

# SU POMPALAYAN YELKAPANLARDAKİ AERODİNAMİK VERİM KAYIPLARININ İNCELENMESİ

Ercüment Alyanak

ENA Mühendislik Danışmanlık Enerji Makina ve Yelkapan San. Tic. Ltd. Şti.  
ODTÜ – KOSGEB Teknoloji Geliştirme Merkezi  
Oda No:206 ODTÜ Yerleşkesi 06531 ANKARA  
Tlf: (312) 210 13 00 / 206  
E-posta: [ena@ena.com.tr](mailto:ena@ena.com.tr)

## ÖZET

Su pompalamak amacıyla rüzgar enerjisini mekanik enerjiye çevirip bir pistonlu pompayı çalıştıran yelkapanlar eskiden beri kullanılmaktadır. Bu yelkapanların güç eğrileri incelendiğinde çok büyük verim kayıpları gözlenir. Söz konusu verim kayıpları araştırıldığında bunların aerodinamik verim kayıpları olduğu anlaşılır. Kayıpların nedeni olarak da pistonlu pompaların enerji talepleri ve rüzgardaki enerji arzı arasındaki uyumsuzla karşılaşılır. Başka bir ifade ile, pistonlu pompa ve rüzgarın kendi doğası gereği su pompalayan bu tip yelkapanlarda büyük aerodinamik verim kayıpları oluşmaktadır. Bu makalede su pompalayan yelkapanlardaki enerji dengesi incelenerek söz konusu aerodinamik verim kayıplarının temel nedeni ortaya konacaktır. Bu inceleme sorunun çözümü için gerekli teorik altyapıyı bize sunmaktadır.

## ANAHTAR KELİMELER

Rüzgar enerjisi, yelkapan, su pompalama

## ABSTRACT

Water pumping mechanical windmills which drives a piston pump by converting wind energy into mechanical energy are used for a long time. Significant efficiency loss is observed when power curves of the windmills are investigated. The efficiency loss is an aerodynamic efficiency loss. The reason of the efficiency loss is unmatching energy capture of the propeller and energy demand of piston pump. The main reason of the aerodynamic efficiency loss will be shown in this article by investigating energy balance of the windmill. The investigation gives us a theoretical support for solution of the problem.

## KEY WORDS

Wind energy, windmill, water pumping

## GİRİŞ

Rüzgar enerjisi ile su pompalayan mekanik yelkapanlar uzun zamandır kırsal alanlarda kullanılmaktadır. Halen Amerika başta olmak üzere Afrika ve Avustralya'da bu tip yelkapanlar çiftliklerin su ihtiyacını karşılamak için hizmet vermektedirler. Günümüzde bu tip yelkapanlardan Amerika, Arjantin ve Avustralya'da toplam 1 milyon adet olduğu tahmin edilmektedir [1]. Türkiye'de bu yelkapanlar seyrek de olsa kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, pistonlu pompa ile su pompalayan bu yelkapanların değişen rüzgar hızı karşısındaki davranışlarını incelemek ve aerodinamik verimlerinin rüzgar hızına bağlı olarak nasıl değiştiğini ortaya koymaktır.

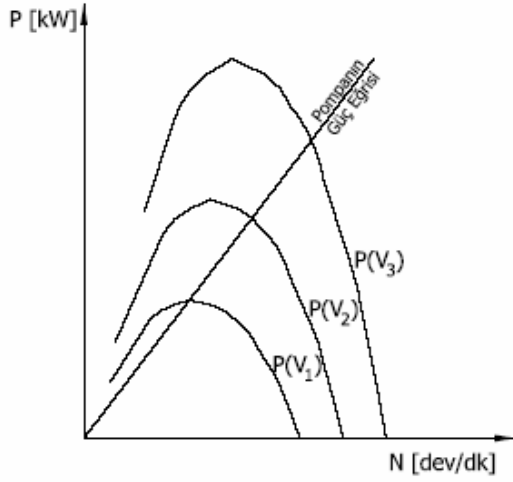


Şekil.1 Pistonlu pompa kullanarak su pompalayan yelkapanlar

## POMPALAMA YAPAN YELKAPANIN DAVRANIŞI

Yelkapan pervanesi rüzgardan elde ettiği enerjiyi mekanik güç aktarma organları ile pistonlu pompaya iletmektedir. Böyle bir sistem belli bir rüzgar hızında kararlı olarak çalışırken pervanenin ürettiği güç pompanın tükettiği güce eşittir ve pervanenin hızı sabittir. Söz konusu denge noktasında pervanenin güç eğrisi ile pompanın güç eğrisi kesişir.

