

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ARŞİMET VİDALI HİDROELEKTRİK SANTRALİN TEORİK
VE DENEYSEL İNCELENMESİ**

EMRAH ÜSTÜN

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ARŞİMET VİDALI HİDROELEKTRİK SANTRALİN TEORİK
VE DENEYSEL İNCELENMESİ

EMRAH ÜSTÜN

Prof. Dr. Kadri Süleyman YİĞİT
Danışman, Kocaeli Üniv.
Prof. Dr. Murat HOŞÖZ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.
Dr. Öğr. Üyesi Ünal UYSAL
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.



Tezin Savunulduğu Tarih: 31.07.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Arşimet burgu türbin sistemi alçak kot farkının olduğu ve debisinin yıl içerisinde düşük seviyelerde seyrettiği akarsularda değerlendirilmemiş hidroelektrik enerjiyi elektrik enerjisine çevirmek için kullanılabilecek en efektif sistemlerden birisidir. Dünya üzerinde Arşimet burgu türbin sistemini kullanan birçok mikro elektrik santrali mevcuttur. Ülkemizde artan enerji ihtiyacının karşılanmasında Arşimet burgu türbinini önemli bir model olarak görülmektedir. Gerek küçük ölçekli hidroelektrik yapıları içerisinde yüksek verimle çalışması gerekse ekolojik dengeyi bozmayan çevreci bir yapıya sahip olması nedeniyle Arşimet burgu türbin modelinin ülkemize büyük katkı sağlanması düşünülmektedir.

Tez çalışmamı yönlendiren ve çalışmalarımda bana destek olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Kadri Süleyman YİĞİT'e, tez çalışmaları boyunca bütün verilerin alındığı Mikrohes Araştırma Geliştirme İnovasyon Enerji İnş. San. Ve Tic. Ltd. Şti. Kurucu ortağı Sayın Emin Selman AKÇAMUR'a, tez çalışmaları boyunca benden desteklerini esirgemeyen Makine Müh. Kemal ÜNSAL'a, Jeofizik Müh. Çağatay BATUR'a ve Makine Müh. Abdullah CEBECİ'ye çok teşekkür ederim. Ayrıca tüm eğitim hayatım boyunca beni destekleyen ve her türlü fedakârlığı yapan aileme sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Eylül – 2018

Emrah ÜSTÜN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
GİRİŞ	1
1.GENEL BİLGİLER	2
1.1. Hidroelektrik Enerji	2
1.1.1. Hidrolik türbin çeşitleri	2
1.2. Türkiye’deki Hidrolik Enerji.....	4
1.2.1. Türkiye’deki küçük ölçekli hidroelektrik santral potansiyeli	5
1.3. Arşimet Burgu Türbin İle Çalışan Hidroelektrik Sistemini Geliştirilmesi Projesi Özet Bilgiler	6
2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	9
2.1.Arşimet Burgu Türbini.....	9
2.2.Arşimet Burgu Türbin Avantajları	10
2.3.Arşimet Burgu Türbin Tasarım Parametreleri	11
2.4.Arşimet Burgu Türbin Uygulama Alanları	13
3.YAPILAN ÇALIŞMALAR	14
3.1. Arşimet Burgu Türbininin Debi ve Düşü Değerlerinin Belirlenmesi	14
3.1.1. Kurtköy Deresi hidrolik potansiyeli.....	14
3.1.2. Arşimet burgu türbin lokasyonu belirlenmesi ve tasarım düşüsü	15
3.2. Savak Betonlu İçerisindeki Akış Analizleri	16
3.2. Arşimet Burgu Türbin Tasarım Parametreleri	20
3.3. Arşimet Burgu Türbin Akış Geometrisinin Oluşturulması	21
3.4. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analiz Çalışmaları	23
3.4.1. Çözüm ağının oluşturulması	23
3.4.2. Fizik koşullarının belirlenmesi.....	25
3.4.3. Analiz sonuçları	26
3.4.3.1. Giriş – çıkış debileri	26
3.4.3.2. Hareketli bölümde oluşan kuvvet değerleri	27
3.4.3.3. Hareketli bölümde oluşan moment değerleri	29
3.4.3.4. Hareketli bölümde oluşan güç değerleri.....	30
3.4.3.5. Gap bölgesinin incelenmesi	31
3.4.3.6. Maksimum debi değerinde kanatlar üzerinde oluşan basınç.....	33
3.4.3.7. Hata oranları	34
3.4.3.8. Analiz çalışmaları süresince elde edilen görseller	35
3.4.4. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	42
3.5. Sapanca Kurtköy Arşimet Burgu Türbini	43

3.5.1. Sapanca Kurtköy Arşimet burgusu kontrollü deney çalışmaları	45
3.5.1.1. Debi değerinin belirlenmesi	45
3.5.1.2. Güç ve toplam verim değerlerinin belirlenmesi.....	45
3.5.1.3. Burgu türbin mekanik verim değerinin belirlenmesi	46
3.5.2. Arşimet burgu türbin deney sonuçlarının değerlendirilmesi.....	47
3.5.3. Deney sonuçları ile analiz verilerinin karşılaştırılması.....	48
4.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR	52
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	54
ÖZGEÇMİŞ	55



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Düşü uygunluğuna göre türbin seçim diyagramı	3
Şekil 1.2.	Arşimet burgu türbin projesi görseli	8
Şekil 2.1.	Tipik bir Arşimet burgu türbin yandan görünüş.....	10
Şekil 2.2.	Türbin şaftı eğiminin türbin verimliliğine etkisi	12
Şekil 2.3.	Arşimet burgu türbin tasarım parametreleri	12
Şekil 2.4.	Tasarım parametreleri koordinat sistemi görünüşü.....	13
Şekil 3.1.	166 kg/s debi değerinde savak içi akış analiz görseli.....	16
Şekil 3.2.	212 kg/s debi değerinde savak içi akış analiz görseli.....	17
Şekil 3.3.	260 kg/s debi değerinde savak içi akış analiz görseli.....	17
Şekil 3.4.	320 kg/s debi değerinde savak içi akış analiz görseli.....	18
Şekil 3.5.	400 kg/s debi değerinde savak içi akış analiz görseli.....	18
Şekil 3.6.	460 kg/s debi değerinde savak içi akış analiz görseli.....	19
Şekil 3.7.	531 kg/s debi değerinde savak içi akış analiz görseli.....	19
Şekil 3.8.	Akış geometrisi kesit görünüş	21
Şekil 3.9.	Gap görünüşü	22
Şekil 3.10.	Çözüm ağı genel görünüş	24
Şekil 3.11.	Burgu çıkış bölümü çözüm ağı detay görünüş	24
Şekil 3.12.	Başlangıç koşulları oluşturulmuş Arşimet burgu türbini	25
Şekil 3.13.	6 farklı debi değerine ait giriş – çıkış debi grafiği	27
Şekil 3.14.	6 farklı debi değerinde kuvvet zaman grafiği.....	28
Şekil 3.15.	Kuvvet doluluk oranı grafiği	28
Şekil 3.16.	6 farklı debi değerinde moment zaman grafiği	29
Şekil 3.17.	Moment doluluk oranı grafiği	30
Şekil 3.18.	6 farklı debi değerinde güç zaman grafiği.....	30
Şekil 3.19.	Güç doluluk oranı grafiği	31
Şekil 3.20.	Gap bölgesi.....	32
Şekil 3.21.	Gap bölgesi hız vektörleri	32
Şekil 3.22.	Gap bölgesi detay görünüş	33
Şekil 3.23.	552 kg/s’de kanatlar üzerinde meydana gelen basınç değeri	34
Şekil 3.24.	Hata oranları görseli	35
Şekil 3.25.	92 kg/s debi değerinde su hacmi görseli	36
Şekil 3.26.	184 kg/s debi değerinde su hacmi görseli	36
Şekil 3.27.	276 kg/s debi değerinde su hacmi görseli	37
Şekil 3.28.	368 kg/s debi değerinde su hacmi görseli	37
Şekil 3.29.	460 kg/s debi değerinde su hacmi görseli	38
Şekil 3.30.	552 kg/s debi değerinde su hacmi görseli	38
Şekil 3.31.	92kg/s debi değerinde analiz sonuç görseli.....	39
Şekil 3.32.	184kg/s debi değerinde analiz sonuç görseli.....	39
Şekil 3.33.	276kg/s debi değerinde analiz sonuç görseli.....	40
Şekil 3.34.	368kg/s debi değerinde analiz sonuç görseli.....	40
Şekil 3.35.	460kg/s debi değerinde analiz sonuç görseli.....	41
Şekil 3.36.	552kg/s debi değerinde analiz sonuç görseli.....	41

