

Bir wells dalga türbininin hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi

Gökhan ÖZDAMAR^{*1}, Mertcan MUT², Yeliz PEKBAY², Aydoğan ÖZDAMAR²

¹ Ege Üniversitesi, Merkezi Araştırma Test ve Analiz Laboratuvarı Araştırma ve Uygulama Merkezi, İzmir

² Ege Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir

Makale Gönderme Tarihi: 30.05.2016

Makale Kabul Tarihi: 28.06.2016

Öz

Enerji kaynakları, tükenme durumuna göre dünyanın var olduğu süreç içerisinde tükenen ve tükenmeyen, kendini devamlı yenileyen yenilenebilir enerji kaynakları olarak iki kısımda incelenebilir. Tükenen enerji kaynakları, kömür, doğalgaz, petrol gibi fosil kaynaklar ve nükleer enerjiden oluşurken, yenilenebilir enerji kaynakları ana kaynağa göre üç grupta incelenebilirler: Güneş kaynaklı, Ay kaynaklı ve Dünya kaynaklı. Ay'ın çekim gücü ile gel git olayı ve Gel-Git Güç Santralleri yardımıyla elektrik enerjisi, Dünya kaynaklı olarak ise Jeotermal enerji ve Jeotermal enerji santralleri yardımıyla ısı ve elektrik enerjisi üretilmektedir. Güneşten ise, su, rüzgar, güneş ışınları ve biyokütle enerjileri türemektedir. Güneşin atmosferdeki noktaları farklı ısıtmasıyla rüzgarlar, rüzgarların deniz serbest su yüzeylerini sürtünme ile hareketlendirmesinden dalgalar oluşur. Dalgalardaki enerji, dalga türbinleri aracılığı ile elektrik enerjisine dönüştürülür. Salınan su sütunu (OWC) tipi dalga türbinleri, bu dönüşümü gerçekleştiren en yaygın türbinlerdendir. OWC dalga türbinlerinin deneysel olarak elde edilen verimleri ile, hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemini kullanan paket programlar yardımıyla hesaplanan verimleri arasında %40'lara varan büyük farklar bulunmaktadır. Bu çalışmada, literatürde çok sık atıf alan ve deney-nümerik yöntem verimleri arasında %40'a varan bir çalışmada kullanılan ve özellikleri bilinen bir OWC türbininin sonlu hacimler yöntemini kullanan ANSYS Fluent paket programında analizi gerçekleştirilmiş ve baz alınan çalışmaya göre, verimde deney sonuçlarına göre negatif yönde %40'a varan farklara ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dalga Enerjisi; OWC, Wells Türbini, Nümerik Analiz, HAD.

Giriş

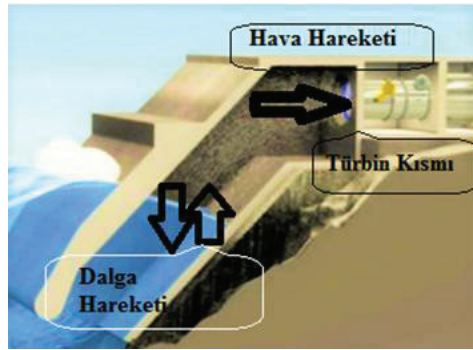
Dünyada yaşayan insan sayısının artışı ve teknolojinin gelişmesi, enerjiye ve özellikle de kullanım alanı bulabilmesi nedeniyle elektrik enerjisine olan talebi de beraberinde getirmektedir. Fosil yakıtların çevreye zarar vermesi ve belli bir zaman sonra tükenecek olması nedeniyle, 2050 yılında dünya enerji tüketiminin %70'inin dalga enerjisi gibi yenilenebilir enerjilerden sağlanacağı şeklinde görüşlerin olduğu günümüzde (Özdamar vd., 2004), Türkiye'nin dalga enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesi ve dalga türbini olarak adlandırılan enerji dönüşüm makinalarının ülkemizde üretilmesi önem kazanmaktadır. Bu üretim için, dalga türbinlerine bilimsel anlamda tam olarak hakim olunması çok önemlidir.

