pompalanmasında kullanılmaktadır. Bu üç kullanım şekli, Yükselen Hava Akımlı Rüzgar Türbinleri'nin (YHART) üç önemli yapı taşını oluşturur. YHART, güneş ve rüzgar enerjilerinin birlikte kullanıldıkları bir enerji dönüşüm sistemidir. Bir YHART sisteminin elemanları; cam çatılı toplayıcı, baca ve rüzgar türbinidir. Sistem; güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve güneşli hava ısıtıcıları teknolojilerini birleştirerek her üçünü aynı anda kullanan bir alt yapıya sahiptir.

Bu çalışmada; bu sistem ayrıntılı olarak anlatılmış, temel çalışma prensipleri irdelenmiştir. Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde yürütülen bir proje kapsamında ölçülmüş olan güneş ışınım şiddeti ve dış ortam sıcaklığı verileri kullanılarak, yükselen hava akımlı rüzgar türbini sisteminin tasarım parametreleri, oluşturulan bir matematiksel model yardımıyla irdelenmiş ve birim enerji maliyeti hesaplanarak, sistemin İzmir'e uygunluğu araştırılmıştır.

1. GİRİŞ

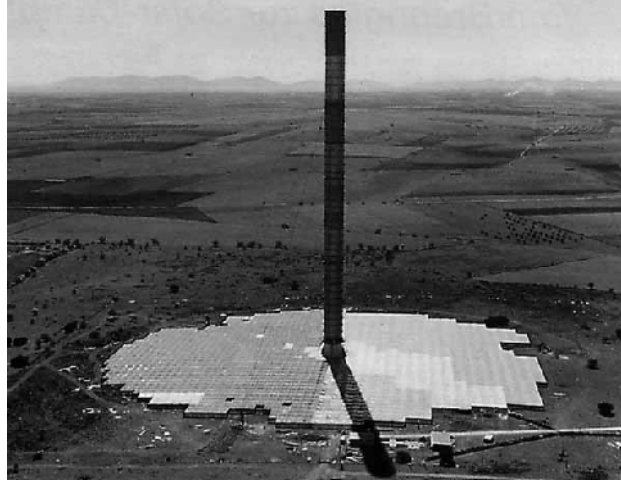
Günümüz enerji üretim teknolojileri, büyük oranda katı (kömür vs.) ve petrol kökenli yakıtların kullanımına dayalıdır. Bu teknolojiler, çevreye zararlı olmakla birlikte, yakın zamanda tükenen kaynakları kullanmaları sebebiyle, tüketime dayalı teknolojiler olarak görülmektedirler. Gelişmekte olan ülkelerin birçoğunda adı geçen bu enerji kaynakları, tek başlarına yeterli olmamaktadır. Nükleer bazlı enerji üretim teknolojileri ise, taşıdıkları riskler sebebiyle kullanılmamakta veya çok az kullanılmaktadır (Kara, 2000).

Bugünkü tüketim seviyeleri ve var olan kaynak miktarları düşünüldüğünde, (olası rezervler hariç) fosil kökenli enerji kaynaklarının, önümüzdeki yüz yıl içerisinde tükeneceği söylenebilmektedir. Bu olası sorunun çözümü, alternatif enerji kaynakları olarak da adlandırılan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımınıdır. Özellikle 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizinden itibaren, bu enerji kaynaklarına yönelik araştırma-geliştirme faaliyetlerinde ve bunların enerji kaynağı olarak kullanımında büyük bir artış gözlenmektedir. Hatta 2050'li yıllarda, dünya toplam enerji tüketiminin %50'sini, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin oluşturacağı tahmin edilmektedir (Özdamar, 2000).

YHART, yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi ve rüzgar enerjisinin bir arada kullanıldığı bir enerji dönüşüm sistemidir; ancak bu ikisini bir arada kullanılan sistemler, YHART ile sınırlı değildir (Kara, 2002).