Şekil 3.37. Arşimet burgu türbin betonarme yapı kot değerleri	44
Şekil 3.38. Arşimet burgu türbin montajlı görseli	44
Şekil 3.39. Sapanca Kurtköy Arşimet burgu türbini	50



TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1. Sapanca Gölü'ne dökülen derelerin debi değerleri.....	14
Tablo 3.2. Sapanca Gölü'ne dökülen derelerin aylık debi değerleri.....	15
Tablo 3.3. Arşimet burğu türbin tasarım parametreleri.....	20
Tablo 3.4. Tasarım parametrelerine karşın üretilecek güç değeri.....	21
Tablo 3.5. Analiz sonuçları ile potansiyelin karşılaştırılması.....	42
Tablo 3.6. Deney sonucu debi değerleri	45
Tablo 3.7. Güç ve toplam verim değerleri	46
Tablo 3.8. Burğu türbin mekanik verim değerleri.....	47
Tablo 3.9. Analiz değerleri ile deney değerleri karşılaştırılma tablosu	48

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

D_i	: İç çap, (m)
D_o	: Dış çap, (m)
g	: Yerçekimi ivmesi, (m/s ²)
H	: Düşü, (m)
L	: Burgu uzunluğu, (m)
N	: Kanat sayısı
n	: Türbin devir sayısı, (rpm)
P	: Hatve, (m)
P_{analiz}	: Analiz sonuçlarından elde edilen güç değeri, (W)
P_{elekt}	: Üretilcek elektriksel güç, (W)
P_{mek}	: Üretilcek mekanik güç, (W)
$P_{potansiyel}$	: Üretilebilecek maksimum güç değeri, (W)
P_{SCADA}	: SCADA sisteminden okunan güç değeri, (W)
Q	: Debi, (m ³ /s)
r	: Merkez çizgisine olan mesafe, (m)
R_i	: İç yarıçap, (m)
R_o	: Dış yarıçap, (m)
T	: Tork, (Nm)
β	: Yatayla yaptığı açı, (°)
η_{bm}	: Arşimet burgu türbin mekanik verim değeri
η_{dk}	: Dişli kutusu verim değeri
η_{fk}	: Frekans konvertör verim değeri
η_{jh}	: İletim hattı verim değeri
η_{ma}	: Alternatör verim değeri
η_{top}	: Arşimet burgu türbin sistemi toplam verim değeri
$\eta_{toplam-analiz}$	: Analiz sonuçlarında elde edilen toplam verim değeri
θ	: Normalden merkez hattına olan açı, (°)
ρ	: Akışkanın yoğunluğu, (kg/m ³)
ω	: Açısal hız, (rad/s)

Kısaltmalar

BDT	: Bilgisayar Destekli Tasarım
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
HES	: Hidroelektrik Enerji Santrali
SCADA	: Supervisory Control And Data Acquisition (Danışmalı Kontrol ve Veri Toplama Sistemi)
TEYDEB	: Teknoloji ve Yenilik Destek Programları Başkanlığı
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

ARŞİMET VİDALI HİDROELEKTRİK SANTRALİN TEORİK VE DENEYSEL İNCELENMESİ

ÖZET

Son zamanlarda özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisine olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Bunun sonucunda hidrolik kaynaklar üzerindeki çalışmalar hız kazanmıştır. Özellikle düşük debi ve yüksekliklerde kullanım alanı yaygınlaşan Arşimet burgu türbinleri dünya genelinde tercih edilir hale gelmiştir. Yapılan bu yüksek lisans tez çalışmasında, Arşimet burgu türbin sistemi parametreleri, debi ve kot farkı değerlerine göre belirlenmiştir. Belirlenen bu parametreler üzerinden sistemin tasarımı yapılmıştır. Yapılan tasarım doğrultusunda türbin sistemine HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) analizleri yapılarak elde edilen sonuçlar doğrultusunda sistemin nihai tasarımı belirlenmiş ve Arşimet burgu türbin sistemi üretime hazır hale getirilmiştir.

HAD analizlerinde 6 farklı debi değeri kullanılmış ve bu debi değerlerine karşın üretilen güç değerleri üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır. Analiz sonuçlarını doğrulamak üzere üretimi tamamlanan ve Sapanca'da faaliyete alınan Arşimet burgu türbin sistemi üzerinde farklı deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde elde edilen debi ve güç değerleri, HAD analiz sonuçları ile karşılaştırılmış ve aralarındaki farklar incelenmiştir. Yapılan incelemeler doğrultusunda sistemin analiz sonuçları ile deneysel sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Arşimet Burgu Türbini, Debi, Güç, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD).

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF AN ARCHIMEDES SCREW HYDROELECTRIC POWER PLANT

ABSTRACT

Recently, the need for electrical energy produced especially from renewable energy sources is increasing. As a result, work on hydraulic resources has accelerated. Archimedes screw turbines have become widely preferred worldwide especially in low flow rates and low heights. In this master's thesis, Archimedes was determined according to the parameters of the screw turbine system, flow rate and level difference. The system has been designed based on these parameters. In line with the design, the final design of the system was determined in accordance with the results obtained by the CFD (Computational Fluid Dynamics) analysis for the turbine system and Archimedes screw turbine system was made ready for production.

6 different flow rates were used in the CFD analysis, and studies on the power values produced were concentrated despite these flow rates. Different experiments were carried out on the Archimedes screw turbine system, whose production was completed and commissioned in Sapanca, to verify the results of the analysis. As a result of the experiments, the flow rate and power values were compared with the results of CFD analysis and the differences between them were examined. According to the results of the analysis, it was found that the results of the analysis were very close to the experimental results.

Keywords: Archimedes Screw Turbine, Flow rate, Power, CFD (Computational Fluid Dynamics).

GİRİŞ

Günümüzde artan nüfus ve buna bağlı olarak gelişen sanayi özellikle elektrik enerjisine olan ihtiyacı arttırmaktadır. Elektrik enerjisi yenilenebilir ve yenilenemez olarak iki kaynaktan üretilmektedir. Yenilenemez enerji temel prensip olarak karbon bazlı kaynakların (kömür, petrol, doğalgaz) oksijen ile reaksiyonu sonucunda elde edilen enerjidir. Bu tür enerji kaynakları enerjiye artan talep karşısında hızlı bir azalma göstermektedir. Aynı zamanda karbon salınımı çevresel bir risk olarak sorun oluşturmaktadır. Fosil kökenli bu kaynakların yakın bir zamanda tükeneceği düşünülmektedir. Yenilenebilir enerji ise sürekli devam eden doğal süreçlerdeki var olan enerji akışından elde edilen enerjidir. Bu kaynaklar temelde güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi jeotermal enerji ve hidrolik enerji olarak örnek verilebilir. Artan enerji ihtiyacıyla birlikte yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmalar da hız kazanmıştır [1].

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde hidroelektrik enerji önemli bir yer tutmaktadır. Yapılan tez çalışmasında küçük ölçekli bir hidroelektrik santral olan Arşimet burgu türbin sistemi incelenmiştir. Çalışma boyunca gerekli olan veriler proje numarası 7151350 olan “Arşimet Burgu Türbin İle Çalışan Hidroelektrik Sistemini Geliştirilmesi” isimli TÜBİTAK / TEYDEB 1507 projesinden alınmıştır.

