



Arşimet Burgu Türbini ile Çalışan Hidroelektrik Santralin Nümerik Analizleri ile Deneysel Verilerinin Karşılaştırılması

Comparison of Numerical Analysis and Experimental Data of the Hydroelectric Power Plant Working with Archimedes Screw Turbine

Emrah ÜSTÜN^{1,*}, Emin Selman AKÇAMUR², Erdal Mustafa YEĞİN³

¹ Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Umuttepe Kampüsü, Kocaeli, 41380, Türkiye

² Mikrohes Araştırma Geliştirme İnovasyon Enerji İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti.

³ Elektrik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Umuttepe Kampüsü, Kocaeli, 41380, Türkiye

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 17/05/2018

Kabul Tarihi : 29/06/2018

Anahtar Kelimeler

Arşimet Burgu Türbini,
Debi,
HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği),
Verim.

Research Paper

Received Date : 17/05/2018

Accepted Date : 29/06/2018

Keywords

Archimedes Screw Turbine,
CFD (Computational Fluid Dynamics),
Efficiency,
Flow Rate.

Özet

Arşimet burgu türbin sistemi alçak düşü ve debi değerlerinde enerji üreten bir hidroelektrik santraldir. Bu çalışmanın amacı Arşimet burgu türbin sisteminin deneysel veri sonuçları ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) sonuçlarının karşılaştırılmasıdır. 6 farklı debi için güç ve verim değerleri nümerik olarak çözülmüştür. Bu değerler Sapanca Kurtköy deresi üzerinde kurulmuş olan Arşimet burgu türbin sisteminden elde edilen deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda nümerik sonuçların deneysel sonuçlara çok yakın çıktığı görülmüştür.

Abstract

The Archimedes screw turbine system is a hydropower plant that generates energy at low head and low flow rates. The purpose of this study is to compare the experimental data results of the Archimedes screw turbine system with the computational fluid dynamics (CFD) results. Power and efficiency values for 6 different flows are solved numerically. These values are compared with the experimental results obtained from the Archimedes screw turbine system established on the Sapanca Kurtköy stream. Numerical results were found to be very close to the experimental results at the end of the study.

1. Giriş

Dünyadaki enerji ihtiyacı, günümüzde araştırmacıları yenilenebilir enerji kaynakları üzerine çalışmalar yapmak için teşvik etmekte, bu amaçla güneş, rüzgâr, dalga ve su gibi doğal enerji kaynakları üzerine birçok araştırma yapılmaktadır [1].

Arşimet burgusu bilinen tüm hidrolik makinelerin en eski formlarından biridir ve günümüzde hala

kullanılmaktadır. Bu makine Arşimet tarafından icat edilmiştir. Kullanımına başlandığı ilk zamanlarda, suyu düşük seviyeden yüksek seviyeye çıkarmak için bir pompa görevinde kullanılırken, günümüzde işlevi bir türbin olarak tersine çevrilmiştir [2]. Arşimet burgularının türbin olarak kullanılması Arşimet burgu türbin tarihine bakıldığında nispeten yenidir. İlk Arşimet burgu türbini son yirmi yıl içinde kullanıma alınmıştır [3]. Arşimet burgu türbini akışkanın potansiyel enerjisini mekanik enerjiye çeviren ve çeşitli aktarma organlarıyla elektrik üreten bir sistemdir. Bu sistem düşük düşüye sahip hidro enerji kaynakları için

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): emrahustn@gmail.com

geliştirilmiştir [4]. Bir Arşimet burgusu, bir veya daha fazla sarmal yüzeylerin (kanatların) silindirik yüzeyine ortogonal olarak sarıldığı bir iç silindirik shafttan oluşur. Oluşan geometri, silindirik bir oluğa yataklanır. Oluk, burguyu çevreleyen bir tüp olabileceği gibi sadece burgunun alt yarısı etrafında uzanan bir geometriye de sahip olabilir. Arşimet burgusunda iki kanat arasında kalan su kütlesi buket hacmi olarak isimlendirilir. Arşimet burgusu bir pompa olarak kullanıldığında, akışkan burgu sisteminin uzunluğu boyunca alt uçtan üst uca doğru transfer edilir. Arşimet burgu türbin ise ters yönde çalışır: Akışkan burgu uzunluğu boyunca üst seviyeden alt seviyeye doğru transfer edilir. Akışkan transferi, işlemdeki buket hacimlerinin dönmesine, burgu kanat yüzeylerinde uyguladığı hidrostatik basınç ile burgu milinde bir moment oluşmasına ve düşü seviyesinin azalmasına neden olur. Süreç sonucunda elde edilen mekanik enerji bir jeneratörün burgu milinden sürülmesiyle elektrik üretmek için kullanılabilir [5].