Yeryüzündeki deniz dalgalarındaki güç potansiyelinin, TW boyutunda olduğu tahmin edilmektedir. Açık denizlerdeki dalgalar için, bu değer $\sim 10^{13}$ W değerlerine ulaşmaktadır. Bu potansiyel, dünyanın mevcut güç tüketimine cevap verebilecek büyüklüktedir. Yeryüzüne, birim alana 0,1-0,3 kW yoğunluğunda düşen güneş enerjisinin rüzgar enerjisine dönüşmesi halinde, rüzgar akım yönüne dik yöndeki birim alanda 0,5 kW güç yoğunluğu oluşmaktadır. Deniz dalgalarının oluşumunda başat rol üstlenen rüzgar enerjisi su dalgalarını oluşturduğunda, birim alana düşen gücün daha da arttığı gözlemlenir. Okyanus yüzeyinin hemen altında, dalga ilerleme yönüne dik yönde, birim alana düşen güç ortalama 2-3 kW olmaktadır. Güneş-rüzgar-dalga geçişinde birim alana düşen güçteki bu artış, uygun teknoloji geliştirildiğinde, pazar potansiyelinin ne denli büyük olacağını kanıtlar (Falnes, 2007).

Dalga enerjisinin kullanılabilir enerji haline dönüştürülebilmesi için, bilim insanları tarafından birçok sistem önerilmiştir. Birinci Dünya Savaşı'nın ardından, petrolün modern enerji kaynaklarının en önemlisi haline gelmesi ile, dalga enerjisinden faydalanma çalışmalarında azalma olmuştur. 1973 yılındaki petrol krizi kaynaklı olarak, dalga enerjisinden elektrik üretimi, birçok araştırmacı tarafından

tekrar ele alınmaya başlamıştır. Son dönemde, Kyoto Protokolü'ne göre CO₂ emisyonunu azaltma kapsamında dalga enerjisine artan ilgi dolayısıyla, birçok ülke tarafından Ar-Ge çalışmaları başlatılmıştır (Falnes, 2007). Birbirinden farklı çalışma prensiplerine dayalı çok çeşitli sistemler hakkındaki mevcut durum, Ar-Ge çalışmaları ve gelecekte tamamlanması beklenen hedefler, yerli ve yabancı literatürde mevcuttur. En yaygın olarak kullanılan sistem günümüzde Salımlı Su Sütunu (OWC) sistemleridir. Bu sistemler, hava sıkıştırma odası, difüzörü de içeren bir türbin ve elektrik jeneratöründen oluşurlar. Sistemin amacı, dalgadaki enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmektir.

Şematik gösterimi Şekil 1'de verilen ve ilk uygulama örneklerinden olan OWC sistemi, İslay Adası İskoçya'da 2001 yılında kurulmuştur. Daha sonra, İspanya Mutruki'de 2011 yılında örnek başka sistemler oluşturulmuştur.



Şekil 1. Salımlı Su Sütunu (OWC) Sistemi
(Anonim,2016)

OWC sistemlerinde dalga, kapalı hazneden içeri girerek buradaki havayı sıkıştırır. Sıkışan hava, türbine doğru akar ve türbinin kanatlarına çarparak türbinin dönmelerini sağlar. İkinci bir hareket olarak dalga, geri çekilirken hava boşluğu oluşturarak vakum etkisiyle hazne içerisine doğru hava akımı meydana getirir. Bu

hava akımı da türbini döndürür. Dönen türbin, her iki halde jeneratörü tahrik eder ve elektrik enerjisi üretilmiş olur.

Havanın her iki yöndeki hareketinde, türbinin kanatlarının aynı yönde dönmesi önemlidir. Bunu sağlayan yapı, kanatların simetrik aerofoil yapılarıdır. Bu türbinler, literatürde özel olarak incelenir ve Wells türbini adıyla anılır.

