

## ÇEŞME'DE BİR OTELİN KULLANIM SUYU ISITMASININ RÜZGAR ENERJİSİNDEN SAĞLANMASI

Doç. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR  
Ege Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi  
Makina Mühendisliği Bölümü  
35100 Bornova İZMİR  
aozdamar@bornova.ege.edu.tr

Mak. Müh. Çağın ŞEN  
Dokuz Eylül Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı  
35100 Bornova İZMİR  
caginsen30@hotmail.com

### ÖZET

Rüzgar enerjisi, en yaygın olarak, elektrik enerjisi eldesinde ve su pompalanmasında kullanılmaktadır. Rüzgar türbinleri yardımıyla elde edilen elektrik enerjisi, direkt olarak şebekeye verilebileceği gibi, kullanım suyunun ısıtılmasında da kullanılabilir. Bu çalışmada, Çeşme'de bulunan bir otelin ısıtma suyu gereksiniminin rüzgar enerjisinden sağlanması araştırılmıştır. Bunun için öncelikle, otelin kullanım suyunun ısıtılması için gereken enerji ihtiyacı hesaplanmış ve 279,471 kWh/gün olarak bulunmuştur. Daha sonra, Çeşme'de 10 m yükseklikte bir yıl boyunca ölçülen rüzgar hızı değerleri 30 m yüksekliğe taşınmış ve sekiz değişik nominal güce sahip rüzgar türbininden elde edilen elektrik enerjisi miktarı da günlük olarak bulunmuştur. 10 m yükseklikteki ortalama rüzgar hızı 6,24 m/s iken, 30 m yükseklikteki ortalama rüzgar hızı 7,36 m/s'dir. Isı ihtiyacının rüzgardan tamamen karşılanabileceği günlerde, bu ihtiyacın rüzgardan karşılandığı, rüzgarın yeterli olmadığı günlerde ise şehir şebekesinden destek alındığı varsayılmıştır. Son olarak da, bu sitemden elde edilen elektrik enerjisinin maliyeti hesaplanmış ve 0,08-0,70 \$/kWh olarak bulunmuştur.

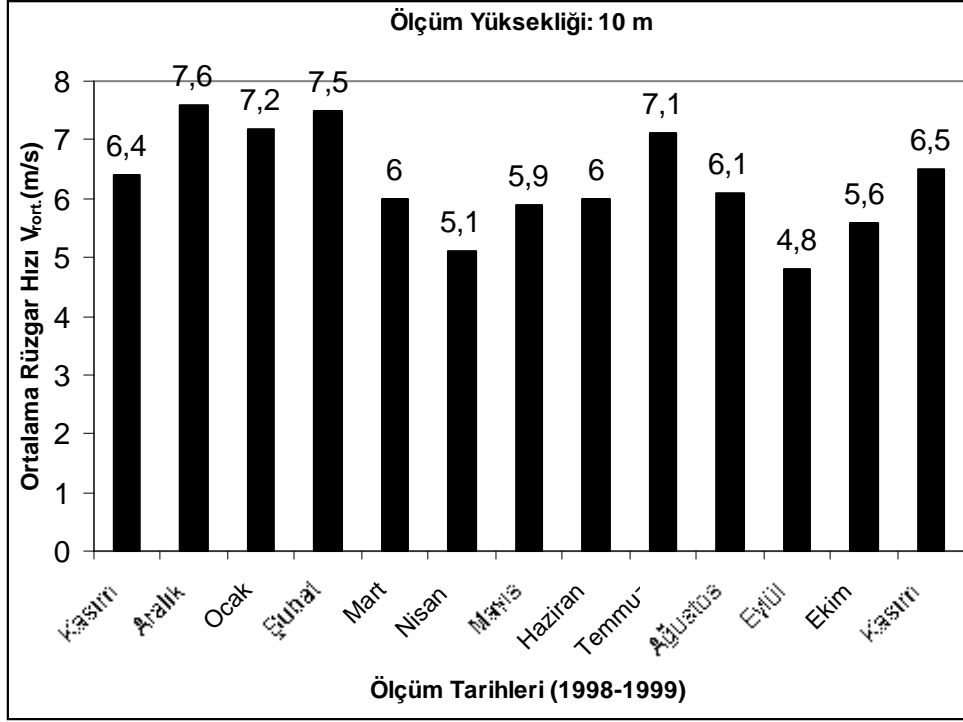
### 1. GİRİŞ

Rüzgar enerjisi, en yaygın olarak, elektrik enerjisi eldesinde ve su pompalanmasında kullanılmaktadır. Rüzgar türbinleri yardımıyla elde edilen elektrik enerjisi, direkt olarak şebekeye verilebileceği gibi, kullanım suyunun ısıtılmasında da kullanılabilir (1).