Arşimet burgu sisteminin avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz:

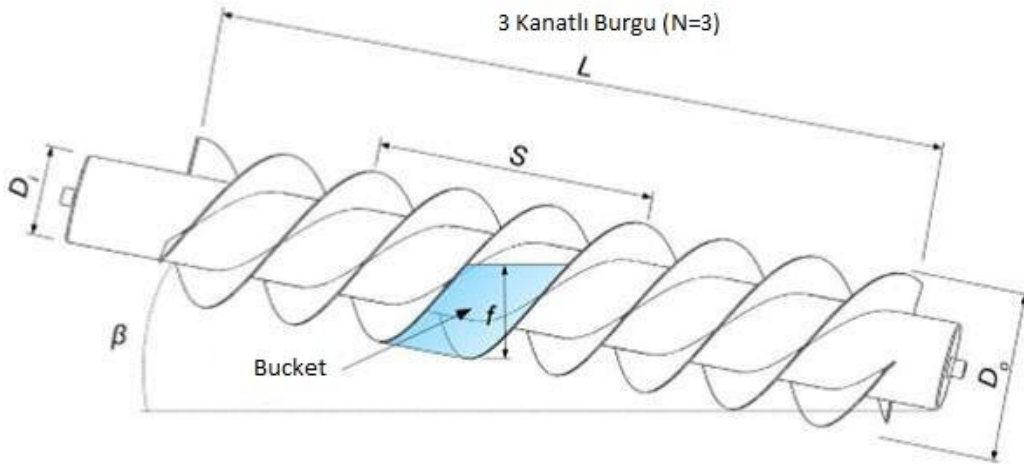
- Arşimet burgusu suda yaşayan canlılara zarar vermez. C. D. McNabb ve arkadaşlarının 2003 yılında yapmış olduğu “Red Bluff, California'daki Arşimet Asansörü ve Hidrostat Pompa ile Juvenil Chinook Somon ve Diğer Balık Türlerinin Geçışı” adlı yapmış olduğu çalışmada Arşimet burgu pompalar balıkların %98'inden fazlasının geçimini sağladığı gözlemlenmiştir [6].

- Sürekli elektrik üretiminde güvenilirlerdir. Proje su debisi %80 azalsa veya %20 artsa bile yüksek verimle elektrik üretimine devam eder.

- Kurulumu sırasında geleneksel türbinlere göre daha az hafriyat ve betonarme yapıya ihtiyaç duyduğu için çevre ve tarihi dokunun korunmasına katkı sağlar.

- Can suyu ve balık geçidi gerektirmez. Suyu oksijen miktarı bakımından zenginleştirir [7].

Arşimet burgu sistemi hareketli bölümü Şekil 1'de gösterilmiştir [8].



Şekil 1. Arşimet Burgu Türbinini [8]

Dış çap (D_o), iç çap (D_i), hatve (S), kanat sayısı (N) uzunluk (L) ve yatay eksenine göre merkezi eksenin eğimini içeren dahil edilmiş geometrileri gösterir (β). [8]

Arşimet burgu türbin parametreleri sistem verimini etkilemektedir. Tineke Saroinsong ve arkadaşlarının 2016 yılında yapmış oldukları “Üç Kanatlı Arşimet Burgu Türbin Performansı” adlı çalışmada türbin verim değerinin türbin açısına bağlı olarak nasıl değiştiği araştırılmıştır. Araştırma sonucunda maksimum verim değeri 45° 'de %89 olarak elde edilmiştir[9].

Arşimet burgu türbin $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ila $10 \text{ m}^3/\text{s}$ su debisi ve 1 m ile 10 m kot farkının bulunduğu yerlerde kullanılabilir. Bu kullanım alanlarını şu şekilde sıralayabiliriz;

- Kot farkının el verdiği yeterli suyu olan tüm dere

ve nehirlerde;

- Mevcut gölet ve hidroelektrik üretim tesislerinin kuyruk suyu ve can suyu çıkışlarında;

- İshale hatları ve sulama kanallarında;

- Arıtma tesislerinin giriş ve çıkış yapılarında;

- Revizyon gerektiren küçük üretim santrallerinin yerine;

- Terk edilmiş su değirmenlerinin yerine;

- Mevcut bentlerde;

- Fabrikaların endüstriyel su soğutma sistemi çıkışlarında;

Yeterli düşü ve debi değeri sağlandığı koşullarda kullanılabilir [10].

2. Deneysel Çalışmalar

Arşimet burğu türbin ile çalışan hidroelektrik santral sisteminin geliştirilmesi çalışması kapsamında yapılan Sapanca Kurtköy deresi üzerindeki Arşimet burğu türbin sisteminin boyut özellikleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