Wells türbinleri, yaklaşık olarak %40 verimle çalışan sistemlerdir. Wells türbinlerinin verimini arttırmakla, bütün sistemin veriminin arttırılacağı bilinmekte ve bu yönde çeşitli araştırmalar yapılmaktadır.

Literatürde sistem verimini arttırmak adına yapılan önemli çalışmalar çoğunlukla, Wells türbini kanadı üzerinde yoğunlaşmış veya difüzör yapısının geometrisindeki değişimlere odaklanmıştır.

Türbin analizinde, belirli parametreler göz önüne alınarak analizler yapılmaktadır. Bu parametrelerden, türbin devir sayısı, hava sıkıştırma odası (chamber) boyutları dikkate alınarak yapılan çalışmada, deneysel olarak, optimum değerler elde edilmiş ve aynı şartlar için nümerik çözüm verilmiştir (Inoue vd., 1988). Ayrıca, yönlendirici kanatlı bir Wells türbini, seri bağlı iki pervaneli Wells türbini ve tek pervaneli Wells türbini test edilmiş ve verim değerlerinin yaklaşık aynı olduğunu saptamışlardır (Gato ve Curran, 1997).

Dalga hareketiyle etkileşen havanın türbin kanatlarına çarpma açısının incelendiği bir çalışmada, deneyler ile HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) sonuçları kıyaslanmıştır. Bu kıyaslama için, NACA 63415 aerofoilinde çeşitli hücum açılarında, kaldırma, sürüklenme, yunuslama momentleri bulunmuştur. Optimum bir açıda maksimum verimin elde edilebileceği görülmüş, nümerik yöntem ile deneylerin uyumluluğu tespit edilmiştir (Omar vd., 2013).

Bu makalede baz alınan referans çalışmada, 7 adet, $c=74$ mm kiris uzunluğuna sahip, NACA 0015 kanadının, $R_{hub}=101$ mm yarıçapı

ölçüsünde bir göbek ile $R_{tip}=155$ mm yarıçapında kanat ucu dairesine sahip bir silindirin (difüzör) içerisinde dönme hareketi, deneysel ve HAD ile araştırılmıştır. Bu silindirin boyu, $10.c=740$ mm olarak alınmıştır. (Torresi ve Ark., 2009). Referans çalışmada, çeşitli türbülans modelleri ile türbinin verimi belirlenmiş ve deney sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Burada, hava hızının kanat ucundaki çevresel hıza oranı olarak tanımlanan Θ değişkenine bağlı olarak verim değerleri belirlenmiş olup, sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Deney ve HAD yöntemiyle elde edilen Wells türbini verimleri ve fark yüzdesi (Torresi ve Ark., 2009).

Θ	Deney	HAD (Spalart Allmaras)	% Fark
0.15	0.43	0.52	21
0.16	0.41	0.52	27
0.18	0.41	0.53	29
0.19	0.41	0.52	27
0.2	0.4	0.51	28
0.21	0.39	0.5	28
0.218	0.36	0.5	39
0.23	-	0.5	-
0.238	-	0.26	-
0.243	0.2	0.2	0
0.25	0.2	0.2	0

Bulunan değerlerden görüleceği gibi, her iki yöntem sonuçları arasında %39'a varan farklar bulunmaktadır (Tablo 1).

Bu çalışmada, deney ve nümerik yöntem sonuçları arasındaki farkın büyüklüğünden hareketle, Torresi tarafından incelenen Wells türbini birebir ele alınmış ve Spalart Allmaras türbülans modeli ile HAD analizleri gerçekleştirilerek, sonuçlar karşılaştırılmıştır.