Bu çalışmada, Çeşme'de bulunan bir otelin ısıtma suyu gereksiniminin rüzgar enerjisinden sağlanması araştırılmıştır. Bunun için, otelin kullanım suyunun ısıtılması için gereken enerji ihtiyacı günlük olarak hesaplanmıştır. Daha sonra, Çeşme'de 10 m yükseklikte bir yıl boyunca ölçülen rüzgar hızı değerleri (2) 30 m yüksekliğe taşınmış ve değişik nominal güce sahip sekiz farklı rüzgar türbininden elde edilen elektrik enerjisi miktarı da günlük olarak bulunmuştur. Kullanım suyunun ısıtılması için gereken enerjinin rüzgardan tamamen karşılanabileceği günlerde, bu ihtiyacın rüzgardan karşılandığı, rüzgarın yeterli olmadığı günlerde ise şehir şebekesinden destek alındığı varsayılmıştır. Son olarak da, bu sitemden elde edilen elektrik enerjisinin maliyeti hesaplanarak, yorumlanmıştır.

## 2. ÇEŞME'DE ÖLÇÜLEN ve HESAPLANAN RÜZGAR HIZI DEĞERLERİ

Bu çalışma kapsamında kullanılan rüzgar hızı değerleri, 05.11.1998-05.11.1999 tarihleri arasında İzmir Çeşme'de alınmıştır. Bu değerler, 10 m yükseklikte alınmış olup, onar dakikalık ortalamalar halinde data-loggera kaydedilmiştir (2). Daha sonra, bu değerler; Hellmann yükseltme faktörü 0,15 olarak alınarak, 30 m yüksekliğe taşınmıştır. 10 m'de ölçülen ve 30 m yükseklikte hesaplanan aylık ortalama rüzgar hızları, Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Çeşme'de 10 m yükseklikte ölçülen aylık ortalama rüzgar hızları.

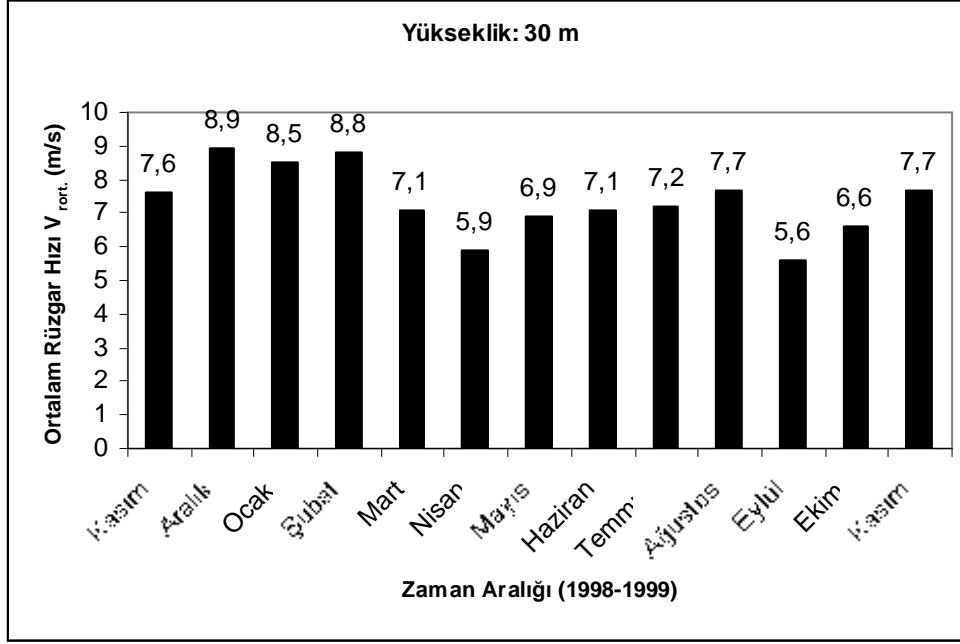
10 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızı değerleri, aşağıdaki bağıntıyla başka yüksekliklere aktarılmıştır (3):