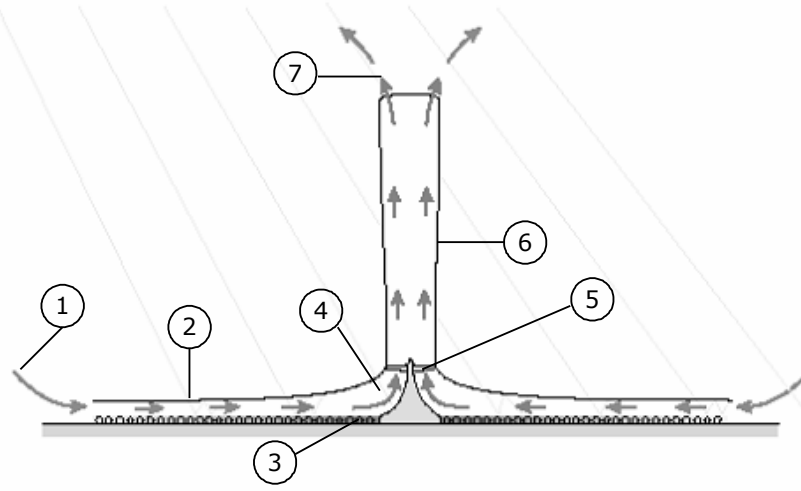
2. YÜKSELEN HAVA AKIMLI RÜZGAR TÜRBİNLERİ

Yenilenebilir enerji kaynakları, çok uzun zamandan beri çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Bunların içerisinde en çok uygulama alanı olanı, yeryüzündeki diğer tüm enerji kaynaklarının direkt veya dolaylı olarak türevi olduğu, güneş enerjisidir. Güneş enerjisinin kullanım şekilleri içerisinde en yaygın olanları seralar ve ısıtma-soğutma ve/veya havalandırma amaçlı güneş bacalarıdır. Güneş enerjisinin türevlerinden biri olan rüzgar enerjisi ise, rüzgar gülleri yardımıyla tahıl öğütme ve su pompalama amacıyla, aynı şekilde oldukça uzun zamandır kullanılmaktadır. İşte sözü edilen bu üç teknoloji, YHART sistemlerinin yapı taşlarını oluşturur. Şekil 1’de, bir YHART görülmektedir.



Şekil 1. Bir yükselen hava akımlı rüzgar türbini, Manzanares – İspanya (Schlaich, 1994) .

Çevresi açık, düz ve dairesel veya dairesel yakın formda bir cam çatının altında hava, güneş enerjili hava ısıtıcısının çalışma prensibine benzer bir şekilde, güneş ışınımı ile ısınır. Çatının ortasında, tabanında büyük hava açıklıkları bulunan düşey bir baca bulunur. Çatı, baca tabanından olması muhtemel hava kaçaklarını önlemek amacıyla yalıtılmıştır. Böylece sıcak hava, yoğunluğu soğuk havanınkinden daha düşük olduğundan, bacada yukarı doğru hareketlenir. Sıcak hava bacada yükselirken, soğuk hava cam çatının açık kesiminden içeriye doğru akar. Bu şekilde, güneş ışınımı bacada sürekli bir hava akımı yaratır. Bu sıcak havanın enerji içeriği, bacanın tabanına yerleştirilmiş bir rüzgar türbini yardımıyla mekanik enerjiye ve nihayet jeneratörlerle elektrik enerjisine dönüştürülür. Ayrıca cam çatının altına, toprağın üzerine bir enerji depolama sistemi (içi su dolu siyah borular, güneş havuzları vs.) yerleştirmek suretiyle, güneşin olmadığı gece saatleri ve bulutlu günlerde de elektrik üretimine devam edilebilmektedir (Kara, 2002). Böyle bir sistemin şematik resmi, Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. Bir YHART çalışma prensibi (Schlaich ve ark., <http://www.sbp.de>, 2003).
([1]:soğuk hava girişi; [2]:cam çatı; [3]:enerji depolama (içi su dolu siyah borular);
[4]:sıcak hava türbin girişi; [5]:türbin; [6]:baca; [7]:hava çıkış).

Basit fonksiyonellikleri yanında, yükselen hava akımlı rüzgar türbinlerinin diğer önemli avantajları, şu şekilde sıralanabilir:

- cam çatılı toplayıcı, güneş ışınımının tamamını kullanır (yayılı + direkt),
- toplayıcının tabanı, doğal bir enerji depolayıcı gibi davranır (gece de enerji üretimi devam eder),
- geleneksel güç sistemlerinden farklı olarak soğutma suyuna ihtiyaç yoktur,
- sistemde çok az sayıda hareketli parça bulunduğundan, diğer elektrik üretim sistemleri ile mukayese edildiğinde çok daha güvenlidir (Schlaich, 1994).