Arşimet burgu türbin sistemi tasarımına başlanırken en önemli tasarım kriterleri enerji elde edilecek olan akışkanın debisi ve düşüsüdür. Bu tez çalışmasında Sakarya Sapanca Kurtköy Deresi’nin debi ve düşü değerleri kullanılmıştır. Yıl içinde rejimde değişiklik gösteren Kurtköy Deresi’nin yıl içinde yaklaşık 6 ortalama debi değeri ile aktığı kabul edilmiştir. Kabul edilen bu değerler doğrultusunda Arşimet burgu türbin sistemi tasarlanmış olup 6 farklı debi değeri için HAD analizleri yapılmıştır. Analiz çalışmalarından elde edilen sonuçlar Arşimet burgu türbin sisteminin deneysel verileri ile karşılaştırılmıştır.

1.GENEL BİLGİLER

1.1. Hidroelektrik Enerji

Büyük miktarda enerji depolamak için hidrolik su gücü en iyi yöntemlerden birisidir. Su gücü kullanarak üretilen enerjiye hidroelektrik enerji adı verilir. Hidroelektrik enerji üretimini sağlayan hidroelektrik santraller, elektrik üretmenin yanı sıra sel oluşumunu engeller, su kaynağı teşkil eder ve hatta ulaşımında dahi kullanılabilirler [2].

Suyun kinetik ve potansiyel enerjisi, hidroelektrik santrallerde kullanılan su türbinleri vasıtası ile mekanik enerjiye çevrilmektedir. Elde edilen mekanik enerji su türbinlerinin tahrik ettiği jeneratörler vasıtası ile elektrik enerjisine çevrilmektedir. Elde edilen elektrik enerjisi ise, enerji iletim hatları vasıtası ile uzak yerlere nakledilerek kullanıcılara dağıtılmaktadır. Ancak, bir su türbininden su kuvveti yardımı ile enerji üretebilmek için gerekli olan su hızını elde etmek üzere mutlaka bir düşme yüksekliğine (hidrolik düşüye) veya bu su düşüşüne uygun bir basınç farkının bulunmasına gerek vardır [3].

1.1.1. Hidrolik türbin çeşitleri

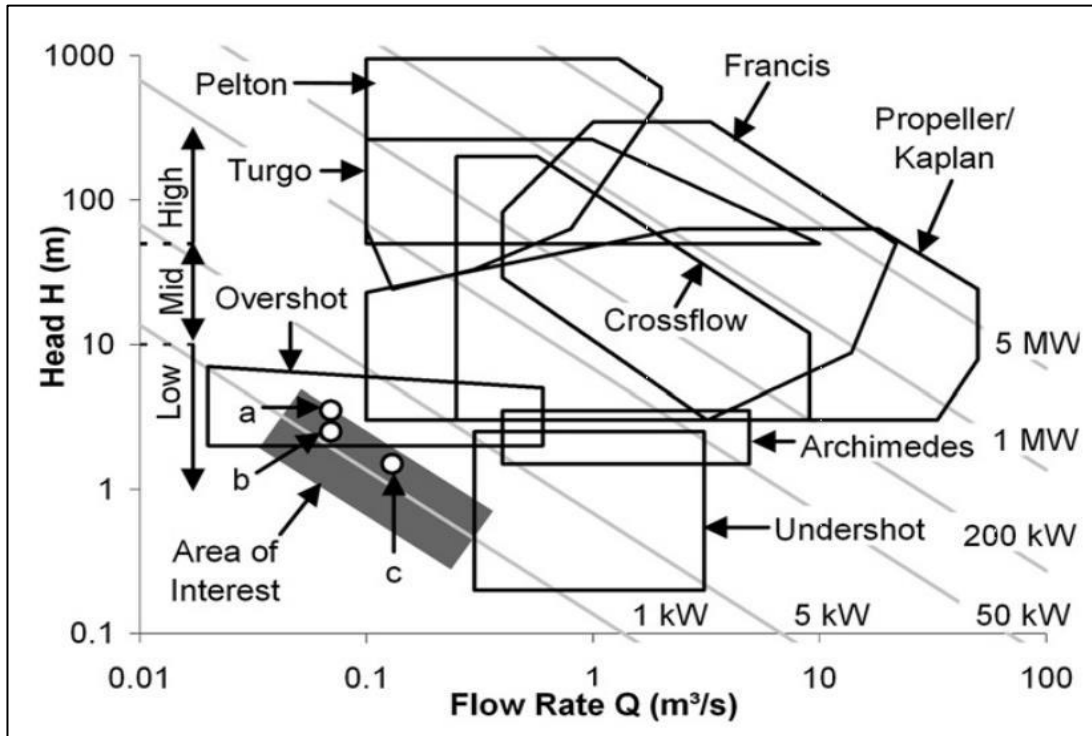
Su türbinleri suyun etki şekline göre; Etki (aksiyon) ve tepki (reaksiyon) olmak üzere sınıflandırılabilirler. Bunun dışında su türbinleri işletme yapısına, dizayn şekillerine, hidrolik düşü yüksekliğine ve akımın yönüne göre de sınıflandırılmaktadırlar [4].

Aksiyon türbinlerinde türbin çıkışındaki akışkan basıncı, atmosfer basıncına eşittir. Bu nedenle aksiyon türbinlerine eş basınçlı türbinler de denilmektedir. Çünkü bu türbinlerin giriş basıncı tek seferde atmosfer basıncına düşürülerek çıkış basınçları atmosfer basıncına eşit hale getirilir. Bu türbinlerde suya hız kazandırmak için su nozuldan geçirilir ve su jeti oluşturulur. Su jeti, türbin çarkı üzerinde çukur-çanak şeklinde bulunan kanatlara çarparak türbinin dönmesi sağlar. Bu tip türbinler yüksek düşüler için tercih edilir ve yaygın kullanılan çeşitleri; Pelton, Turgo ve Crossflow (Michell-Banki) türbinleridir.

Francis, Kaplan, Uskur, Propeller, Bulb, Tube, Straflo, Water Wheel gibi türbinler reaksiyon tipi türbinlere örnektir. Reaksiyon tipi su türbinlerinde suyun hem kinetik hem potansiyel enerjisinden faydalanılır. Suyun çark çıkışındaki basıncı girişindeki basıncından çok daha küçük olduğu için, suyun kapalı kanallar içinden akma zorunluluğu vardır. Suyun çark çıkışında ivmelenmesinden dolayı meydana gelen tepki kuvvetiyle türbin çarkının dönmesi sağlanmaktadır. Türbin çarkının dönmesi ile sağlanan mekanik enerji bir jeneratör vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülür [5].

Bir dizi düşü ve debi değerleri için birçok türbin türü mevcut olsa da tarihsel olarak, düşük düşü ve düşük akış koşullarında etkili bir şekilde çalışan bir hidro türbin tipi olmamıştır. Ancak, son yıllarda Arşimet burğu türbinlerin yaygın olarak kullanılmaya başlaması bu boşluğu doldurmaya başlamıştır. Arşimet burğu türbinler, özellikle düşük debili ($10 \text{ m}^3/\text{s}$ altında) ve düşük düşülü (5 m altında) koşullar için diğer türbin modellerine nazaran daha avantajlı olduğu görülmektedir. [6].

Şekil 1.1’de en yaygın hidro türbin seçim kriterlerini göstermektedir. Arşimet burğu türbinleri daha önce kullanılmamış bir hidro türbin seçim bölgesinde çalışarak, daha önce göz ardı edilen küçük ölçekli hidroelektrik kaynakların kullanılmasını sağladığı görülmektedir [7].



Şekil 1.1. Düşü uygunluğuna göre türbin seçim diyagramı [7]

Şekil 1.1’de türbin modellerinin debi ve düşü değerlerine göre çalışabildiği en verimli aralıklar gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde Arşimet burgu türbin sisteminin 0,1 – 10 m³/s debi ve 1 – 10 (m) düşü aralığında verimli bir şekilde enerji ürettiği görülmektedir.

1.2. Türkiye’deki Hidrolik Enerji

Doğal kaynaklardan (güneş ışığı, rüzgâr, yağmur, jeotermal ısı gibi) elde edilen enerjiye yenilenebilir enerji denir [8]. Dünya üzerinde meydana gelen enerji krizi, araştırmacıları bugünlerde farklı bir yenilenebilir enerji (yeşil enerji) kaynağı oluşturmak için teşvik edilmektedir. Bu sebeple günümüzde güneş, rüzgâr, dalga ve su gibi doğal enerji kaynakları üzerine birçok araştırma yapılmaktadır [9].