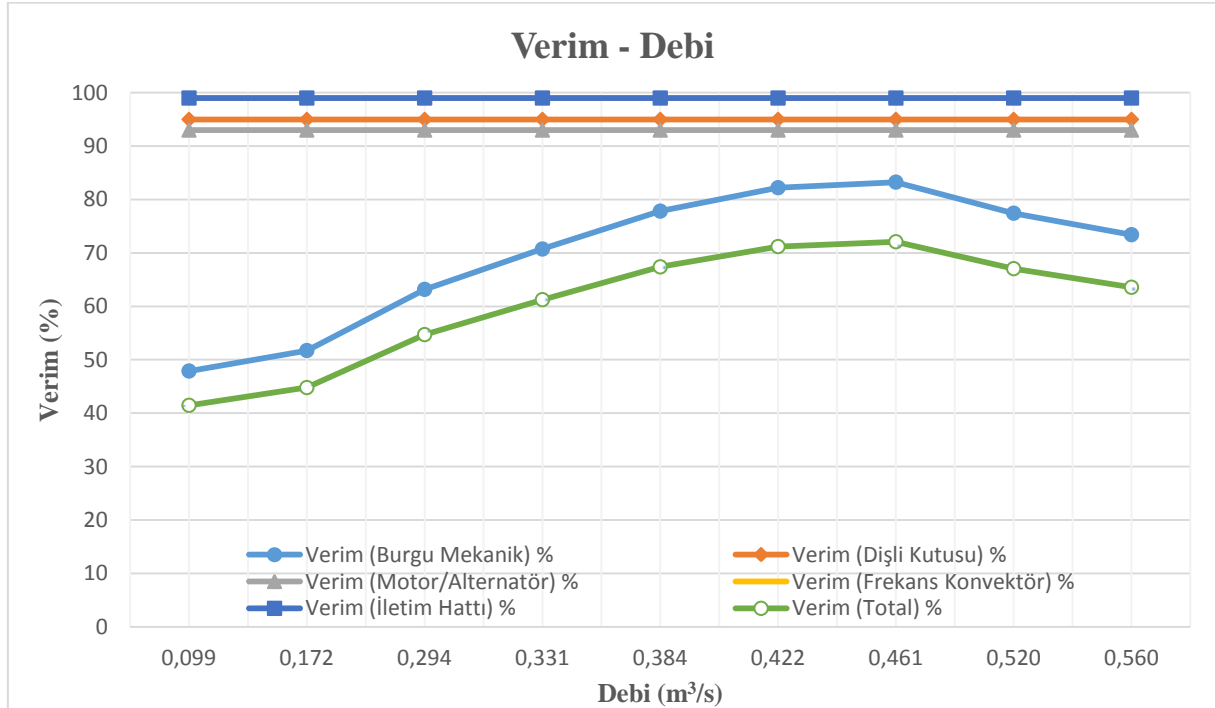
Tablo 1. Sapanca Kurtköy Arşimet Burğu Türbin Tasarım Parametreleri

Q (m ³ /s)	0,46
H (m)	4,7
n (rpm)	39,6
Do (m)	1,422
Di (m)	0,71
P (m)	1,422
β (°)	30
N	3
L (m)	9,4
Gap (mm)	10

Tablo 1’de Q (m³/s) debi değerini H (m) düşü değerini n (rpm) Sistemin dönüş hızını ve Gap (mm) oluk ile kanatlar arasında bulunan boşluk miktarını göstermektedir. Sapanca Kurtköy deresinde kurulan Arşimet burğu türbin sistemi Tablo 1’de bulunan bu değerlere bağlı kalınarak üretilmiştir.

Yapılan testlerde, su kanalının yüksekliği (m) ve suyun hız değerleri (m/s) tespit edilerek kanaldaki su debisi belirlenmiştir. Su debisinin belirlenmesinde ultrasonik