YHART, temel olarak üç kısımdan oluşur: (1) güneşli hava ısıtıcısı (toplayıcı), (2) baca, (3) türbin. Sistemin daha rahat anlaşılması, bu üç bileşenin ayrı ayrı incelenmesi ile mümkündür.

2.1 TOPLAYICI

YHART sistemlerinde, sistemin çalışmasını sağlayan sıcak hava, basit bir havalı toplayıcı prensibi ile çalışan, cam çatılı toplayıcıda elde edilir. Elde edilen sıcak hava, daha sonra yoğunluk azalması ve baca çekişi nedeniyle bacaya yönelecek ve baca ayağındaki türbin üzerinden akarak türbini çevirecek ve jeneratörde elektrik üretimi sağlayacaktır.

Tipik bir toplayıcı, camdan veya güneş geçirgen bir folyodan oluşmuştur ve yerden 2-6 m yüksekliktedir (Şekil 3). Cam örtü, güneş ışınımının kısa dalga boylu olanını geçirir, yerden yansıyan uzun dalga boylu olanını geçirmez. Böylece hava, toplayıcı içerisinde oluşan sera etkisi ile yerin veya yere yerleştirilmiş ısı depolayıcıların ısınması ve ısınıp havaya aktarması suretiyle ısınır. Toplayıcının ortasına yerleştirilen bacaya girişte, havanın düşey

doğrultudaki sürtünme kayıplarını azaltmak amacıyla toplayıcının yerden yüksekliği, girişte olduğundan daha fazla olacak şekilde tasarlanır.



Şekil 3. Toplayıcı içerisindeki görünüş (Schlaich, 1994).

Bu tipte bir toplayıcı, içeride akmakta olan havanın debisine bağlı olarak güneşten gelen enerjinin yaklaşık %70'ini, yıllık ortalama olarak da yaklaşık %50'sini ısı enerjisine dönüştürebilmektedir (Kara, 2002).

2.2 BACA

YHART sistemlerinde baca, sistemin gerçek ısı makinesidir. Sistemin bacası, optimum yüzey alanı-hacim oranı nedeniyle, hidrolik tesislerin basınç borularına benzerlik gösterecek şekilde, sürtünme ve diğer kayıpları oldukça düşük bir basınç borusudur (Şekil 4). YHART'nin "çölün (veya kuruldukları düz arazinin) hidrolik tesisleri" olarak adlandırılmasının sebebi budur.

Toplayıcıda ısınan hava, toplayıcı çıkışında direkt olarak bacaya giriş yapar. Baca girişinde sürtünme ve yön değiştirme kayıplarının olmaması için, baca girişine hava yönlendirme kanalları yerleştirilir. Bu sayede, bu kayıplar en aza indirilmiş olur.

Büyük çaplı bir tesiste, meteorolojik koşullara da bağlı olmak suretiyle, havanın sıcaklığında 35 °C'lik bir artış görülebilmektedir. Bu artışın sonucu olarak, bacada oluşan hava hızı, 15 m/s dolaylarında olabilmektedir. Bunun anlamı, bir YHART sisteminin çalışma koşullarında da bakım ve tamire alınabileceği, bu tür durumlarda sistemin durdurulmasının gerekmediğidir.



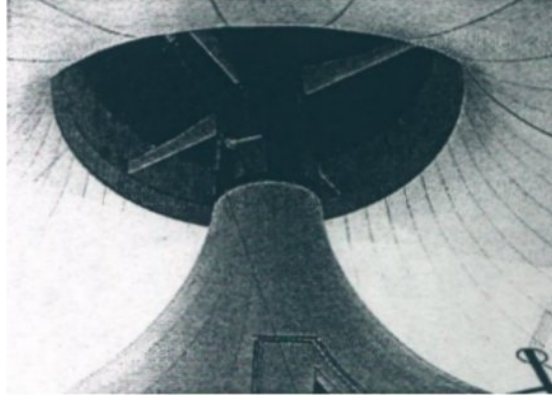
Şekil 4. Bir YHART'nin baca şematik resmi (Schlaich, 1994; <http://www.sbp.de>).