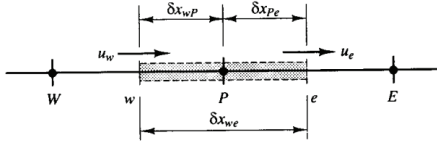
Materyal ve Yöntem

Nümerik analiz yöntemi

Uygulamada karşılaşılan problemlerde, non-lineer diferansiyel denklemler ve karmaşık geometriler söz konusudur. Bu

durumlarda çözümlere, nümerik analiz yöntemleri veya deneysel yöntemler kullanılarak ulaşılabilmektedir. Nümerik analiz yöntemi, analitik yöntemlerle tam sonuca ulaşılması mümkün olmayan denklem takımlarının çözülmesi için kullanılan yöntemdir. Bu yöntem, gauss eliminasyonu metodu, cramer metodu, sonlu farklar, sonlu elemanlar, sonlu hacimler gibi çeşitli şekilde alt başlıklara ayrılabilir.

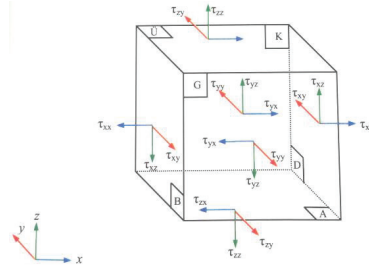
Sonlu hacimler yöntemi, akışkan hareketi denklemlerinin ayrıklaştırılması ve çözümlenmesinde kullanılır. Bu yöntem, ağ örgüden oluşturulmuş (mesh) geometrideki, ayrık (birbirinden farklı) noktalarda ilgili değerlerin (ör. yerel hız değeri) hesaplanması amacını güder. Sonlu hacimler yöntemi, genel anlamda ifade edilirse, komşu iki hacim arasında sınırların özelliklerinin birbirine ağ örgü (mesh) metoduyla aktarılmasıdır. Şekil 2’de bir boyutlu genel bir P noktasındaki kontrol hacmi verilmektedir. P noktasına komşu noktalar W ve E ile simgeleştirilmiş ve kontrol hacmi yüzeyleri de w ve e olarak tanımlanmıştır (Filinte, 2006).



Şekil 2. P noktası etrafındaki kontrol hacmi (Filinte, 2006).

Bu çalışmada kullanılan denklemler, Navier-Stokes denklemleridir ve akışkan için korunum denklemlerinin en kullanışlı formu, τ_{ij} viskoz gerilmeleri için uygun bir model geliştirilmesiyle elde edilir. Şekil 3’de, birim akış elemanının üzerine gelen kuvvetler olarak normal kuvvetler ile viskoz kuvvetleri gösterilmektedir. Normal gerilme p ile ve viskoz gerilmeler τ_{ij} ile gösterilmiştir. Burada, i, gerilme yönünü, j, gerilme yüzey normali yönünü göstermektedir.

Öncelikle, $\tau_{xx}, \tau_{yy}, \tau_{zz}$ gerilmelerinden ve p basıncından doğan kuvvetlerin x bileşeni incelenir. Birim akışkan hacmi ele alınır, bu hacim için toplam kuvvet bulunur ve bu kuvvet, $\delta x \delta y \delta z$, birim hacmine bölünürse, dış kuvvetlerden doğan momentum değişim denklemleri elde edilir.



Şekil 3. Akışkan elemanında yer alan viskoz gerilmeler ve bileşenleri

S_{Mx} , x yönündeki birim hacme etkiyen iç kuvvetleri, S_{My} , y yönündeki birim hacme etkiyen iç kuvvetleri ve S_{Mz} , z yönündeki birim hacme etkiyen iç kuvvetleri simgelediğinde,

$$\begin{aligned} \rho \frac{Du}{Dt} &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad}(u)) + S_{Mx} \\ \rho \frac{Dv}{Dt} &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{grad}(v)) + S_{My} \quad (1) \\ \rho \frac{Dw}{Dt} &= -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{grad}(w)) + S_{Mz} \end{aligned}$$

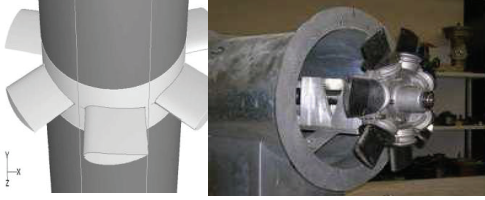
denklemleri elde edilmektedir. Ek olarak, kütle korunumu ifadesi de hesaba katılarak, incelenen problem, ANSYS Fluent paket programı kullanılarak çözülmüştür.