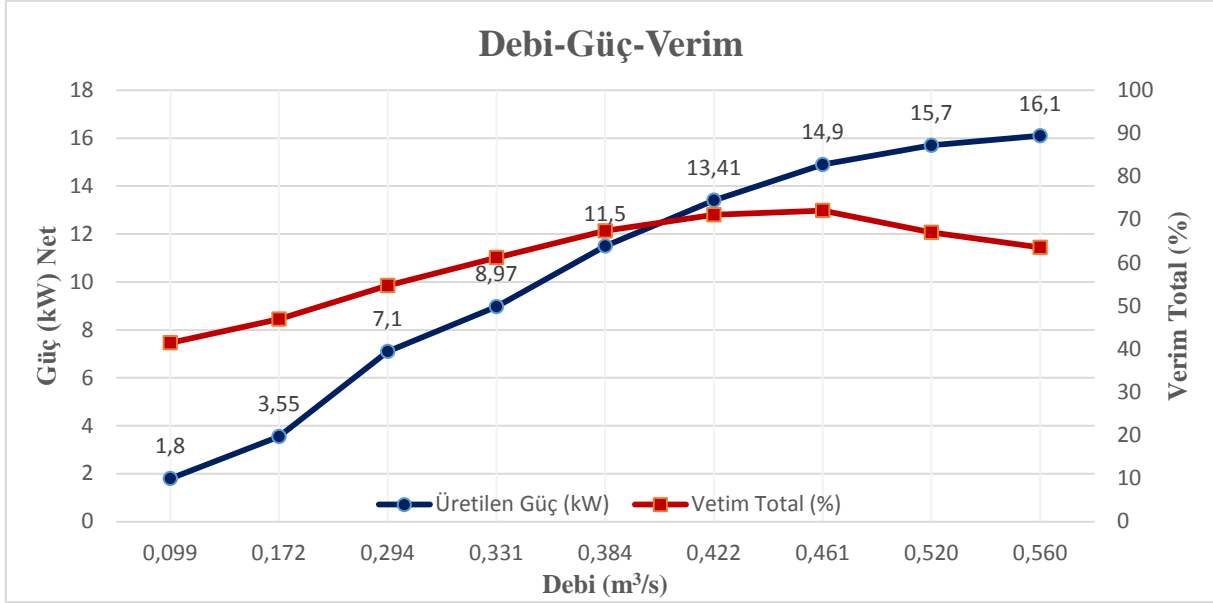
hacimsel debimetre kullanılmıştır. Sistemde olası tehlike durumlarında suyu tahliye etmek için tasarlanmış bir adet savak kapağı bulunmaktadır. Deney süresince kapak sisteminden suyun tahliyesi sağlanarak türbin giriş debisi ayarlanmıştır. Sistemde debi değeri belirlendikten sonra güç hesabı yapılarak, belirlenen debi değerinde elde edilebilecek maksimum güç değeri elde edilmiştir. Sapanca Kurtköy Arşimet burğu türbin sisteminde tüm türbin parametrelerini kontrol eden Scada (Supervisory Control And Data Acquisition) sistemi bulunmaktadır. Her bir debi değeri için türbin sisteminin şebekeye iletmış olduğu güç değeri bu Scada yardımı ile bilinmektedir. Scada sisteminden elde edilen güç değeri ile hesaplanan maksimum güç değeri arasındaki oran bize türbin sisteminin total verim değerini vermektedir. Sistemde kullanılan dişli kutusu (verim %95), motor alternatör (verim %93), frekans konvertör (verim %99) ve iletim hattı (verim %99) gibi parçaların verimleri bilinmektedir. Bu değerlerden yararlanılarak burğu türbin sisteminin mekanik verimine ulaşılmıştır. Bu değere ulaşılırken basit debi güç formüllerinden yararlanılmıştır. Burğu türbin mekanik verim değerinin belirlenmesindeki amaç hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizinde elde edilen verim değerinin burğu türbinin mekanik verim değeri olmasıdır. Sistemde deney sonuç verileri ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği verileri bu değer üzerinden karşılaştırılacaktır. Bu değer Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Debi Verim İlişkisi Grafiği

Şekil 2’de Burgu sisteminde kullanılan dişli kutusu, frekans konvektör, iletim hattı, motor/alternatör ve burgu sisteminin değişen debi karşısında verim değerlerinde meydana gelen değişimler gösterilmiştir. Dişli kutusu,

frekans konvektör, iletim hattı ve motor/alternatör gibi parçalar değişen debi değeri karşısında verim değerleri sabit kalmaktadır.



Şekil 3. Debi Güç Verim İlişkisi Grafiği

Şekil 3’te türbin sisteminin deney sonuçları neticesinde elde edilen veriler gösterilmiştir. Burada kullanılan güç değeri Arşimet burgu türbin sistemi Scada verilerinden alınmıştır. Grafikten görüldüğü üzere güç değeri debi artışı ile birlikte artış gösterirken verim değeri tasarım debisi olan 0,46 m³/s değerine kadar artış gösterip tasarım debisi üzerindeki debi değerlerinde azalma eylemine girmiştir.

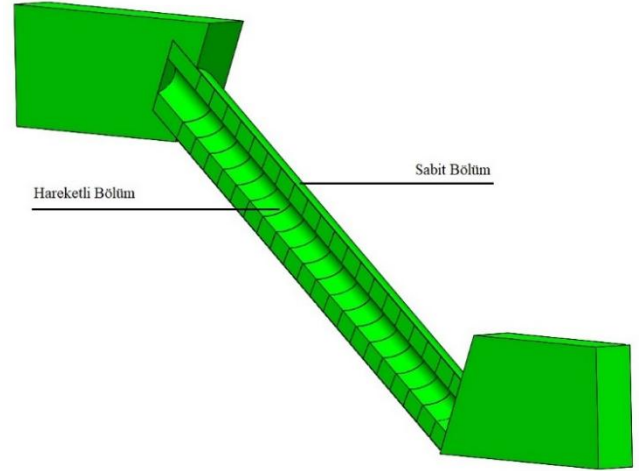
3. Sayısal Çalışmalar

Arşimet burgu türbin sisteminin Cad çizimini yapmak için SolidWorks, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizlerini yapmak için ilgili programlar kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar şu şekildedir;

Akış Geometrisinin Oluşturulması; Tasarım parametreleri Tablo 1’de verilen burgu türbin yapılacak olan HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) analizine uygun olacak şekilde SolidWorks programı kullanılarak bilgisayar ortamına yansıtılmıştır.

Şekil 4 ‘te HAD analizlerinde kullanılacak akış geometrisi gösterilmiştir. Akış geometrisi sabit ve hareketli olmak üzere iki ayrı gövde olarak modellenmiştir.