Baca için değişik yapı türleri uygulanabildiği gibi, bunların içerisinde en dayanıklı olanı ankastre betonarmedir. Bunun yanında, çelik gerdirme borular da, baca malzemesi olarak kullanılabilir. Baca yüksekliği arttıkça, baca malzemesi konusunda karar verme kriteri, bacanın imalat maliyeti olmaktadır.

2.3 TÜRİN

Bacaya giriş yapan dikey doğrultulu hava akımı, konstrüktif kolaylıklar açısından baca girişine yerleştirilmiş olan türbin üzerinden akararak türbine bağlı jeneratörde elektrik üretilmesini sağlar. Burada kullanılan türbinler, modern rüzgar türbinleri gibi hız kademeli değil, hidrolik tesislerdekine benzer şekilde basınç kademeli olan Kaplan tipi türbinlerdir (Şekil 5). Burada havanın statik basıncı, türbinin dönmesini sağlar. Dolayısıyla türbin öncesi ve sonrasındaki hava hızları, yaklaşık olarak birbirine eşittir.

Türbin üzerinden akmakta olan havanın doğrultusunun değişmemesi sebebiyle, türbin konstrüksiyonunda herhangi bir hassas ölçüm ve yönlendirme sistemine gerek duyulmaz. Bu da, türbin maliyetlerinin düşmesi anlamına gelmektedir. Havanın hızı ve debisi, kanat açısının değiştirilmesi ile ayarlanır. Kanat açısının 0^0 olması durumunda ise, kanatlar yatay konumdadır ve türbin dönmez. Kanatların dikey konuma ayarlanması durumunda ise hava, türbini etkilemeden geçer ve türbindeki basınç düşümü sıfır olur. Her iki durumda da elektrik üretimi söz konusu değildir. Bu iki konum arasında kanat açısının optimum olduğu bir durum vardır ki, o da türbindeki basınç düşümünün, mevcut toplam basıncın $2/3$ 'ü olduğu duruma tekabül eder (Schlaich, 1994). Bu durumda türbinden elde edilebilecek güç, maksimumdur.



Şekil 5. Baca girişinde basınç kademeli türbin yerleşimi ve hava yönlendirme kanalları (Schlaich, 1994).

3. İZMİR BORNOVA'YA AİT VERİLERLE YÜKSELEN HAVA AKIMLI RÜZGAR TÜRBİNLERİ UYGULAMASI

Aslında karmaşık bir sistemin çözümü olan, bir YHART'nden elde edilebilecek enerji miktarının hesabı, birtakım kabuller altında basitleştirilerek bir matematiksel model yardımıyla yapılabilir. Bu çalışmada, sistem boyutlarındaki değişimin enerji miktarı üzerine etkisi, oluşturulan matematiksel model yardımıyla hesaplanmıştır. Sistem boyutları, toplayıcının yerden yüksekliği, H_{top} , toplayıcının çapı, D_{top} , baca yüksekliği, H_{baca} ve baca çapı, D_{baca} 'dır. Hesap, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde yürütülmüş olan "İzmir Bornova'da Güneş Radyasyon Verilerinin Analizi" adlı Araştırma Fonu Projesi'nde ölçülen 1998 yılı saatlik dış çevre koşulları verileri kullanılarak (Özbalta ve ark., 2000), her bir parametre değişimi için saatlik bazda yıllık hesap yapılmak suretiyle gerçekleştirilmiş ve parametre olarak sistem ölçüleri alınmıştır. Oluşturulan matematiksel model, MATLAB v5.3 programına aktarılarak, tüm hesaplar bu ortamda yürütülmüştür. Bu hesaptan elde edilen sonuçlar, MS Excel XP Professional ortamına aktarılarak, parametrelerin enerji eldesine etkisi incelenmiştir.