$$V_r = V_{rref} \cdot \left( \frac{H}{H_{ref.}} \right)^\mu \quad (1)$$

Burada,  $V_r$  hesaplanmak istenen yükseklikteki rüzgar hızını,  $V_{rref.}$  ölçüm sonuçları bilinen yükseklikteki rüzgar hızını,  $H$  hesaplanmak istenen noktanın yerden yüksekliğini,  $H_{ref.}$  ölçüm sonuçları bilinen noktanın yerden yüksekliğini ve  $\mu$  Hellmann katsayısını simgelemektedir. Hellmann katsayısı, rüzgar hız ölçüm yerinin özelliklerine bağlıdır ve Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Ölçüm yerinin özelliklerine bağlı olan Hellmann katsayısının değişimi.

Ölçüm yerinin tanımı	$\mu$ (Hellmann Katsayısı)
Açık deniz, kıyı şeridi	0,14
Açık alan ve tarlalar	0,18
Ağaçlık alan ve şehir	0,28
Yüksek binalı kentsel alan	0,4



Şekil 2. Çeşme’de 30 m yükseklikte hesaplanan aylık ortalama rüzgar hızları.

### 3. OTELİN KULLANIM SICAK SUYU ENERJİSİ GEREKSİNİMİ

Bu çalışma kapsamında, kullanım suyunun rüzgar enerjisi kaynaklı olarak ısıtılması istenen otel, Çeşme İlçe Merkezi’ne 4 km uzaklıkta olup, 50 odalı ve 100 yataklıdır. Otelin sıcak suyu, şebeke suyunun ısıtılması ile elde edilmektedir. Bu otel için kişi başına günlük sıcak su kullanım ihtiyacı, Tablo 2’den yararlanarak 100 litre/(gün.kişi) olarak alınacaktır. Buradan hareketle, otelin tam dolu olması durumunda günlük olarak  $V_{günl.}=10\ 000$  litre/gün sıcak su ihtiyacı olacaktır.

Tablo 2. Kullanım yerine bağı olarak günlük sıcak su ihtiyacı değerleri (4).

Kullanma Yeri	Açıklama	İhtiyaç (litre/(gün.kişi))
Konutlar	Düşük Gelirli	40-60
	Orta Gelirli	60-100
	Yüksek Gelirli	100-150
Oteller	Ortalama Değer	100
	Lüks Oteller	200
Atölye	Ortalama	50
Fabrika	Lavabo	30
	Açık Duş	50

Otelin kullanım suyunun ısıtılması için gereken enerji miktarı

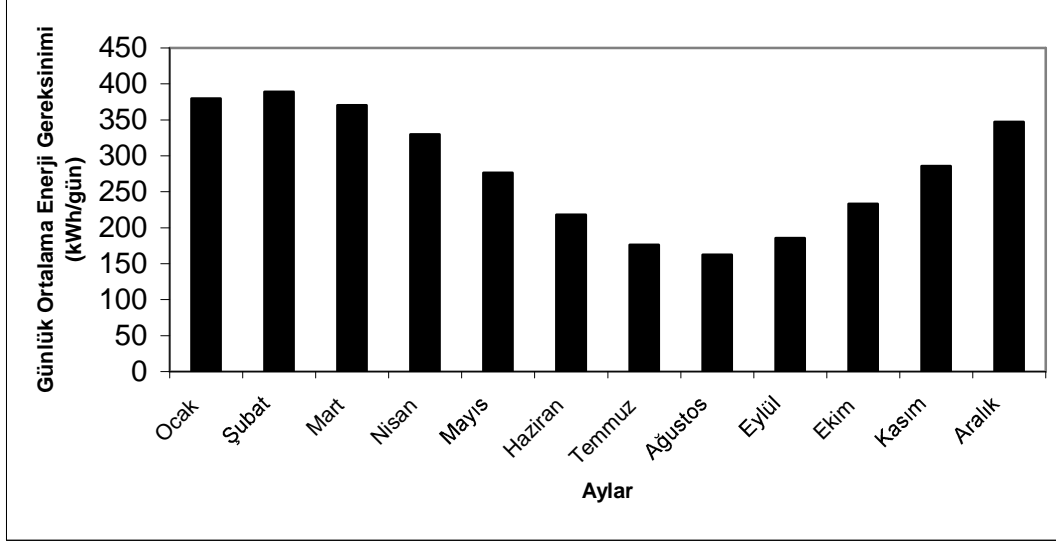
$$Q_{günl.} = \rho_{su} V_{günl.} C_p \Delta t \quad (\text{kWh}) \quad (2)$$