Şekil.2’de bir yelkapan pervanesinin farklı rüzgar hızlarındaki güç eğrileri gösterilmiştir. Yine şekil.2’de pompanın güç tüketimine ait eğri de yer almaktadır. Sabit bir rüzgar hızında pervanenin ürettiği güç pervane hızıyla doğru orantılı olarak artmamaktadır. Belli bir noktadan sonra pervane hızı artarken ürettiği güç azalmaya başlamaktadır. Bununla beraber pistonlu pompanın tükettiği güç piston hızı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Piston mekanik olarak pervaneye bağlı olduğundan piston hızı ile pervane hızı arasında sabit bir tahvil oranı söz konusudur.



Şekil.2 Yelkapan Pervanesinin Farklı Rüzgar Hızlarındaki Güç Eğrileri Ve Pistonlu Pompanın Güç Eğrisi

Söz konusu enerji ya da güç dengesini göz önüne alarak yapılacak bir analiz ile yelkapanın aerodinamik verimi rüzgar hızına bağlı olarak elde edilebilir. Bunun için yelkapan pervanesinin ürettiği güç ve pompanın tükettiği güç ile ilgili ifadeleri ayrı ayrı yazalım;

$$P_{yelkapan} = \frac{1}{2} \rho_{hava} C_p A_{pervane} V_{rüzgar}^3 \quad (1)$$

$$P_{pompa} = \rho_{su} Q g H \quad (2)$$

burada debi ile ilgili aşağıdaki bağıntıları yazmak mümkündür,

$$Q = i N_{pervane} q \quad (3)$$

$$q = s A_{piston} \quad (4)$$

$$N_{pervane} = \frac{\lambda V_{rüzgar}}{2\pi R} \quad (5)$$

(4) ve (5) ifadeleri (3) bağıntısında, elde edilen ifade de (2) bağıntısında kullanılırsa pompanın tükettiği güç ile ilgili olarak aşağıdaki ifadeyi elde etmek mümkün olur,

$$P_{pompa} = \lambda V_{rüzgar} \frac{\rho_{su} i g H s A_{piston}}{2\pi R} \quad (6)$$

Güç dengesi göz önüne alınarak pervanenin ürettiği gücü ifade eden (1) bağıntısının, pompanın tükettiği gücü ifade eden (6) bağıntısına denk olduğu kabul edilir.

$$P_{pervane} = P_{pompa}$$

Bu durumda (1) ve (6) denklemleri kullanılarak aşağıdaki ifade yazılabilir,

$$\frac{C_p}{\lambda} = \left[ \frac{\rho_{su} i g H s A_{piston}}{\rho_{hava} \pi R A_{pervane}} \right] \frac{1}{V_{rüzgar}^2} \quad (7)$$

Burada parantez içindeki ifade yelkapan tasarımına bağlı bir sabit olarak görülebilir. Bu durumda yelkapanın rüzgar hızına bağlı davranışını ifade eden bağıntıyı daha sade olarak aşağıdaki gibi yazmak mümkündür,

$$\frac{C_p}{\lambda} = K_1 \frac{1}{V_{rüzgar}^2} \quad (8)$$

Buradan anlaşılmaktadır ki rüzgar hızı arttıkça yelkapanın denge noktası  $C_p - \lambda$  eğrisindeki azami verim noktasının sağına doğru kayacak ve yelkapan pervanesi azami verim noktasında çalışamayacaktır. Başka bir ifade ile rüzgar hızı arttıkça yelkapan pervanesinin aerodinamik verimi azalmak zorundadır.

## YELKAPAN DAVRANIŞININ BİR ÖRNEK ÜZERİNDE İNCELENMESİ

Yukarıda sözü edilen aerodinamik verim kayıpları herhangi bir yelkapanın güç eğrisi incelendiğinde rahatlıkla gözlenebilmektedir. Bu amaçla örnek olarak WINDTech adlı bir Amerikan firmasının ürettiği OASIS 3 isimli yelkapan seçilmiştir. Yelkapanın güç eğrisi ve gerekli teknik verilerine internette ulaşmak mümkündür [2]. Bu bilgiler ışığında örnek yelkapanın aerodinamik veriminin rüzgar hızıyla değişimini hesaplamak mümkündür.

Bu adreste yer alan bilgilere bakıldığında OASIS 3’ün önemli özelliklerinin,

Pervane çapı	: 3,05 m
Strok	: 30,50 cm
Piston çapı	: 17,80 cm
Kuyu derinliği	: 7,60 m

olduğu görülür. Bu derinlikteki kuyudan OASIS 3’ün çekebileceği su miktarının rüzgar hızıyla değişimini veren grafik yine aynı internet adresinde yer almaktadır [2].