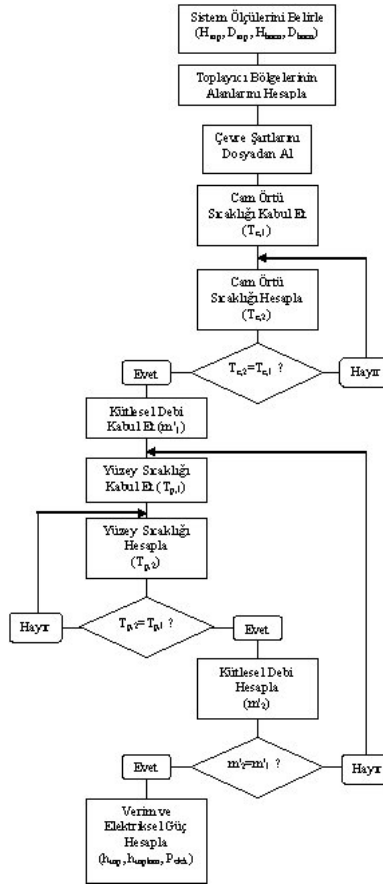
Sistem ölçülerinin belirlenmesinde, baca yüksekliği ve baca çapının mümkün olan en büyük değeri seçilmiş ve toplayıcı çapının değişimine göre bir yıl içerisinde elde edilebilecek enerji miktarının değişimi, saatlik olarak hesaplanmıştır. Hesaplar sırasında toplayıcının yerden yüksekliğinin, hesap sonuçlarına anlamlı bir etkisi olmadığı gözlemlendiğinden, bu ölçü parametre olarak alınmamıştır. Baca ölçüleri için mümkün olan en büyük değer seçilip sabit tutulmasının nedeni ise, ölçüler büyüdükçe enerji miktarının arttığının belirlenmesidir. Buna göre baca ölçüleri, literatürde rastlanan en büyük değer olarak seçilmiştir. Bu kriterlere göre hesaplamada kullanılan sistem ölçüleri, Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Hesaplama kullanılan sistem boyutları.

Sistem	1	2	3	4	5
H_{baca} (m)			1000		
D_{baca} (m)			170		
D_{top} (m)	240	780	1320	1860	2400

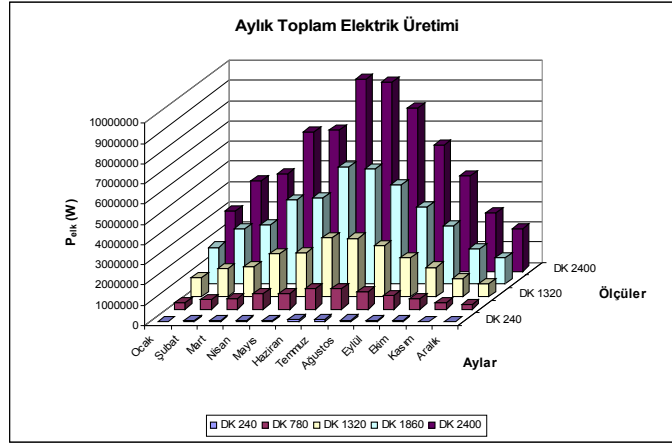
Sistemin çözümü, sistemi oluşturan üç temel bileşen olan toplayıcı, baca ve türbin kısımlarının ayrı ayrı incelenmesi suretiyle yapılır. Bu amaçla, sistemin dış sınırını oluşturan kısımdan başlayarak sırasıyla toplayıcı, baca ve türbinin analizi yapılmış ve matematiksel model buna göre oluşturulmuştur (Duffie ve Beckman, 1991; Padki ve Sherif, 1999).

Hesaplama kullanılan işlem basamaklarını bir akış diyagramı şeklinde vermek, hesabın her bir adımının ve/veya tamamının daha kolay bir şekilde anlaşılması açısından oldukça büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla hesapların yaptırıldığı MATLAB v5.3 programında da program algoritması olarak kullanılan hesap akış diyagramı, Şekil 6'da gösterilmiştir.