Türkiye elektrik enerjisi tüketimi 2017 yılında bir önceki yıla göre %5,6 artarak 294,9 milyar kWh, elektrik üretimi ise bir önceki yıla göre %7,7 oranında artarak 295,5 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir [10].

Elektrik tüketiminin 2023 yılında baz senaryoya göre yıllık ortalama %4,8 artışla 385 TWh'e ulaşması beklenmektedir [10].

Türkiye’de 2017 yıl sonu verilerine göre toplam elektrik kurulu gücü 85.200 MW’a ulaşmıştır. 2017 yılında elektrik üretimimizin, %37'si doğal gazdan, %33'ü kömürden, %20'si hidrolik enerjiden, %6'sı rüzgârdan, %2'si jeotermal enerjiden ve %2'si diğer kaynaklardan elde edilmiştir. 2018 yılı ilk yarısı itibarıyla Türkiye'nin kurulu gücü içerisinde kamu %22,8, özel sektör ise %77,2'lik paya sahiptir. 2018 yılı ilk yarısı sonunda kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımı; yüzde 32,0'ı hidrolik enerji, yüzde 26,4'ü doğal gaz, yüzde 21,4'ü kömür, yüzde 7,7'si rüzgâr, yüzde 5,4'ü güneş, yüzde 1,3'ü jeotermal ve yüzde 5,8'i ise diğer kaynaklar şeklindedir [10].

Ülkemizin yenilenebilir enerji potansiyeli içinde en önemli yeri tutan hidrolik kaynaklarımız bakımından incelendiğinde Türkiye’de teorik hidroelektrik potansiyel 433 milyar kWh, teknik olarak değerlendirilebilir potansiyel 216 milyar kWh ve ekonomik hidroelektrik enerji potansiyel 140 milyar kWh/yıldır. 2018 Haziran ayı sonu itibarıyla, işletmede bulunan 27.912 MW'lık kurulu güce sahip 636 adet HES (Hidroelektrik Enerji Santrali) Türkiye toplam kurulu gücünün %32'sine karşılık

gelmektedir. Hidroelektrik üretim 2018 Haziran ayı sonu itibarıyla yılda yaklaşık 33 milyar kWh olarak gerçekleşmiş olup elektrik üretimimizin %22,4'ü hidroelektrikten elde edilmiştir [11].

1.2.1. Türkiye'deki küçük ölçekli hidroelektrik santral potansiyeli

Dünya'da sadece küçük ölçekli hidroelektrik santrallerden üretilebilecek elektrik enerjisinin, toplam hidroelektrik üretimi içerisindeki payı %10'dur. Akarsu etütlerinin henüz tamamlanmamış olmasına karşın, Türkiye'deki mevcut potansiyelin dünya ortalamasına yakın olduğu tahmin edilmektedir. Nitekim EİE (Elektrik İşleri Etüt İdaresi) tarafından akım ölçümleri yapılan, yüzölçümü 1.000 km²'den küçük 1515 havzada, 0,1 - 10 MW arası kurulu güçle çalışacak santrallerle, 33.000 GWh/yıl enerji üretilbileceği öngörülmektedir. Bir başka araştırmada ise, ülkemiz akarsularında 0,1 - 5 MW kurulu güce sahip santrallerle, 20.000 GWh/yıla yakın elektrik üretilbileceği hesaplanmıştır [12].

Büyük ölçüde nehir tipi santrallerle değerlendirilmesi gereken bu potansiyel, Türkiye'nin mevcut hidroelektrik üretiminin yarısından fazladır [12].

Ülkemiz küçük ölçekli HES potansiyeli bakımından oldukça zengin bir ülkedir. DSİ planlamalarına göre, ülkemizde küçük ölçekli HES tanımlamasına giren 278 adet proje mevcuttur. Bu projelerin toplam kurulu gücü 1086 MW'a ulaşmaktadır. Küçük ölçekli HES'lerin bugüne kadar yeterince değerlendirilemeyişinin sebebi, DSİ'nin yatırım önceliklerini sulama, içme suyu ve taşkın kontrol amaçlı, barajlı projelere vermesidir [13].

Hidroelektrik enerji potansiyelini geliştirmekle görevli diğer bir kuruluş olan EİE ise, önceliklerini kurulu gücü yüksek HES'lere vermiştir. Özel sektörün katkısını sağlamak amacıyla Yap İşlet Devret ve Yap İşlet modelleri ülkemizde uygulanmaya başlanmıştır [13].

1.3. Arşimet Burgu Türbin İle Çalışan Hidroelektrik Sistemini Geliştirilmesi Projesi Özet Bilgiler

Firma tarafından tamamlanan TÜBİTAK / TEYDEB 1507 projesinde Arşimet burgu türbin sisteminin debi ve düşü değerine karşılık, burgu çapı, burgu sayısı, burgu hatvesi, devir sayısı gibi türbin tasarımını etkileyen tasarım parametreleri ön hesaplamalar ile tespit edilmiştir. Belirlenen tasarım parametreleri neticesinde türbin sisteminin BDT (Bilgisayar Destekli Tasarım) modellemesi yapılmıştır. Modellemesi oluşturulan sistemin üretime hazır hale getirmek amacıyla sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Gerekli bölgeler revize edilerek sistem tasarımı üzerinde iyileştirmeler yapılmıştır. Yapılan iyileştirme çalışmaları 5 adımda toplanmıştır. Bunlar;

Versiyon-1

- Burgu türbin için yapılan çalışmalar sonucunda genel ölçüler (Burgu dış boru çapı, iç boru çapı, helezon boyu, helezon hatvesi, vb.) belirlenmiştir.
- Bu ölçüler doğrultusunda bir BDT çizimi yapıp taslak oluşturulmuştur.
- Burgu türbin hareketli bölümünün yataklanması için rulman araştırılması yapılmıştır.
- Burgu türbin gücüne uygun olacak şekilde dişli kutusu ve buna uygun olacak bir alternatör araştırması yapılmıştır.

Versiyon-2

- Burgu sisteminde oluk gerek kendi ağırlığından gerekse içerisinden geçecek suyun ağırlığından dolayı belirli kuvvetlere maruz kalmaktadır. Bu nedenle oluk sistemini altına bir karkas yapısı yapılması kararlaştırılmıştır.
- Rulman yatağı taşıyıcı parça gerekli mukavemet değerine ulaştırılmak amacıyla geometrisinde değişiklikler yapılmıştır.
- Sıçrama sacı tutucu montaj işleminin kolay olabilmesi amacıyla değiştirilmiştir. Sabit olan sistem yerine ayar cıvatası kullanılarak demontaj işleminin pratikleştirilmesi amaçlanmıştır.

Versiyon-3

- Rulman, rulman yatağı, dişli kutusu gibi temin edilecek parçaların orijinaline uygun BDT dosyaları eklenmiştir.
- Rulman yatağının bağlanacağı parça sonlu elemanlar yöntemi ile mukavemet değerleri kontrol edilip sisteme eklenmiştir.
- Dişli kutusu ve alternatörün bağlanacağı parça sonlu elemanlar yöntemi ile mukavemet değerleri kontrol edilip sisteme eklenmiştir.
- Sıçrama sacı tutucu ana iskeletin üzerine bağlanacak şekilde düzenlenmiştir.

Versiyon-4

- Helezonların bağlandığı boru profildeki sehim azaltmak amacıyla boru profili üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Yapılan sonlu elemanlar analizleri neticesinde test edilen boru et kalınlıklarından sisteme uygun olanları belirlenerek sisteme eklenmiştir.

Versiyon-5

- Sıçrama sacı üretim kolaylığı açısından 5 eşit parçaya ayrılmıştır. Her parçaya 2 adet tutucu ve bayrak eklenmiştir.
- Kutu profil olarak seçilmiş olan ana iskelet sistemi üzerinde iyileştirmeler yapılarak mukavemeti artırılmış ve NPU profil olarak değiştirilmiştir.
- Oluk altı karkas sistemi üretim problemleri nedeni dolayısıyla revize edilmiştir. Oluk altına destek olacak 4 adet levha kullanılmış ve mukavemeti artırması amacıyla aralarına NPU profiller eklenmiştir.