bağıntısından, rüzgar ölçümlerinin alındığı tarihler için günlük olarak hesaplanmıştır. Bu bağıntıda; suyun yoğunluğu  $\rho_{su} = 1000 \text{ kg/m}^3$  ve özgül ısı  $C_p = 0,00116 \text{ kWh/(kg.}^\circ\text{C)}$  olarak alınmıştır. Kullanım suyunun sıcaklığı,  $45^\circ\text{C}$  olarak alınmıştır. Ayrıca, Tablo 3’de ısıtılacak şebeke suyunun aylara göre ortalama sıcaklık değerleri verilmiş ve sıcaklık farkı  $\Delta t$  de, şebeke suyu sıcaklığı ve kullanım suyu sıcaklığının farkından her gün için hesaplanmıştır.

Tablo 3. İzmir İli için aylık ortalama şebeke suyu sıcaklıkları ( $^\circ\text{C}$ ) (4).

Aylara göre İzmir İli şebeke suyu sıcaklıkları											
Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
12,3	11,5	13,1	16,6	21,2	26,2	29,8	31	29	24,9	20,4	15,1

Şekil 3 incelendiğinde, beklenildiği gibi, günlük enerji ihtiyacı Şubat ayında en yüksek seviyededir ve  $389 \text{ kWh/gün}$  olmaktadır. En düşük seviyedeki enerji ihtiyacı ise, Ağustos ayındadır ve  $163 \text{ kWh/gün}$ ’dür.



Şekil 3. Otelin aylara göre ortalama günlük enerji gereksinimi.

#### 4. RÜZGAR TÜRBİNLERİ

Bu çalışma kapsamında seçilen otel için, minimum enerji maliyetini sağlayacak bir sistem önerilecektir. Bunun için de, değişik rüzgar türbinlerinin hesaplamalarda dikkate alınması gerekmektedir. Bu rüzgar türbinleri ile ilgili bilgiler, Tablo 4’de verilmiştir.

Otelin kullanım suyunun ısıtılması için gereken enerji, özellikle küçük nominal güçlü rüzgar türbinlerinde tek bir adet rüzgar türbini ile karşılanamamaktadır. Bu nedenle, küçük nominal güçlü rüzgar türbinlerinde birden fazla rüzgar türbini kullanılması gerekir. Bu çalışmada, kullanılacak rüzgar türbinlerinin sayısı; otelin kullanım suyunun ısıtılması için gereken ortalama günlük enerji miktarının (279,471 kWh/gün), herbir rüzgar türbininden ortalama rüzgar hızında (7,36 m/s) üretilebilecek günlük enerji miktarına oranlanması ile bulunmuş ve Tablo 5’de verilmiştir.

#### 5. KULLANIM SUYU ISITMASININ RÜZGARDAN SAĞLANMASI

Elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşümünde, verim hemen hemen %100’dür. Özellikle, ısıtıcı resistans direncinin su deposunun ortasına yerleştirilmesi durumunda kayıplar olmayacaktır. Bu yüzden, şebeke bağlantısız sistemlerde, rüzgar enerjisi yardımıyla su ısıtılması söz konusu olabilmektedir (1). Bu çalışmada kullanım suyunun ısıtılması amaçlı kullanıldığı düşünülen sistemin şematik görünüşü, Şekil 4’de verilmiştir. Buradaki kazanın çok iyi yalıtıldığı ve ısı kaybının olmadığı varsayılmıştır.