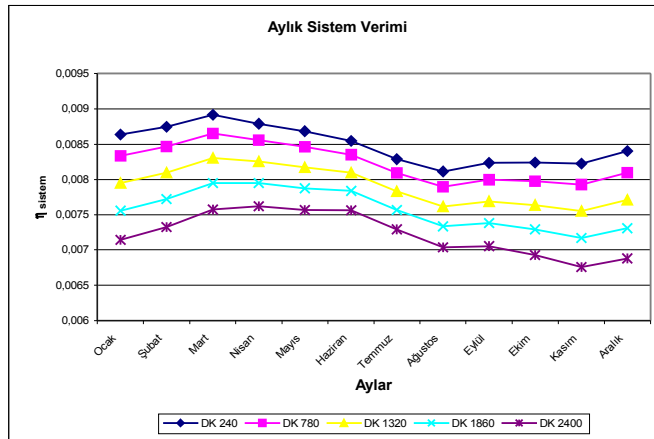


Şekil 6. Hesaplamalara ait hesap akış diyagramı (Kara, 2000).

Tüm bu etkiler göz önüne alınıp, verilen hesap akış diyagramı takip edildiğinde bulunan aylık ortalama elektriksel güç değerleri ile aylık ortalama sistem verimleri, Şekil 7 ve Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Hesap edilen sistemlere ait aylık ortalama elektriksel güç değerleri.



Şekil 8. Hesap edilen sistemlere ait aylık ortalama sistem verimi.

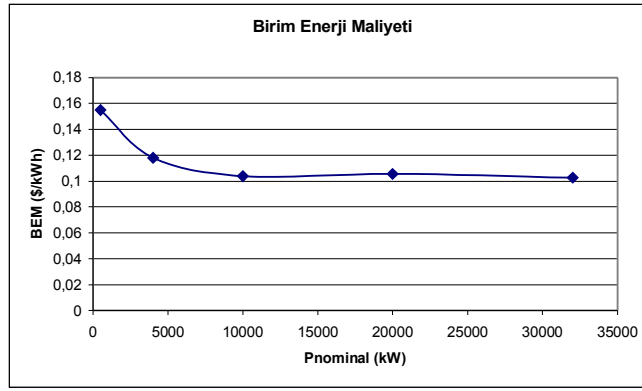
Herhangi bir sistemin kullanılabilir olup olmadığına karar vermede en önemli parametre, sistem verimi, üretilen enerji miktarı, sistem maliyeti vb. parametreler değil, birim enerji maliyeti (BEM)'dir. Bu nedenle, enerji hesabı yapılan sistemlere ait BEM değerleri hesaplanmış ve değerlendirilmiştir. BEM hesabında, sistemin ilk yatırım maliyetine ek olarak yıllık bakım-onarım sigorta giderleri ve sermaye maliyet amortismanı, türbin fabrika çıkış fiyatının %12,69'u olarak kabul edilebilir (Özdamar, 1999). Bu çalışmada, tesisin ortalama ömrü 20 yıl olarak kabul edilmiş ve güç hesabında bulunan değerlerin bu süre içerisinde yıllık bazda sabit kalacağı varsayımı yapılmıştır. Bu durumda, bir YHART tesisinden elde edilebilecek elektrik enerjisinin birim maliyeti,

$$BEM = \frac{\text{Toplam Giderler}}{\text{Üretilen Enerji Miktarı Toplamı}} \quad (20 \text{ yıllık})$$

ile hesaplanabilir (Özdamar, 1999). Sistem ilk yatırım maliyetinin, uzun işletim süreleri göz önüne alınarak, 900 \$/kW olduğu kabulü altında (Schlaich, 1994), sistemlerin ilk yatırım maliyetleri, Tablo 2’de, BEM hesabından elde edilen sonuçlar ise, Şekil 9’da verilmiştir.

Tablo 2. Sistemlerin ilk yatırım maliyetleri.

Sistem	P_{nominal} (kW)	İlk Yatırım Maliyeti (1000 \$)
1 ($D_{\text{top}}=240\text{ m}$)	500	450
2 ($D_{\text{top}}=780\text{ m}$)	4000	3 600
3 ($D_{\text{top}}=1320\text{ m}$)	10000	9 000
4 ($D_{\text{top}}=1860\text{ m}$)	20000	18 000
5 ($D_{\text{top}}=2400\text{ m}$)	32000	28 800



Şekil 9. Hesapı yapılan sistemlerin birim enerji maliyetleri (BEM).