İyileştirme çalışmaları sonucunda Arşimet burğu türbin sistemi üretime hazır hale getirilmiştir. Üretimi tamamlanan sistem Sapanca Kurtköy Deresi üzerinde devreye alınmıştır. Devreye alınan sistem üzerinde yapılan testler sonucunda projenin öngörülleri karşıladığı belirlenmiştir.



Şekil 1.2. Arşimet burgu türbin projesi görseli

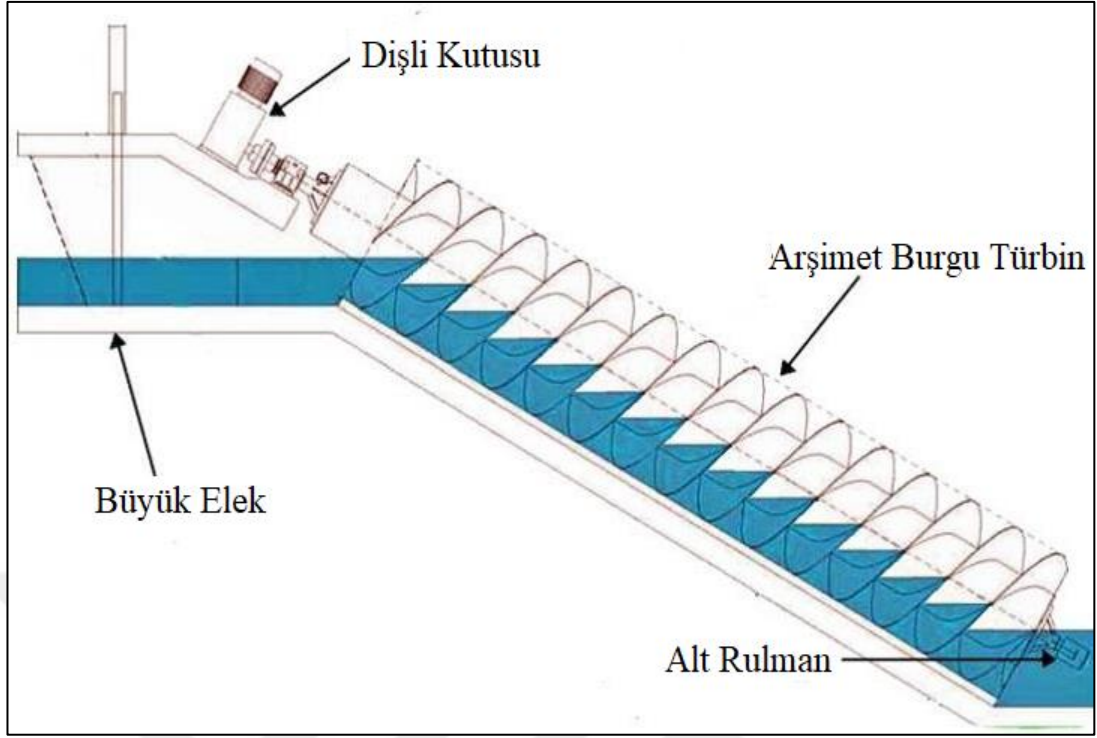
Şekil 1.2’de iyileştirme çalışmaları sonucunda oluşturulan Arşimet burgu türbin sistemi görseli paylaşılmıştır. Şekil 1.2 incelendiğinde sistemde bulunan rulmanlar, kaplin, dişli kutusu ve türbin bileşenleri görülmektedir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Arşimet Burgu Türbini

Arşimet burgusu bilinen tüm hidrolik makinelerin en eski formlarından biridir ve hala kullanılmaktadır. İcat edildiği ilk dönemlerde suyu düşük seviyeden yüksek seviyeye çıkarmak için kullanılırken, modern çağda işlevi bir jeneratör olarak tersine çevrilmiştir. Bu makinenin Arşimet tarafından icat edildiği düşünülmekte bu nedenle bu isim verilmektedir [14]. Çoğu pompa gibi Arşimet vidaları da akan bir akışkan tarafından döndürülebilir ve türbin olarak kullanılabilir. Antik çağlara dayanan bir teknoloji olmasına rağmen Arşimet vidalarının jeneratör olarak kullanılması nispeten yenidir. İlk Arşimet burgu türbini bundan yirmi yıl önce devreye alınmıştır [15]. Bir Arşimet burgusu, bir veya daha fazla sarmal yüzeyin (kanatların) silindirik yüzeyine ortogonal olarak sarıldığı bir iç silindirik şafttan oluşur. Elde edilen geometri, geleneksel bir vidaya çok benzer. Burgu, silindirik bir oluğa oturur (veya bazı durumlarda sabitlenmiştir). Bu oluk, burguyu çevreleyen bir tüp olabilir veya sadece burgunun alt yarısı etrafında uzanabilir. Bir pompa olarak kullanıldığında dönen Arşimet burgusu, iki ardışık kanat arasında su yakalar. Yakalanan su kütlelerinden bir tanesi akışkan dilimi olarak adlandırılır. Burgu döndükçe akışkan, burgunun uzunluğu boyunca, alt uçtan yüksek uca doğru transfer edilir. Arşimet burgu türbinler ise ters yönde çalışır. Su akışı burgu uzunluğu boyunca üst seviyeden alt seviyeye doğru transfer edilirken, su akışkan dilimlerinin formunu alarak burguyu döndürür. Suyun burgu kanat yüzeylerinde uyguladığı hidrostatik basınç, işlemdeki akışkan dilimleri hacimlerinin dönmesine ve düşü seviyesinin azalmasına neden olur. Bu dönüş, bir jeneratörün burgu milinden aktarılmasıyla elektrik üretmek için kullanılabilir [16].

Şekil 2.1’de bir türbin konfigürasyonunda kullanılan tipik bir Arşimet vidasını göstermektedir [17].



Şekil 2.1. Tipik bir Arşimet burgu türbin yandan görünüş [17]

Şekil 2.1’de Arşimet burgu türbin sisteminin genel hatlarıyla görünüşü ve bileşenleri şematik olarak gösterilmiştir. Türbin girişinde bulunan büyük elek akışkan içerisinde taşınan ağaç parçaları gibi türbine zarar verebilecek yabancı maddelerin girişini engeller. Burgu mili alt ve üst uçtan 2 rulman vasıtasıyla yataklanmıştır. Burgu mili ucuna akuple edilen dişli kutusu elde edilmek istenen devir sayısının elde edilmesi amacıyla kullanılır.

2.2. Arşimet Burgu Türbin Avantajları

Özellikleri, parçaları ve çalışma sistemi açıklanan Arşimet burgu türbin sisteminin avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz:

- Arşimet burgusu suda yaşayan canlılara zarar vermez. C. D. McNabb ve arkadaşlarının 2003 yılında yapmış oldukları “Red Bluff, California’daki Arşimet Asansörü ve Hidrostal Pompa ile Juvenil Chinook Somon ve Diğer Balık Türlerinin Geçiş” adlı çalışmada, balıklar Arşimet burguları içerisinde geçirilmiş ve yapılan deney sonucunda balıkların %98’inden fazlasının sorunsuz bir şekilde burgu içerisinde geçtiği belirlenmiştir. [18].