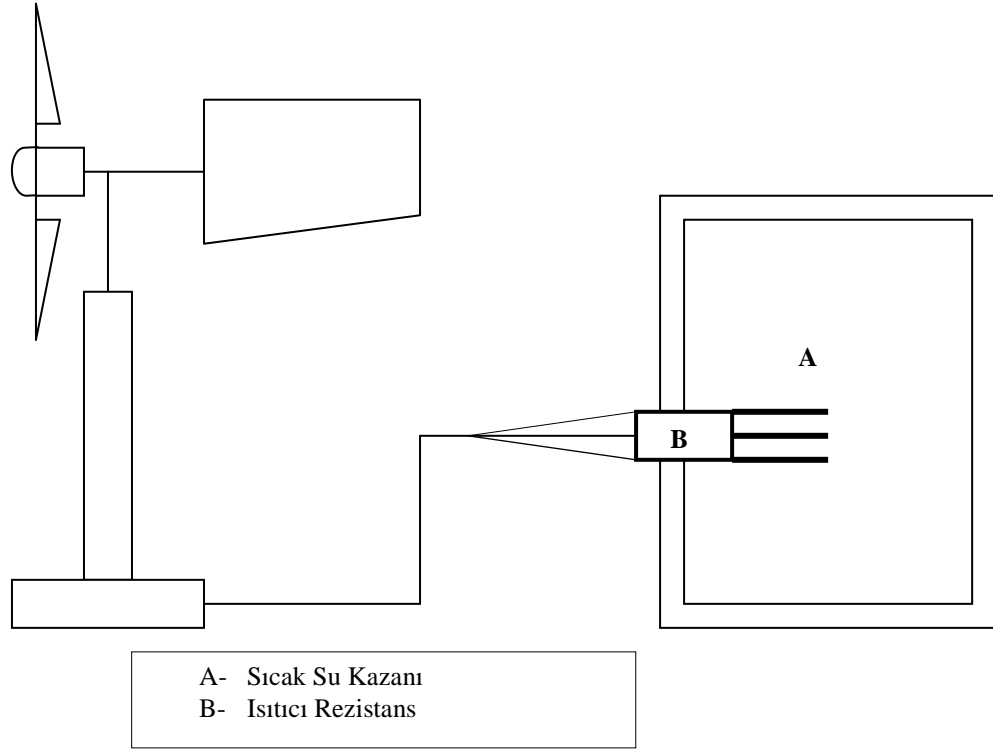
Tablo 6’da, bir yıllık üretilen, tüketilen ve şehir elektrik şebekesinden sağlanan enerji miktarları verilmiştir. Rüzgar enerjisi potansiyelinin yüksek olduğu günlerde üretilen ve kullanım fazlası olan elektrik enerjisinin kullanılmadığı varsayılmış ve hesaplamalarda bu dikkate alınmıştır.

Tablo 4. Rüzgar hızına göre türbin güçleri (kW) (5).

Rüzgar hızı (m/s)	Üretici Firma ve Türbin Tipi							
	Gale Force	Westwind	DWS	Synergy Power	Windmatic	Lorax En. Sys.	Lorax En. Sys.	Enercon
	'Fortis' Montana	Westwind-10 kW	Windane 12	SLG	15 S	FL 101	FL 250	Enercon-40
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0,1	0,2	0	0	0,5	1	1	4,2
4	0,25	0,4	1,2	2,1	2,4	2	7	16,3
5	0,5	1	2	3,2	5,2	8	25	36,4
6	0,8	1,5	4	5,2	9,2	17	35	65,6
7	1,2	2,2	7,2	10	14,4	30	59	107,7
8	1,5	3,3	10,9	15,1	21,9	45	91	162,2
9	2	4,5	14	20,8	31,2	63	127	234,4
10	2,8	5,8	16	25,9	40,3	79	160	322,4
11	3,4	7	17,8	30	48,6	94	190	403
12	3,9	8,1	18,3	34,6	56,4	108	218	461,8
Nominal Güç (kW)	5,8	10	18,5	35	65	125	250	500

Tablo 5. Kullanılacak rüzgar türbinlerinin sayısı.

Türbin Adı	'Fortis' Montana	Westwind-10 kW	Windane 12	SLG	15 S	FL 101	FL 250	Enercon-40
Kullanılan Türbin Sayısı	10	5	2	1	1	1	1	1



Şekil 4. Kullanım suyunun rüzgar enerjisi kaynaklı olarak ısıtılması sistemi.

Tablo 6. Yıllık üretilen, tüketilen ve şehir elektrik şebekesinden sağlanan enerji miktarları.