Spalart Allmaras türbülans modeli

Basit tek denklemlilik model olan Spalart Allmaras türbülans modeli, basınç farkının olduğu ve bir duvar sınır koşuluna sahip sistemlerde kullanışlıdır. Düşük Reynolds sayılarında geçerli bir modeldir.

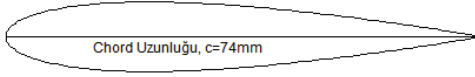
Dalga türbini verimi ve problemin tanımı

Literatürde sıkça atıf alan referans çalışmada, deney ve HAD analizleri ile elde edilen Wells türbini verimleri, oldukça büyük farklar içermektedir.



Şekil 4. Kanat Sistemi dış görüntüsü, (Torresi vd., 2009).

Şekil 4’de literatürde performansı ile ilgili yeterli bilgi verilen Wells türbini gösterilmektedir. Bu türbinin kanadı NACA 0015 profilli olup, 7 kanattan oluşmakta ve chord uzunluğu, $c=74$ mm olarak verilmektedir.



Şekil 5. NACA0015 kanat profili ve chord uzunluğu

Torresi ve Ark. (2009), NACA0015 profilli için Tablo 1’de verilmiş olan verim değerlerini elde etmişlerdir. Bu çalışmada, deneysel veriler ile nümerik olarak elde edilen verim değerleri kıyaslanmış olup, nümerik olarak, Spalart Allmaras, $k-\omega$, RSM, türbülans modelleri kullanılmıştır. Burada baz alınan makaledeki kullanılan mesh çeşidi ve eleman sayısı farklıdır.

Şekil 1 ve Şekil 2’de verilen, \emptyset , kanat üzerine gelen akış hızının kanat ucundaki çevresel hızı oranı olarak tanımlanan,

$$\emptyset = v_t/v_c \quad (2)$$

denklemlerle verilmektedir. Wells dalga türbininin verim tanımı da,

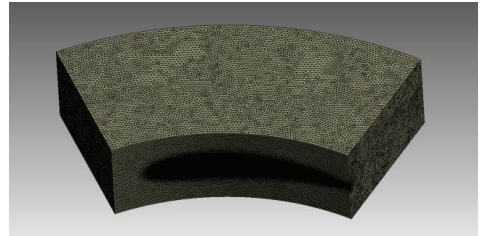
$$\eta = (M \cdot \omega) / (\Delta P \cdot Q) \quad (3)$$

denklemlerle ifade edilmektedir. Bu bağıntıdan da anlaşıldığı gibi, M momenti ile ω açısal hızının çarpımının, Q debisi ile ΔP basınç farkı çarpımına oranı verimdir.

Sonuçlar ve Tartışma

Deniz dalgalarından elektrik enerjisi elde edilmek istenildiğinde, en iyi dönüşümü yapan dalga türbinlerinden birisi hava akımının yönünden bağımsız olarak sürekli aynı yönde dönme özelliğine sahip olan Wells türbinleridir. Bu türbinlerin verimleri, deney ve nümerik yöntemle saptanmakta ve bu her iki yöntem sonuçları arasında %39’a varan farklar bulunmaktadır (Tablo 1).