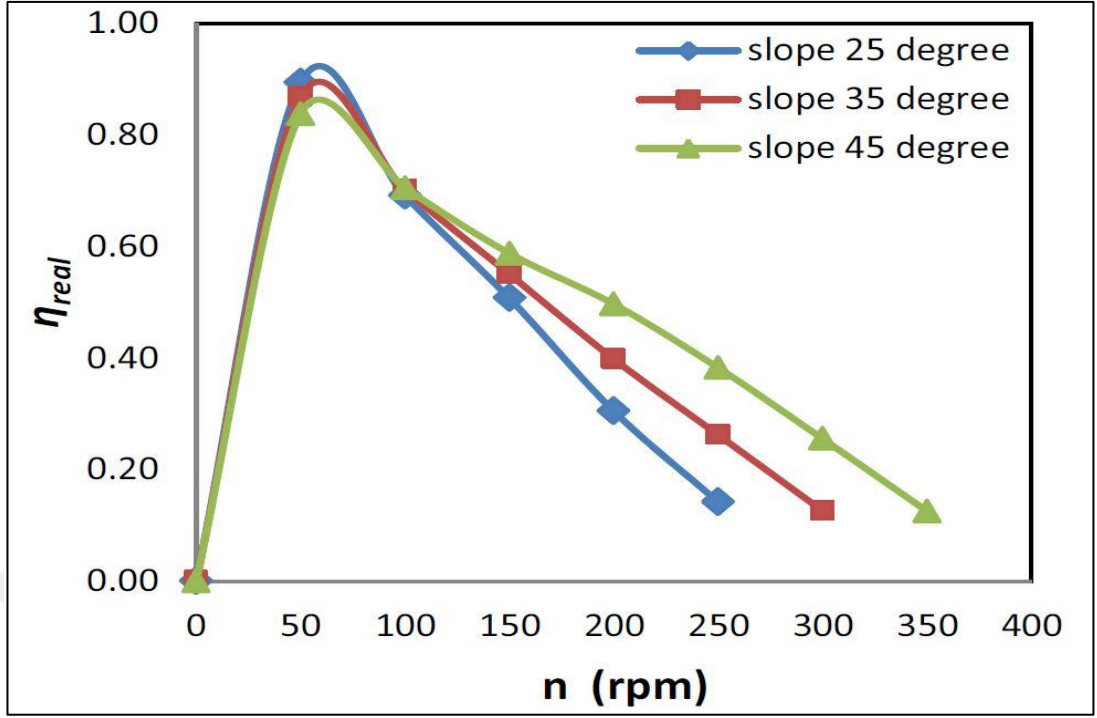
- Sürekli elektrik üretiminde güvenilirlerdir. Akışkan debisinin %80 azalması veya %20 artması durumunda dahi %41-73 verimle elektrik üretimine devam eder.
- Kurulumu sırasında geleneksel türbinlere göre daha az hafriyat ve betonarme yapıya ihtiyaç duyduğundan çevre ve tarihi dokunun korunmasına katkı sağlar.
- Can suyu ve balık geçidi gerektirmez. Suyu oksijen miktarı bakımından zenginleştirir [19].

2.3. Arşimet Burgu Türbin Tasarım Parametreleri

Müller ve Senior'ın geliştirmiş olduğu model, belirli koşullar için Arşimet burgu türbinlerini optimize etmeye çalışan tasarımcılara rehberlik etmek amacıyla basitleştirilmiştir. Aşağıdaki model, statik basınçlı bir enerji dönüştürücü kavramını basitleştirilmiş bir geometriden, çalışan bir Arşimet burgusunu modelleyebilmek amacıyla geliştirilmiştir. Bu model parametre olarak dönüş hızı ω ve tork T 'yi içerir. Vida geometrisi, P hatve, N kanat sayısı, D_o dış çap ve D_i iç çap (Şekil 2.3) ile tanımlanır. Dış ve iç çaplar, $R_o = D_o / 2$ ve $R_i = D_i / 2$ olarak tanımlanmıştır. Burgunun toplam uzunluğu L 'dir ve yatay bir açıda β eğimlidir. Başlangıç olarak basitleştirilmiş modelde olduğu gibi su hacmi ve torkun tek bir akışkan dilimi içerisinde olduğu kabul edilmiştir. Bu değerler daha sonra toplam vida gücünü hesaplamak için vidanın dönüş uzunluğu ve hızı ile kullanılır [20].

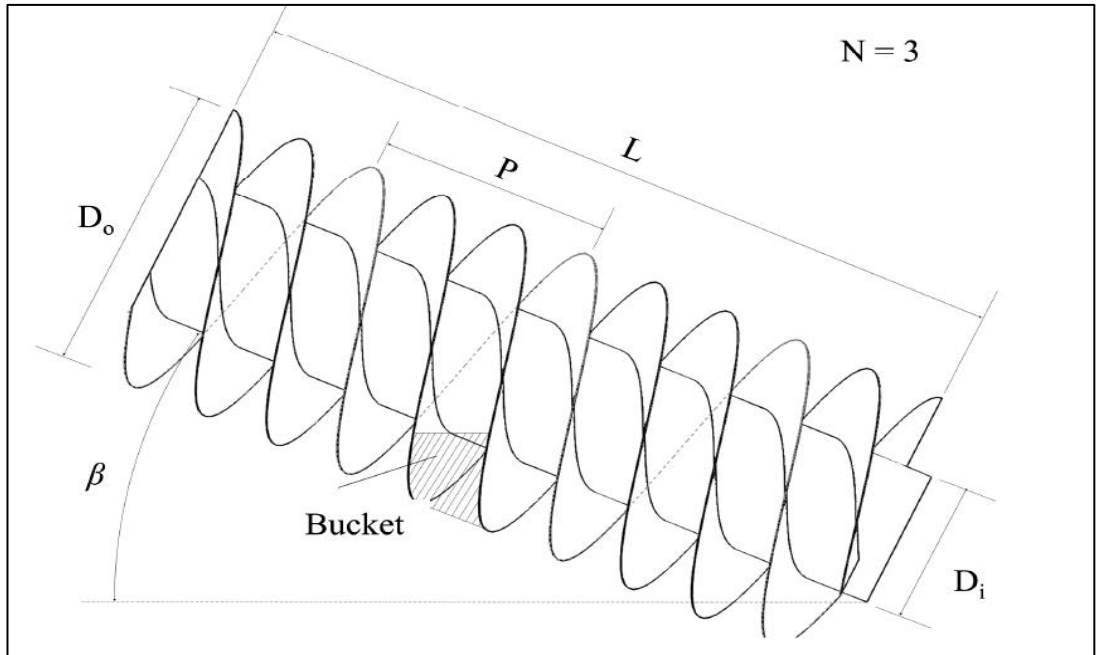
Model esas olarak, w merkezi vidanın hizalandığı silindirik bir koordinat sisteminde tanımlanır, r merkez çizgisinden olan mesafedir ve θ radyal düzlemdeki yukarı doğru normalden merkez hattına olan açıdır [20].

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. 25° , 35° ve 45° 'de yaptıkları araştırma sonucunda maksimum verim değeri 25° 'de %89 olarak elde edilmiştir [21].



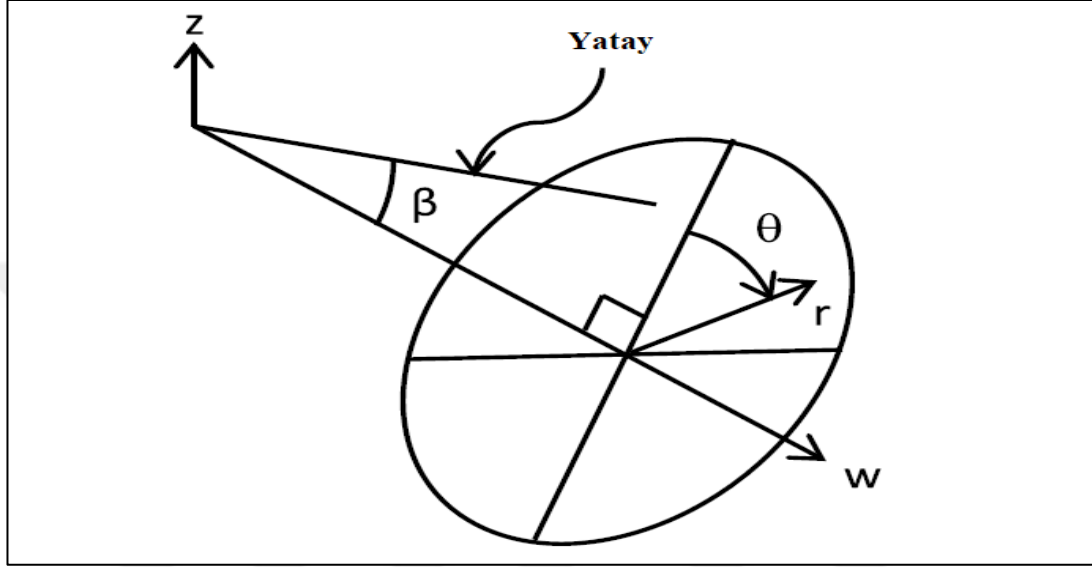
Şekil 2.2. Türbin şaftı eğiminin türbin verimliliğine etkisi [21]