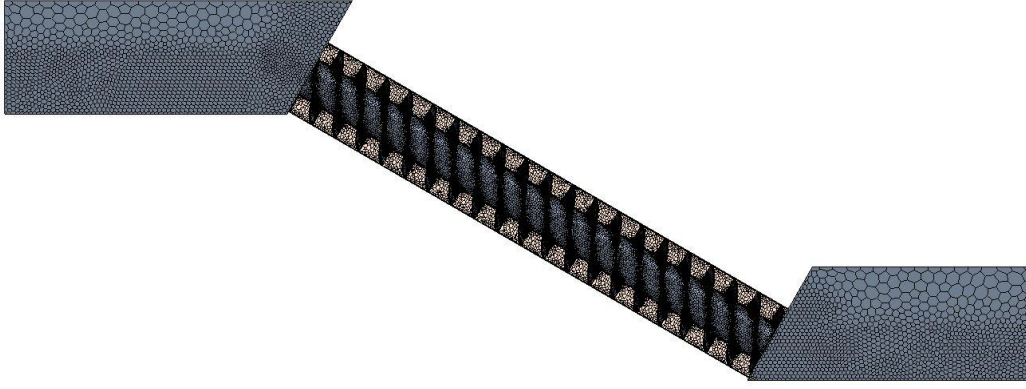
Çözüm Ağının (Mesh) Oluşturulması; analiz programında akış geometrisi üzerine çözüm ağı oluşturulmuştur. Oluşturulan çözüm ağındaki mesh sayısı 1799571’dir. Analiz sırasında değişen debi değerine karşın mesh sayısı sabit tutularak analiz yapılmıştır.



Şekil 4. Akış Geometrisi Kesit Görünüşü

Şekil 5’te Arşimet burgu türbin sisteminin analiz programında oluşturulan çözüm ağı görseli paylaşılmıştır.

Fizik Koşullarının Belirlenmesi; Arşimet burgu sistemi zamana bağlı olarak ve 2 faz (su, hava) kullanılarak 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Analiz süresince yoğunluklar iki faz için de sabit kabul edilmiştir. Yerçekimi ivmesi 9,81 m/s² olarak alınmıştır. Analiz süresince 6 farklı (0,92; 0,184; 0,276; 0,368; 0,46; 0,552) su debisi (m³/s) kullanılmıştır. Sistem çıkışı atmosfere açık olarak kabul edilmiştir. Hareketli gövde üzerinde 39,6 (rpm) dönüş hızı eklenmiştir ve sistem analiz süresince gerçek zamanlı olarak döndürülmüştür.



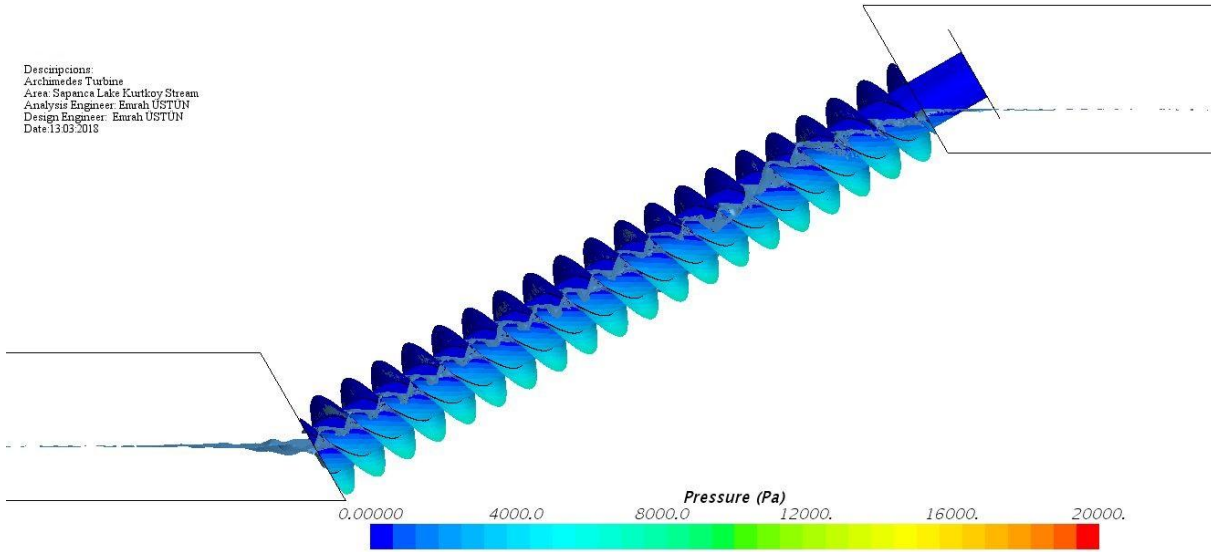
Şekil 5. Çözüm Ağı Genel Görünüş

Sistemde zaman adımı 0,017 s olarak seçilmiş ve her bir zaman adımı aralığında 10 yinleme (iterations) yapılmıştır. Belirlenen zaman adımı sistem yakınsama durumuna göre tercih edilmiştir. Sistemde birikme meydana gelmediğinden dolayı sisteme giren debi miktarı sistemden çıkan debi miktarına eşit olmak zorundadır. Yapılan analiz çalışmalarında fiziksel zamanda 60 saniye çözdürülen analiz sonucunda giriş çıkış debileri arasındaki fark %1 mertebesinde olmaktadır. Yapılan çalışmalarda bu hata oranı kabul edilebilir düzeyde olduğuna karar

verilmiştir ve her bir debi değeri için analiz 60 saniye sonrasında sonlandırılarak bir sonraki debi değerine geçilmiştir.