4. SONUÇLAR

Yapılan hesaplamalardan sonra, aşağıdaki sonuçlara ulaşmak mümkündür:

- YHART sistemleri; basit, özel imalat gerektirmeyen parçalara sahip, dolayısıyla rahatlıkla kurulabilecek sistemlerdir. Bu özellikler, YHART’ları çekici hale getirmektedir.
- YHART sistemleri, ölçüleri göz önüne alındığında oldukça büyük, hatta devasa denebilecek büyüklüklerde sistemlerdir. Ancak, ülkemizin coğrafi yapısı düşünülürse, ülkemizde bu tip sistemlerin inşasına uygun bir çok alan bulunabileceği, bunun ülkemiz için sorun teşkil etmeyeceği açıktır.
- YHART sistem verimi, oldukça düşük değerlerdir. Fakat, sistem veriminin düşük olması, sistemin kullanılabilirliğinin olmadığı anlamına gelmez. Burada asıl kriter, birim enerji maliyeti olmalıdır.
- YHART sistemlerinin birim enerji maliyeti, sistem ölçüleri büyüdükçe düşmektedir (Bkz. Şekil 9). Toplayıcı çapı 2400 m olan sistemin birim enerji maliyetinin, 0,10 \$/kWh civarında olduğu hesaplanmıştır. Bu değer, sistem daha büyük inşa edilerek daha aşağılara çekilebilir. Sistemin çevreye olan etkisinin minimuma yakın olduğu düşünüldüğünde, bu durumun da bir kazanç olduğu düşünülebilir.

- Şu an şehir şebekesinden alınmakta olan elektrik enerjisinin fiyatı, yaklaşık 0,06 \$/kWh'tir. İzmir koşulları için YHART sisteminde ise bu değer, yaklaşık 0,10 \$/kWh olarak bulunmuştur. Burada dikkat edilmesi gereken nokta şudur; bugün elektrik enerjisi eldesinde fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil kökenli enerji kaynakları, yakın zamanda tükenecektir. Yakın gelecekte, fosil kökenli enerji kaynaklarına alternatif olabilecek kaynak arayışlarının, artarak devam etmesi beklenmektedir. Bunun anlamı, YHART vb. sistemler üzerinde Ar-Ge çalışmaları, artarak devam etmelidir. Araştırmaların artması sonucu, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisinin birim enerji maliyetleri, doğal olarak düşecek ve yenilenebilir enerji kaynakları daha ekonomik olacaktır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, “İzmir Bornova’da Güneş Radyasyon Verilerinin Analizi” isimli ve 1993/GEE/004 nolu Araştırma Projesi sonuçlarının kullanımına izin veren Proje Yöneticisi Prof. Dr. Necdet ÖZBALTA’ya ve projeyi destekleyen Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetimi’ne teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

Kara, Ö., *Kojenerasyon*, 76 s., Bitirme Tezi D.E.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir, 2000.

Özdamar, A., “Dalga Enerjisinden Elektrik Enerjisi Eldesi Üzerine Bir Araştırma: Çeşme Örneği”, *E. Ü. Su Ürünleri Fakültesi Su Ürünleri Dergisi*, Cilt 17, Sayı: 1-2, s. 201-213, İzmir, 2000.

Kara, Ö., *Yükselen Hava Akımlı Rüzgar Türbinleri İzmir Uygulaması*, 89 s., Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güneş Enerjisi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 2002.

Schlaich, J., *Das Aufwindkraftwerk*, 55 p., Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, 1994.

Özbalta, N. ve ark., *İzmir Bornova’da Güneş Radyasyon Verilerinin Analizi*, 72 s., E.Ü. Araştırma Fonu Projesi Raporu, Proje No: 93-GEE-004, İzmir, 2000.

Duffie, J. A. and Beckman, W., *Solar Engineering of Thermal Processes*, 919 s., John-Wiley & Sons, USA, 1991.

Padki, M. M. and Sherif, S. A., “On a Simple Analytical Model For Solar Chimneys”, *International Journal of Energy Research*, 23, p. 345-349, 1999.

Özdamar, A. ve Gürsel, K. T., “Rüzgar Pervanesi Aerodinamiği ve Enerji Eldesi Üzerine Bir Araştırma”, *E. Ü. Güneş Enerjisi Enstitüsü Dergisi*, Cilt 3, s. 53-64, İzmir, 1999.