Şekil 2.2’de gösterilen grafikte Tineke Saroinsong ve arkadaşlarının 2016 yılında yapmış oldukları çalışma sonucunda elde ettikleri veriler gösterilmiştir. Grafiğin yatay eksenini türbin dönüş hızını, dikey eksenini ise verim değerini göstermektedir. Grafik incelendiğinde en yüksek verim değerinin 25°’de olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 2.3. Arşimet burğu türbin tasarım parametreleri [20]

Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te Arşimet burgu türbin sisteminin genel ölçüleri şematik olarak gösterilmiştir. Gösterilen her bir parametre değeri sistem tasarımı yapılırken belirlenen debi ve düşü değerine göre hesaplanmaktadır. Sapanca Kurtköy Deresi üzerine kurulan Arşimet burgu türbin sisteminde bu değerler firma tarafından geliştirilen formülasyon çalışmaları neticesinde belirlenmiştir.



Şekil 2.4. Tasarım parametreleri koordinat sistemi görünüşü [20]

2.4. Arşimet Burgu Türbin Uygulama Alanları

Arşimet burgu türbin 0,1 m³/s ila 10 m³/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 [22].

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

3.1. Arşimet Burgu Türbininin Debi ve Düşü Değerlerinin Belirlenmesi

3.1.1. Kurtköy Deresi hidrolik potansiyeli

Arşimet burğu türbin tasarım ölçüleri belirlenirken temel alınan 2 adet parametre bulunmaktadır. Bu parametreler türbin sisteminin debi ve düşü değerleridir. Bu nedenle Arşimet burğu türbin sistemi kurulması planlanan Kurtköy Deresi'nin debi değerinin belirlenmesi gerekmektedir.

1994 yılında yapılan içme suyu kaynağı olarak Sapanca Gölü'nün korunması projesi kapsamında yapılan çalışmada Sapanca Gölü'nü besleyen derelerin yıllık ortalama debi değerleri belirlenmiştir. Bu çalışmaya göre 1981-1982 yılları arasında Kurtköy Deresi'nin ortalama debi değeri 0,499 m³/s'dir [23].

Tablo 3.1. Sapanca Gölü'ne dökülen derelerin debi değerleri [23]

Dere Adı	Ortalama Debi (m ³ /s)
Sarp Deresi	0,048
Keçi Deresi	0,111
İstanbul Deresi	0,303
Mahmudiye Deresi	0,492
Kurtköy (Kuruçay)	0,499
Yanık Deresi	0,158
Balıkthane Deresi	1,050
Eşme Deresi	0,380
Karaçay Deresi	0,550
Arifiye Deresi	0,063

Kurtköy Deresi'nin debi değerinin belirlenmesi tasarım çalışmaları açısından büyük önem taşımaktadır. Tablo 3.1'de Sapanca Gölü'ne dökülen derelerin ortalama debi değerleri gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Sapanca Gölü'ne dökülen derelerin aylık debi değerleri [24]

Dereler	Eki	Kas	Ara	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl
Balıkthane	1,10	0,90	0,90	2,60	6,60	4,23	3,50	1,70	0,90	0,19	0,30	0,20
Değirmen	0,20	0	0	0,20	0,30	0,31	0,30	0,19	0,10	0	0	0
İstanbul	0,30	0	0,20	1,70	1,60	0,83	0,90	0,68	0	0	0	0,20
Karaçay	0,20	0,20	0,20	0,50	0,60	0,55	0,40	0,36	0,20	0,10	0,10	0,10
Keçi	0	0	0,10	0,10	0,40	0,30	0,50	0,06	0	0	0	0
Kurtköy	0,10	0,20	0,10	0,90	1,30	1,38	0,90	0,25	0,10	0,06	0	0,10
Maden	0	0	0	0,30	0,50	0,35	0,30	0,19	0,10	0,02	0	0
Mahmudiye	0,30	0	0,10	0,40	1,30	1,78	1,30	0,65	0	0	0	0
Sarp	0	0,10	0,10	0,20	0,10	0,34	0,30	0,01	0,10	0,01	0	0
Yanık	0,10	0	0,10	0,90	1,30	1,49	1,10	0,32	0	0,03	0	0
Harmanlı	0	0	0	0,10	0	0,35	0,10	0,07	0	0,03	0	0
Kuru	0	0	0	0	0	0,09	0,10	0,01	0	0	0	0

Tablo 3.2’de TÜBİTAK tarafından yapılan 2010 yılı çalışmasına göre, 2009 yılı verileri doğrultusunda Kurtköy Deresi’nin yıllık bazda ortalama debi değeri 0,452 m³/s olarak belirlenmiştir [24].

Arşimet burgu türbin sisteminin kurulmasına karar verilen Kurtköy Deresi’nin aylar içerisinde debi değerlerinde meydana gelen değişimler Tablo 3.2’de gösterilmiştir. Bu değerlerden yola çıkarak Arşimet burgu türbin sisteminin tasarım debi değeri belirlenmiştir.

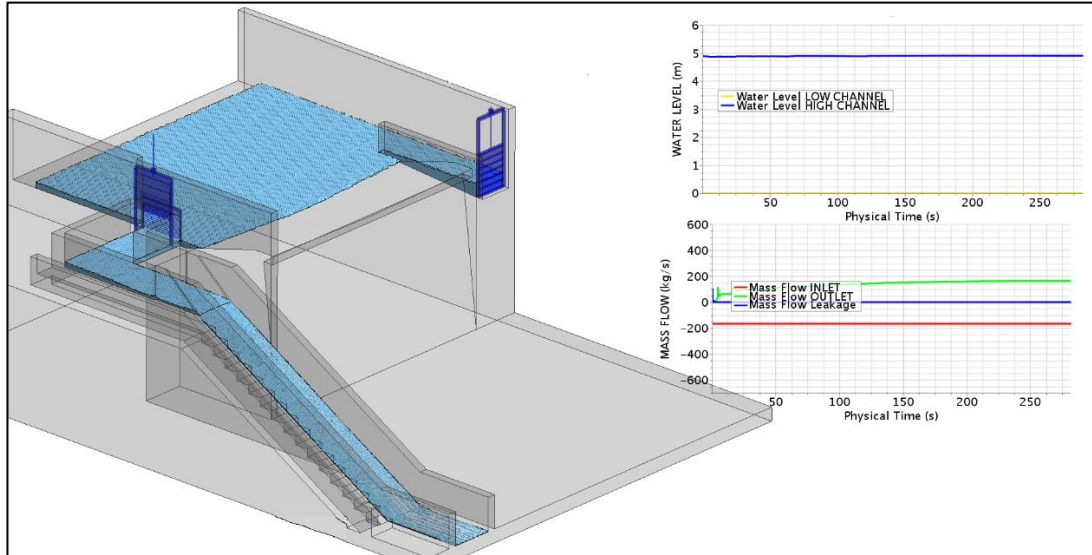
Kurtköy Dere debisi mevsimsel değişimler dikkate alındığında 0,01 m³/s ile 1,38 m³/s arasında değişmektedir. Tasarlanacak Arşimet burgu türbin debisi bu değerler doğrultusunda firma tarafından 0,46 m³/s olarak belirlenmiştir. Sistem tasarım debisinin %20 si olan 0,092 m³/s ile tasarım debisinin %120 si olan 0,552 m³/s debide verimli bir şekilde çalışacağı öngörülmüştür.

3.1.2. Arşimet burgu türbin lokasyonu belirlenmesi ve tasarım düşüşü

Arşimet burgu türbini Sistemi Türkiye Sakarya ili Sapanca ilçesinin Kırkpınar mevkiinde 40°41'47.15"K enlemi ve 30°12'04.88"D boylamı üzerine inşa edilecektir. Firma tarafından belirtilen lokasyon üzerinde Arşimet burgu türbinin tasarım düşüşü 4,7 m olarak belirlenmiştir.