Bu grafikteki değerler okunarak bir tablo oluşturulursa;

V m/s	Q m <sup>3</sup> /h
4.0	2.45
4.5	4.80
5.0	6.20
5.5	7.53
6.0	8.80
6.5	10.00
7.0	11.17
7.5	12.35
8.0	13.40
8.5	14.35

Tablo.1 Farklı rüzgar hızları için OASIS 3 adlı yelkapanın pompalama kapasitesi

Bu bilgilere göre yelkapanın farklı rüzgar hızlarındaki aerodinamik verimlerini hesaplayabiliriz. Bu durumda (1) ve (2) denklemlerindeki güç ifadeleri eşitlenerek aerodinamik verim yazılırsa;

$$C_P = \left( \frac{\rho_{su} g H}{\frac{1}{2} \rho_{hava} A_{pervane}} \right) \frac{Q}{V_{rüzgar}^3} = K_2 \frac{Q}{V_{rüzgar}^3} \quad (9)$$

bağıntısı elde edilebilir.  $K_2$  katsayısı OASIS 3 için hesaplandığında

$$K_2 = 16675$$

bulunur. Q için m<sup>3</sup>/h birimi kullanıldığı zaman  $K_2$  katsayısı,

$$K_2 = 16675 / 3600 = 4,632$$

olarak yeniden hesaplanır. Buna göre OASIS 3'ün aerodinamik veriminin rüzgar hızına bağlı değişimini gösteren bir tablo aşağıdaki gibi oluşturulabilir:

V m/s	Q m <sup>3</sup> /s	V <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /s <sup>3</sup>	C <sub>P</sub>	Q <sub>azami</sub> m <sup>3</sup> /s
4.0	2,45	64.00	0,18	3.40
4.5	4,80	91.13	0,25	4.80
5.0	6,20	125.00	0,23	6.74
5.5	7,53	166.38	0,21	8.96
6.0	8,80	216.00	0,19	11.58
6.5	10,00	274.63	0,17	14.71
7.0	11,17	343.00	0,15	18.62
7.5	12,35	421.88	0,136	22.70
8.0	13,40	512.00	0,12	27.92
8.5	14,35	614.13	0,108	33.22

Tablo.2 OASIS 3 adlı yelkapanın rüzgar hızına göre aerodinamik veriminde meydana gelen değişim

Bu tablodan yelkapan pervanesinin aerodinamik veriminin azami 0,25 olduğu anlaşılmaktadır. Tablodaki Q<sub>azami</sub> sütunu aerodinamik verimin azami değerinde olması durumunda aynı yelkapan pervanesiyle pompalanabilecek su miktarını vermektedir.

### YELKAPANDAKİ VERİM KAYIPLARININ YILLIK PERFORMANSA ETKİSİ

Sağlıklı bir değerlendirme yapabilmek için yelkapanın bir yılda pompalayabileceği su miktarını göz önüne almak gerekir. Bunun için yelkapanın belli bir yerde çalıştığı varsayılarak o yere ait rüzgar rejimi verileri ile yıllık su pompalama miktarı hesaplanabilir. İTÜ'nün 2000 yılında düzenlediği III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu'ndaki M.Durak ve Z.Şen'in sunduğu bildiride yer alan Akhisar'ın rüzgar rejimi ile ilgili bilgiler örnek hesaplama için kullanılacaktır [3]. Bu bildiride, Akhisar'daki yıllık rüzgar hızı frekans dağılımını veren Weibull katsayıları aşağıdaki gibidir,

$$C = 6,8$$

$$k = 1,73$$

Buna göre yıllık performans değerlendirmesi için aşağıdaki tablo düzenlenmiştir.

V m/s	f h/yıl	Q m <sup>3</sup> /h	Q <sub>azami</sub> m <sup>3</sup> /h	Q m <sup>3</sup> /yıl	Q <sub>azami</sub> m <sup>3</sup> /yıl
4	1015	2.45	3.40	2486	3453
5	990	6.20	6.74	6135	6668
6	909	8.80	11.58	8000	10526
7	795	11.70	19.50	9306	15510
8	667	13.40	27.92	8940	18626
9	539	14.35	33.22	7734	17904
10	421	14.35	33.22	6037	13974
11	318	14.35	33.22	4563	10564
<b>Bir Yılda Pompalanan Toplam Su Miktarı (m<sup>3</sup>/yıl) :</b>				53 204	97 229

Tablo.3 Aerodinamik verim kayıplarının yıllık performansa etkisi

Bu tabloda f (frekans) sütunu ilk sütunda yer alan V hızındaki rüzgarın yıl boyunca kaç saat estiğini göstermektedir. Üçüncü sütunda OASIS 3'ün saatlik pompalama miktarı verilmiştir. Dördüncü sütunda ise aynı yelkapanın azami verimle çalıştırılması durumunda gerçekleşecek saatlik pompalama miktarları verilmiştir. Son iki sütun ise her iki durumda aynı yelkapanın pompalayacağı yıllık su miktarını rüzgar hızına göre belirtmektedir.