Rüzgar Türbini Adı	'Fortis' Montana	Westwind-10 kW	Windane 12	SLG	15 S	FL 101	FL 250	Enercon-40
Toplam üretilen ve kullanılan enerji (kWh/yıl)	77 238	76 747	79 035	72 446	83 332	91 336	97 962	100 682
Üretilmesi gereken enerji (kWh/yıl)	101 777	101 777	101 777	101 777	101 777	101 777	101 777	101 777
Şehir şebekesinden alınan fark (kWh/yıl)	24 539	25 031	22 742	29 331	18 446	10 442	3 816	1 096

## 6. EKONOMİK ANALİZ

Enerji sistemlerinin değerlendirilmesinde, birim enerji maliyeti en önemli parametredir. Bu çalışmada da, önerilen sistemin diğer sistemler ile kıyaslanabilmesi için, birim enerji maliyeti hesabı yapılmıştır. Çalışmanın ana ağırlığı maliyet hesabı olmadığı için, bu hesap, çok ayrıntılı yapılmamış, sonuçların yaklaşık olması ile yetinilmiştir.

Bu çalışmadaki birim enerji maliyeti hesabında, sistemin ilk yatırım maliyetine ek olarak yıllık bakım-onarım, sigorta giderleri, sermaye maliyet amortismanı; türbin fabrika çıkış fiyatının %12,69'u olarak kabul edilmiştir (2). Tesisin ortalama ekonomik ömrü, 20 yıl olarak kabul edilmiş ve bu süre hesaplamalarda göz önüne alınmıştır. Rüzgar türbinleri tarafından üretilen ve otele kullanılan elektrik enerjisi miktarının, 20 yıl boyunca aynı kaldığı kabul edilmiştir.

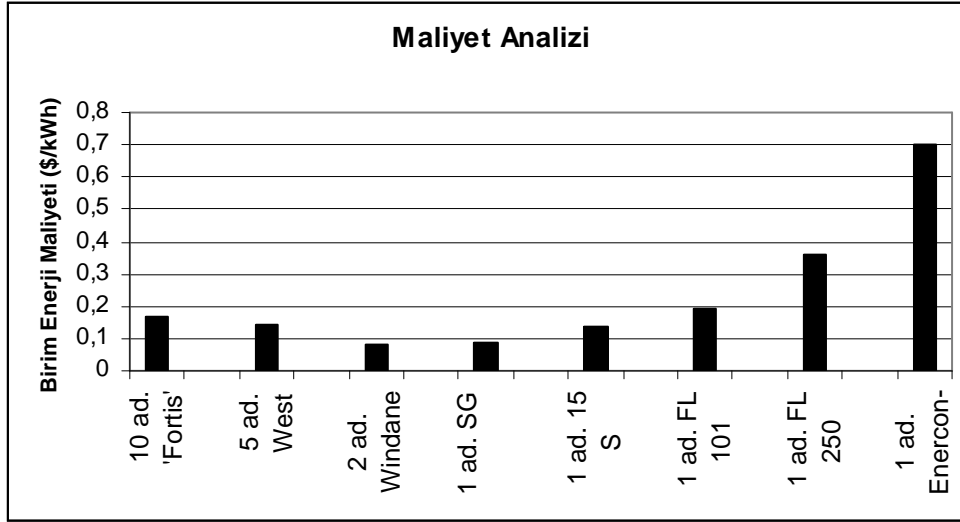
Tablo 7: Birim enerji maliyeti hesabı sonuçları.

Rüzgar Türbinleri	Türbin fiyatı ( \$ )	20 yıllık bak., on., sig., ser., iş. giderleri	Toplam ( \$ )	Toplam kWh (20 yıllık)	Birim enerji maliyeti ( \$ / kWh )
10 adet 'Fortis' Montana	72 500	184 005	256 505	1 544 761	0,17
5 adet Westwind 10 kW	62 500	158 625	221 125	1 534 935	0,14
2 adet Windane 12	37 000	93 906	130 906	1 580 706	0,08
1 adet SG	35 000	88 830	123 830	1 448 917	0,09
1 adet 15 S	65 000	164 970	229 970	1 666 632	0,14
1 adet FL 101	100 000	253 800	353 800	1 826 714	0,19
1 adet FL 250	200 000	507 600	707 600	1 959 232	0,36
1 adet Enercon-40	400 000	1 015 200	1 415 200	2 013 630	0,70