4. Analiz Sonuçları

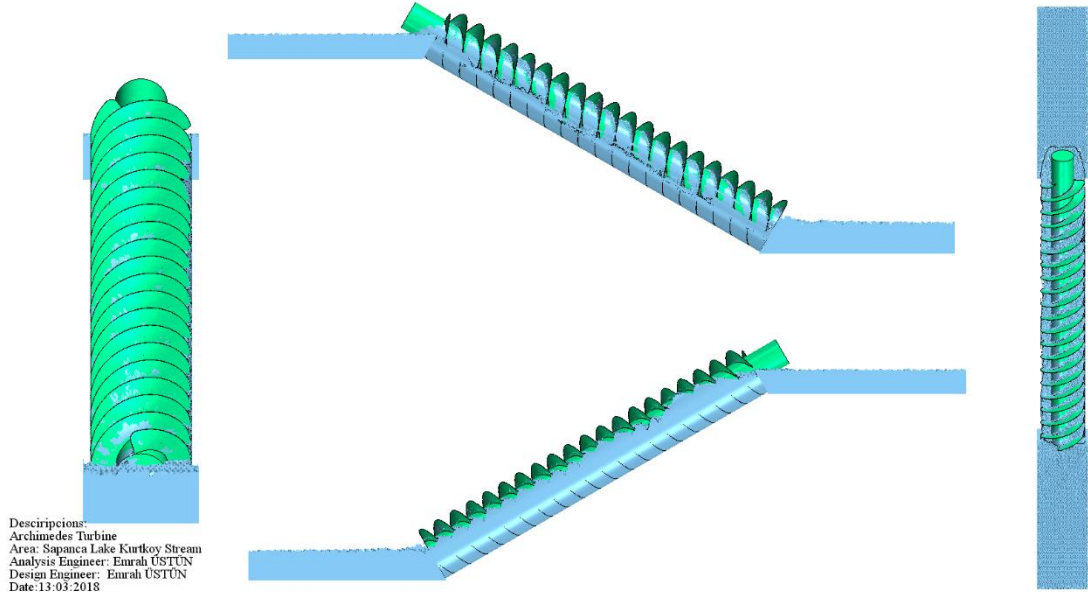
Yapılan analizlerde her debi değeri için sistemden elde edilen giriş su debisi, çıkış su debisi ve güç, basınç değerleri analiz programı yardımıyla bulunmuştur. Bu değerler Tablo 3'te gösterilmiştir.



Şekil 6. Burgu Hareketli Bölge Üzerinde Oluşan Basınç Görseli

Şekil 6'da Arşimet burğu türbin sisteminin 0,552 m³/s su debisinde hareketli bölgesinde oluşan basınç değerleri gösterilmiştir. Sistemde en yüksek debi değeri 0,552 m³/s olduğundan dolayı oluşacak en yüksek basınç değeri de bu debi değerinde meydana gelecektir.

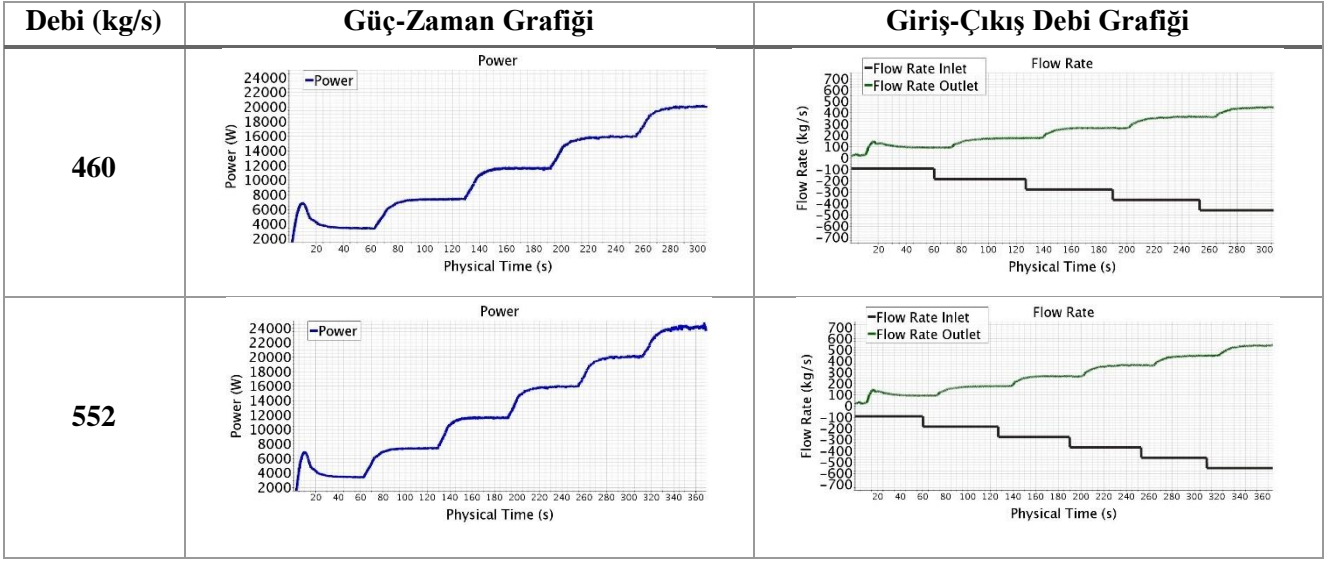
Tablo 2'de gösterilen grafiklerde sistemin her 60 saniyede bir debi artışına karşın meydana gelen güç değeri ve giriş-çıkış debisi gösterilmiştir. Bu değerler Sapanca Kurtköy Deresi Arşimet Burğu Türbini verileri ile Tablo 4'te karşılaştırılmıştır.