Bu çalışmada, Ansys Fluent paket programı kullanılarak, Wells türbininin HAD analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler 48 GB RAM, 2 adet Intel XEON E5620, 8 çekirdekli işlemcili Workstation kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ağdan bağımsızlık çalışması gerçekleştirilmiştir. Ağdan bağımsızlık için eleman sayısı parametre olarak seçilmiş, eleman sayısı artırıldığında sonuçlara etki etmediği görüldüğünde, sonuçların ağdan bağımsız hale geldiği anlaşılmıştır. Sonuçların değişmemeye başladığı eleman sayısı 8006404 iken, 12 627 862 eleman sayısında da aynı sonuçlar alınmış ve sonuçların ağdan bağımsızlığına kanaat getirilmiştir. Kanat malzemesi olarak alüminyum seçilmiş olup, 7 kanattan sadece biri modellenmiştir. Şekil 7 de verilen grafikte eleman sayısı, 12 627 862’dir. Bir verim noktası için ortalama 7500 iterasyon yapılmış olup, yaklaşık 56 saatlik bir işlem süresi gerekli olmuştur.



Şekil 6. Modellenen bir kanadın ağ yapısı

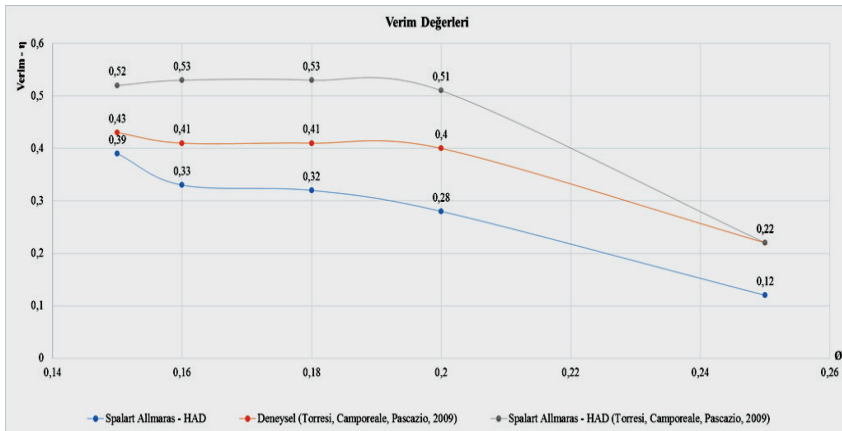
Tablo 2’de, çalışma kapsamında HAD yöntemiyle hesaplanan ve Torresi ve Ark. (2009) tarafından deney yöntemiyle bulunan Wells türbini verim değerleri verilmiştir. Şekil 5’de de Tablo 2’de verilen değerler ile Torresi ve Ark. (2009) tarafından HAD yöntemiyle hesaplanan verim değerleri verilmiştir. Şekil 7’de her üç yöntem için Wells türbini verim grafiği verilmiştir.

tarafından bulunan verim değerleri büyük \emptyset değişkeni için deneysel sonuçlara daha yakın olmaktadır.

Tablo 2. Deneysel (Torresi ve Ark., 2009) ve HAD yöntemiyle elde edilen Wells türbini verimleri ve fark yüzdesi

\emptyset	Deneysel	HAD (Spalart Allmaras) (Bu Çalışma)	% Fark
0.15	0.43	0.39	-9.30
0.16	0.41	0.33	-20
0.18	0.41	0.32	-22
0.2	0.4	0.28	-30
0.25	0.2	0.12	-40

Tablo 2 ve Şekil 7 incelendiğinde, çalışma kapsamında HAD yöntemiyle hesaplanan verim değerlerinin, Torresi ve Ark. (2009) tarafından verilen verim değerlerinden daha küçük olduğu ve bu farkın negatif yönde %40’a ulaştığı anlaşılmaktadır. Bu çalışmanın verim değerleri, küçük \emptyset değişkenleri için deneysel sonuçlarına daha yakın iken, Torresi ve Ark. (2009)



Şekil 7. Çalışmada Kullanılan Wells Türbini Verimleri ve Deneysel Elde Edilen Verimler