## SONUÇ

Pistonlu pompa ile pompalama yapan mekanik yelkapanlarda sistemin yapısı gereği ciddi boyutta aerodinamik verim kayıpları oluşmakta, başka bir ifade ile bu yelkapanlar rüzgarın doğasına uygun çalıştırılmamaktadır. Düşük rüzgar hızlarında kalkış yapabilmesi için çok büyük hacimli pompalar kullanılmamakta, seçilen pompa hacimleri ise yüksek rüzgar hızlarında kifayetsiz kaldığından pervane gereğinden hızlı dönerek aerodinamik verim kayıplarına neden olmaktadır. Bu verim kayıpları sebebi ile yelkapanın yıllık su pompalama kapasitesinin ancak yarısı kullanılabilir. Başka bir ifade ile bu yelkapanlardaki pervaneden tam olarak istifade edilebilse hali hazırda pompalanan su miktarının iki katı kadar suyu aynı yelkapanla pompalamak mümkün olabilecektir.

Bu yelkapanlardaki söz konusu kayıpları giderip rüzgardan en üst seviyede istifade edebilmek için pompanın enerji tüketimini rüzgardaki enerji arzına göre ayarlamayı sağlayacak bir kumanda mekanizmasına ihtiyaç olduğu ortaya çıkmaktadır.

Bu soruna çözüm üretmek amacıyla şimdiye kadar bazı kumanda düzenekleri önerilmişse de bu çözümler mekanizmaların karmaşıklığı sebebi ile uygulamada tercih edilmemişlerdir. 2004 yılında ODTÜ-KOSGEB Teknoloji Geliştirme Merkezi'nde faaliyetlerine başlayan ENA Mühendislik bu konuyu yeni bir yaklaşım ile ele almış ve bu amaçla KOSGEB ve TÜBİTAK'ın desteklediği bir Ar-Ge projesini yürütmeye başlamıştır. Su pompalayan yelkapanlardaki bu sorunu gidermek için basit, etkili ve uygulanabilir bir kumanda teknolojisi geliştirmek amacıyla çalışmalara devam edilmektedir.

## SİMGELER

$P_{pervane}$ [Watt]	Yelkapan pervanesinin ürettiği güç
$P_{pompa}$ [Watt]	Pompanın tükettiği güç
$A_{pervane}$ [m <sup>2</sup> ]	Yelkapan pervanesinin süpürme alanı
$A_{piston}$ [m <sup>2</sup> ]	Pistonun izdüşüm alanı
$s$ [m]	Pistonun strok miktarı
$V_{rüzgar}$ [m/s]	Rüzgar hızı

$C_p$ [-]	Aerodinamik verim
$\lambda$ [-]	Yelkapan pervanesi için uç hız oranı
$R$ [m]	Yelkapan pervanesinin yarıçapı
$N_{pervane}$ [dev/s]	Yelkapan pervanesinin dönme hızı
$i$ [-]	Pervane ile pompa arasındaki tahvil oranı
$Q$ [m <sup>3</sup> /s]	Pompanın debisi
$q$ [m <sup>3</sup> ]	Pompanın hacmi
$C$ [m/s]	Weibull dağılımı için ölçek faktörü
$k$ [-]	Weibull dağılımı için şekil faktörü
$g$ [m/s <sup>2</sup> ]	Yerçekimi ivmesi (9,81 m/s <sup>2</sup> )
$\rho_{su,hava}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Su veya havanın yoğunluğu
$f$ [h/yıl]	Rüzgarın bir yıl boyunca belli bir hızdaki esme süresi

## KAYNAKLAR

- [1] Argaw, N. "Renewable Energy For Water Pumping Applications in Rural Villages", NREL/SR-500-30361, Colorado, Temmuz.2003.
- [2] WindTech internet sitesi [www.windmillpower.com/product-info.html](http://www.windmillpower.com/product-info.html)
- [3] Durak, M.; Şen, Z. "Akhisar Rüzgar Elektrik Santrali İçin Rüzgar Türbini Mikrokonuşlandırması". III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, Kasım.2000.