Şekil 7. Arşimet Burgu Türbin Sistemi Analiz Görseli

Tablo 2. Güç- Zaman Grafiği Tablosu

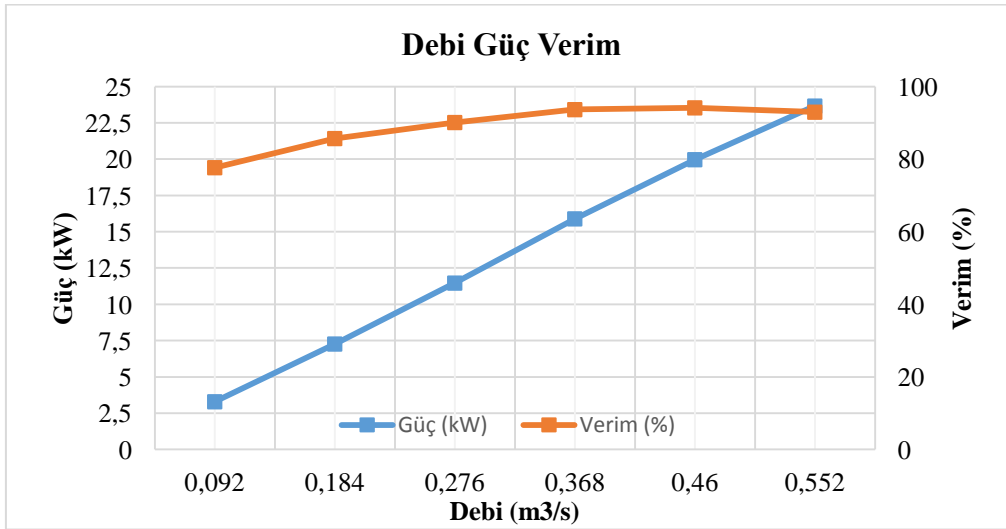
Debi (kg/s)	Güç-Zaman Grafiği	Giriş-Çıkış Debi Grafiği
92		
184		
276		
368		

Tablo 2 (Devam). Güç- Zaman Grafiği Tablosu**Tablo 3.** Analiz Değerleri Tablosu

Debi (kg/s)	Moment (Nm)	Güç (Analiz Sonucu) (W)	Güç (Potansiyel) (W)	Verim (%)	Doluluk Oranı (%)
92	794,496	3294,7	4241,844	77,67	20
184	1753,22	7270,46	8483,688	85,7	40
276	2765,54	11468,4	12725,532	90,12	60
368	3832,59	15893,4	16967,376	93,67	80
460	4815,72	19970,4	21209,22	94,16	100
552	5705,81	23661,5	25451,064	92,97	120

Analiz sonucunda elde edilen moment, güç ve buna bağlı olarak elde edilen verim değerleri Tablo 3'te

gösterilmiştir. Tabloda bahsedilen doluluk oranı ifadesi sistem giriş debisinin tasarım debisine oranıdır.

**Şekil 8.** Analiz Sonucu Debi Güç Verim Grafiği

Şekil 8’de artan debi değerine karşın burğu türbin ürettiği güç değeri gösterilmiştir. Grafikten görüldüğü üzere debi değerinin artması güç değerinin artışına yol açmaktadır. Diğer yandan debi değerinin artması tasarım

debisi olan 0,46 m³/s su debisine kadar verim değerini arttırırken tasarım debisinin üzerindeki yüklemelerde verim değerini düşürmektedir.