Rüzgar türbini sistemlerindeki nominal güç başına düşen kuruluş maliyetlerinin, türbin nominal gücü ile ters orantılı olarak değiştiği varsayılmıştır. Buna göre; 0-15 kW arası nominal güçlü türbinlerin fiyatı 1 250 \$/kW, 15-100 kW nominal güçlü türbinlerin fiyatları 1000 \$/kW, 100 kW'dan büyük nominal güçlü türbinlerin fiyatları ise 800 \$/kW olarak alınmıştır.



Rüzgar türbini tarafından üretilen ve sistemde değerlendirilen elektrik enerjisinin birim maliyeti; 20 yıllık toplam giderlerin, 20 yıllık kullanılan enerji miktarına oranlanması ile bulunmuştur. Bu şekilde bulunan sonuçlar, Tablo 7’de verilmiştir.



Şekil 5. Rüzgar türbinlerinden elde edilen ve kullanılan enerjinin birim maliyeti.

## 7. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Çeşme’de bulunan bir otelin, ısıtma suyu gereksiniminin rüzgar enerjisinden sağlanması üzerine yapılan bu çalışmada, aşağıdaki sonuç ve değerlendirmelere ulaşılmıştır:

- 10 m yükseklikteki ölçülen ortalama rüzgar hızı 6,24 m/s ve 30 m yükseklikteki hesaplanan ortalama rüzgar hızı 7,36 m/s’dir. Bu değerler, Çeşme’nin rüzgar enerjisi potansiyelinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. Çeşme’de rüzgar hızlarının en yüksek olduğu ay Aralık ve en düşük olduğu ay ise Eylül ayıdır.
- İrdeleme amaçlı olarak seçilen 50 odalı ve 100 yataklı otelin kullanım suyunun ısıtılması için gereken günlük enerji miktarları, Şekil 3’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde, beklenildiği gibi, günlük enerji ihtiyacı Şubat ayında en yüksek seviyededir ve 389 kWh/gün olmaktadır. En düşük seviyedeki enerji ihtiyacı ise, Ağustos ayındadır ve 163 kWh/gün’dür.
- Otelin kullanım suyunun ısıtılması için gereken ortalama günlük enerji miktarının (279,471 kWh/gün), her bir rüzgar türbininden ortalama rüzgar hızında (7,36 m/s) üretilebilecek günlük enerji miktarına oranlanması ile bulunmuş ve Tablo 5’de verilmiştir. Tablo incelendiğinde, amaca uygun rüzgar türbini sayısının, nominal türbin gücü artımı ile azaldığı ve belli bir nominal güçten sonra bir adet rüzgar türbini ile sabit kaldığı ortaya çıkmaktadır.
- Otelin kullanım suyunun rüzgar enerjisi yardımıyla dolaylı olarak ısıtılması sisteminde, birim enerji maliyeti; Şekil 5’in incelenmesinden de anlaşıldığı gibi, küçük ve büyük nominal güçlü rüzgar türbinleri için büyük olmakta, optimum çözüm ise,

arada yer almaktadır. En düşük birim enerji maliyeti, 18,5 kW nominal güçlü rüzgar türbininde 0,08 \$/kWh olarak gerçekleşmektedir. Bu değer, rüzgar enerjisinin, bugünkü şartlar altında, kullanım suyu ısıtılması amaçlı olarak kullanımının ekonomik olmadığını göstermektedir.

## 8. KAYNAKLAR

- (1) Hanus, Bo: Windgeneratorentechnik, Franzis Verlag, 319 s, Feldkirchen, 1997.
- (2) Özdamar, Aydoğan: "Dalga Enerjisinden Elektrik Enerjisi Eldesi Üzerine Bir Araştırma", Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, 17, 201-213, 2000.
- (3) Özdamar, Aydoğan: "Rüzgar Enerjisi ve Rüzgar Türbinlerine Genel Bakış", Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s.242-254, İzmir, 2001.
- (4) Tavman, İsmail H.: Güneş Enerjisi Ders Notları, yayınlanmamış, DEÜ Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir, 1998.
- (5) Anonim: Çeşitli firmaların rüzgar türbini katalogları, 2003.