Kaynaklar

- Özdamar, A., Gürsel, K. T., Örer, G., Pekbey, Y., (2004). Investigation of the potential of wind-waves as a renewable energy resource: by the example of Cesme-Turkey, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 8 (2004) 581-592.
- Falnes, J., (2007). A review of wave energy extraction, *Marine Structures* 20, p. 185-201.
- Torresi, M., Camporeale, S. M., Pascazio, G., (2009). Detailed CFD Analysis of the steady flow in a Wells turbine under incipient and deep stall conditions, *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME*, 131071103-1, 071103-17.
- Anonim, <http://bilmx.com/dalga-gucunden-yararlanmak/>, 2016.
- Gato, L.M.C., Falcão A.F., (1989). Aerodynamics of the wells turbine, *International Journal of Mechanical Sciences* 30-6 (1988), 383-395.
- Inoue, M., Kaneko, K., Setoghci, T., Setawatari, T., (1988), Studies on the Wells Turbine for Wave Power Generator" (Turbine Characteristics and Design Parameter for Irregular Wave), *The Japan Society of Mechanical Engineers*, 31, 676-682.
- Omar, W.Z., Rahim, M. M. A., Lazim, T., (2013). A CFD Study of NACA 63415 with deployment of leading edge and trailing edge surface, 2nd International Conference on Mechanical, Automotive and Aerospace Engineering (ICMAAE 2013), Kuala Lumpur.
- Filinte, E. G., (2006). Konveksiyon-Difüzyon Problemlerinin Sonlu Hacim Yöntemi İle Analizi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

CFD Analysis of a Wells Wave Turbine

Extended abstract

Sun heats up differently the zones of Atmosphere. This causes the temperature dependent pressure gradients between the various regions of air. Pressure gradients generate the winds. Those winds can occur at different layers of atmosphere in different formations. If formations are on the surface layer of oceans or seas these situations trigger the creation of the waves. It is clear that, there is an energy circulation cycle in this period. This cycle starts from sun lights energy ends at wave stored energy. This last energy source (wave) becomes ready for daily usage as an electrical energy after being processed. The energy that stored in the waves converted in to the electrical energy by wave turbines. That conversion is commonly made by Oscillating water columns (OWC). These systems are becoming popular while their efficiency values increase. OWC systems are studied in two main methods, first one is experimental method, the other one is CFD. There are important differences between the test results and CFD analysis results about efficiency values of OWC's. These differences reach up nearly to 40%. At the literature, there is a big discussion about that gap between the efficiencies. The strongest hypothesis on this subject can be described like that Mesh should realize the real situation of the turbine and at the setup section of CFD, the turbulence model must be suitable. These are thought to be the cause.

In this study, the focused point is that the differences between the efficiencies of numerical and experimental analysis which are referred commonly in the international literature. The literature is described and in those studies one is selected as a reference. Methods and the turbulence models are selected from that reference. Generally OWC's analysis is a matter of turbine efficiency. Developments are done especially in the turbine section. These are special turbines called Wells turbine. The importance comes from their bidirectional rotation. It means for the both inlet and outlet flow of air, they rotates in the same direction.

The properties of the studied Wells turbine are known from the selected reference study. For numerical analysis the same Wells turbine was used. This turbine system consist of 7 NACA 0015 aerofoils with $c=74$ mm chord length, with $R_{hub}=101$ mm hub radius and diffuser radius $R_{tip}=155$ mm. The length of the diffuser is 1000 mm.

To get the data for efficiency of numerical analysis, ANSYS Fluent software was used. There are big differences up to 40% between the referred study's experimental efficiency values and the Spalart Allmaras turbulence modeled numerical analysis studied in this paper.

To describe the methods in details, \emptyset variable should be identified as the ratio of rotational velocity to circumferential speed. Under the different \emptyset values, the speed of inlet air is taken constant, 7 m/s in numerical analysis method. Related to that speed, torque changes and pressure gradients observed. As it clear in the definition of efficiency, these are important components. Shortly, the change of the torque and pressure are effecting efficiency directly. To get that torque and pressure gradient values, ANSYS software used for three main parts first one is modeling, secondly preprocessing called meshing, and post processing done in setup section.

Keywords: Wave Energy, OWC, Wells Turbine, Numerical Analysis, CFD