Tablo 4. Analiz Değerleri İle Deney Değerleri Karşılaştırılma Tablosu

Analiz Sonucu		Deney Sonucu	
Doluluk Oranı (%)	Verim (Analiz) (%)	Doluluk Oranı (%)	Verim (Deney) (%)
20	77,671	21,57	47,89
40	85,699	37,50	51,73
60	90,121	63,90	63,18
80	93,67	83,48	77,83
100	94,159	100,17	83,26
120	92,969	121,74	73,42

Tablo 4’te Arşimet burğu türbininin deney sonuçlarından elde edilen verileri ile analiz sonuçlarından elde edilen verileri gösterilmiştir.

5. Sonuç

Yapılan analiz çalışmaları neticesinde elde edilen veriler deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar şu şekildedir.

Analiz çalışması sonucunda tasarım debisi olan 0,46 m³/s ‘de sistem maksimum verim değeri olan %94,159 değerine ulaşmıştır. Bu doğrultuda tasarım parametrelerinin doğruluğu kanıtlanmıştır.

Analiz sonuçlarında görünen, sistem tasarım debisine yaklaştıkça verim değerinin artmasının sebebi, GAP boşluğundan kaçan debinin yüzdesel olarak düşmesidir. Yani iş yapmayan akışkan miktarı yapan akışkan miktarına oranı azalmaktadır.

Sistemin tasarım debisi üzerindeki yüklemelerde (552 kg/s) verim değerinin (%92,97) düşmesinin nedeni ise burğu türbinde kanatlar üzerinde artan ters momenttir. Yani burğu milini ters yönde döndürmeye çalışan akışkan miktarı artan debi değeriyle birlikte yükselmektedir.

Sistem tasarım debisi olan 0,46 m³ /s su debisine yaklaştıkça verim değeri analiz sonuçlarında ve kontrollü deney sonuçlarında görüldüğü gibi artma göstermektedir. Ancak analiz sonuçları ile deneysel sonuçlar arasında verim değeri olarak farklılıklar mevcuttur. Sistem tasarım debisi olan 0,46 m³ /s ‘de analiz sonuçlarından ulaşılan verim değeri %94,159 iken, sistem deney süresinde 0,46 m³ /s için ulaşılan debi değeri %83,262’dir.

Sistem dönmekte olan bir sistemdir ve her dönen sistemde olduğu gibi bu sistemde de dönme etkisinden kaynaklanan sürtünme (rulman) kayıpları mevcuttur. Sistemde deneyler süresince burğu dönüş hızı (rpm) sabit tutulmuştur. Bunun sonucunda sistemin düşük debilerde ürettiği güç karşısında meydana gelen sürtünme kayıpları sistemde büyük ölçüde verim düşüşüne neden olmaktadır. Bu kayıplar sistem debisi yükseldiğinde de mevcuttur ancak üretilen güç değeri arttığı için verim değerindeki düşüş miktarı azalmıştır.

Tüm bunların yanında sistemde öngöremediğimiz üretimden kaynaklanan kayıplar da mevcuttur. Bu kayıplar sistemde analiz sonuçlarında elde edemeyeceğimiz değerlerdendir.

Tüm bunlara rağmen Hidroelektrik santrallerinde kullanılan klasik türbinlere oranla Arşimet burğu türbini tasarım debisinin %20’si ile %120’si aralığında yüksek verimle elektrik üretmektedir.

Kaynaklar

- [1] Stergiopoulou A., Stergiopoulos V., (2012). Quo vadis Archimedean turbines nowadays in Greece, in the era of transition? Journal of Environmental Science and Engineering A, **1**, 870-879.
- [2] Rorres C., (2000).The turn of the screw: Optimal design of the Archimedean screw. J. Hydr. Engng. **126**(1), 72–80.
- [3] Brada K., (1999). Wasserkraftschnecke ermöglicht Stromerzeugung über Kleinkraftwerke [Hydraulic screw generates electricity from micro hydropower stations]. Maschinenmarkt Würzburg, 52–56.

- [4] Williamson S., Stark B., Booker J., (2014). Low head pico hydro turbine selection using a multi-criteria analysis. *Renewable Energy*, **61**, 43-50.
- [5] Lubitz W. D., Lyons M., Simmons S., (2014). Performance Model of Archimedes Screw Hydro Turbines with Variable Fill Level. *American Society of Civil Engineers*. DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000922
- [6] McNabb C. D., Liston C. R., Borthwick S. M., (2003). Passage of juvenile chinook salmon and other fish species through Archimedes lifts and a hidrostral pump at Red Bluff, California. *Trans. Am. Fish. Soc.*, **132**(2), 326–334.
- [7] <http://www.mikrohes.com.tr/avantajlari/> (Erişim Tarihi: 18.04.2018)
- [8] Songin K., (2017). Experimental Analysis of Archimedes Screw Turbines. Guelph, Ontario, Canada Kathleen Songin, 5-6 August.
- [9] Saroinsong T., Soenoko R., Wahyudi S., Sasongko M. N. (2016). Performance of Three-Bladed Archimedes Screw. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, **11**(15), 9491-9495.
- [10] <http://www.mikrohes.com.tr/uygulama-alani/> (Erişim Tarihi: 02.06.2018).