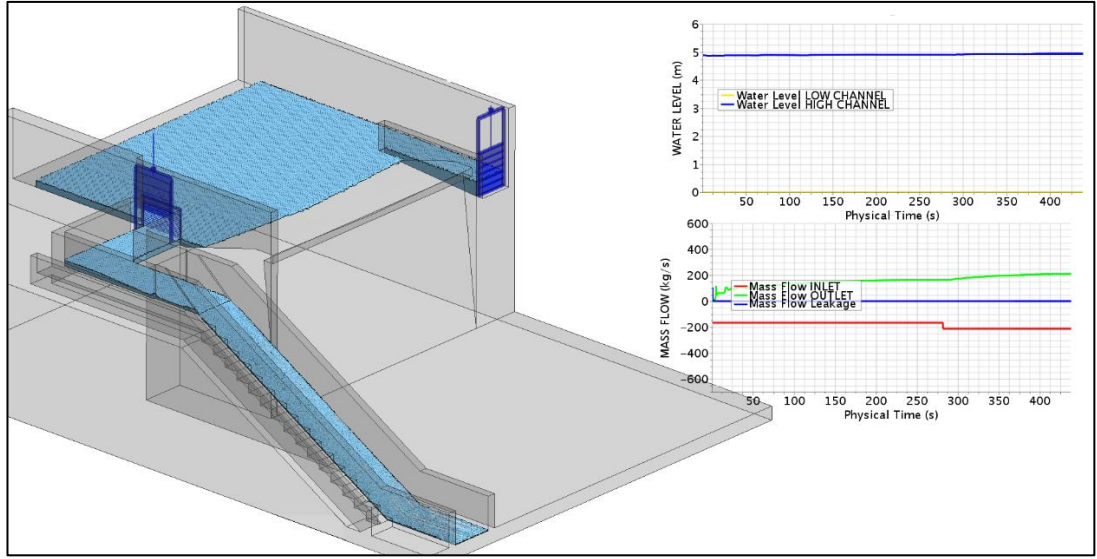
3.2. Savak Betonu İçerisindeki Akış Analizleri

Savak betonu akışkanın kontrollü bir şekilde tahliye edilmesini ya da türbin içerisinden geçirilmesini sağlamak amacıyla yapılmış olan betonarme yapıdır. Türbin sisteminin oluşturulması planlanan sanat yapıları içerisinde akışkan dağılımları HAD analizleri yardımıyla incelenmiştir. Savak yapısı aynı zamanda türbinden geçmesi müsaade edilen maksimum akışkan debisinin kontrol edilmesini sağlamaktadır. Dere rejimindeki ani yükselme durumlarında savak yapısı yüksek debide akan akışkanın tahliye hattından tahliye edilmesini sağlayarak türbinin güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır. Yapılan çalışmada 7 farklı debi değerine göre su yatağından geçen akışın dağılımları, alt ve üst savak yapıları arasındaki su yükseklikleri ve yapı üzerindeki hız dağılımları incelenmiştir. Savak yapısı içerisinde akışkan hareketleri ve hız dağılımları savak yapısının tasarlanmasında önemli bir etkindir. Savak yapısı içerisinde bulunan akışkanın hareketi esnasında oluşabilecek girdap alanları ve kritik bölgelerin öngörülebilmesi amacıyla HAD analizleri oluşturulmuştur. Elde edilen görseller sonucunda savaktaki kritik bölgeler, girdap alanları ve değişen debilere göre kanalın tepki süreleri gibi bilgiler elde edilmiştir. Elde edilen bilgiler Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



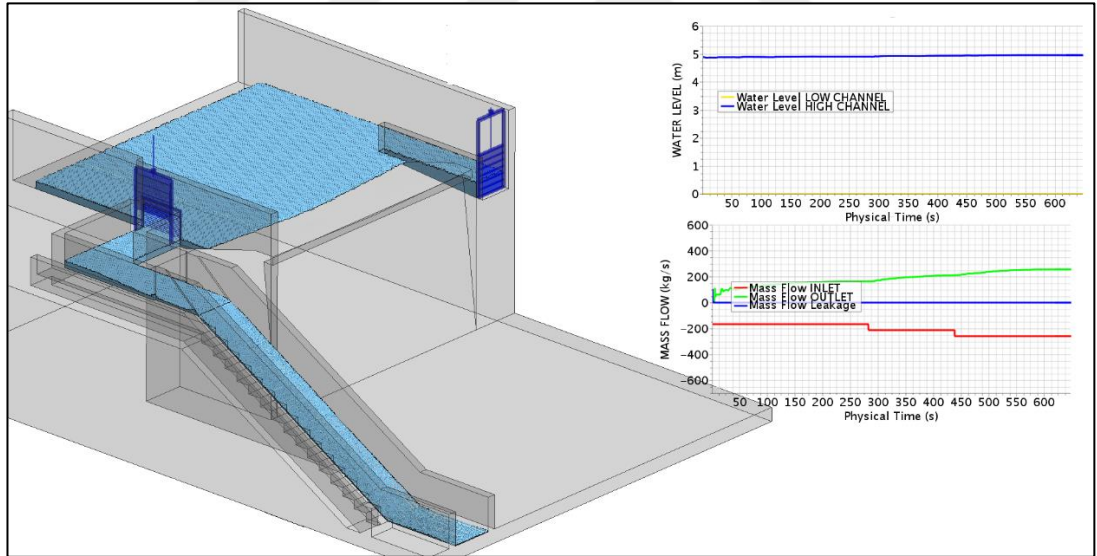
Şekil 3.1. 166 kg/s debi değerinde savak içi akış analiz görseli

Şekil 3.1’de Savak yapısı girişindeki akışkan debisinin 166 kg/s debi değerinde olduğu kabul edilerek yapılan akış analiz görseli gösterilmiştir.



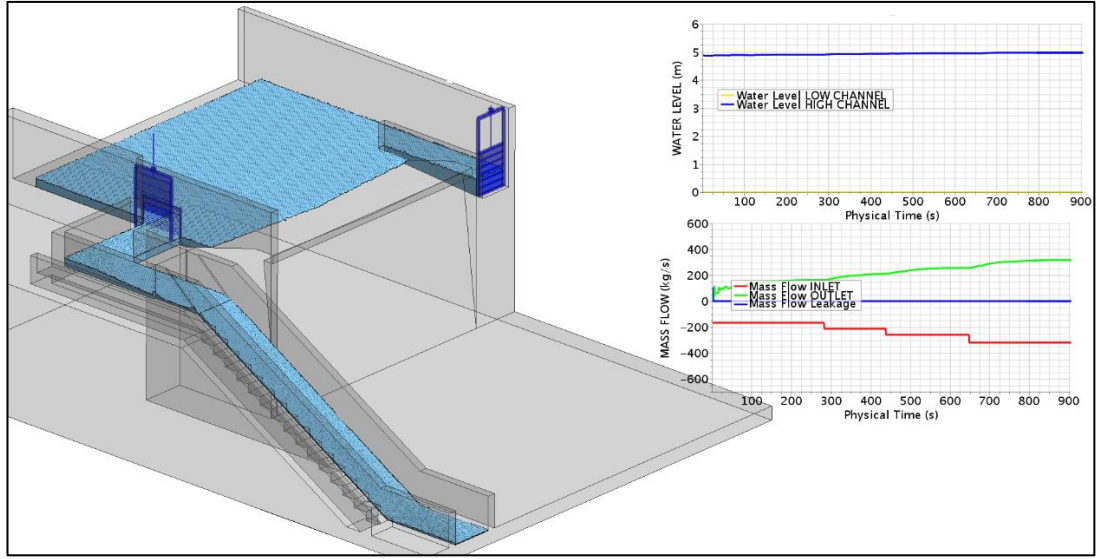
Şekil 3.2. 212 kg/s debi değerinde savak içi akış analiz görseli

Şekil 3.2’de Savak yapısı girişindeki akışkan debisinin 212 kg/s debi değerinde olduğu kabul edilerek yapılan akış analiz görseli gösterilmiştir.



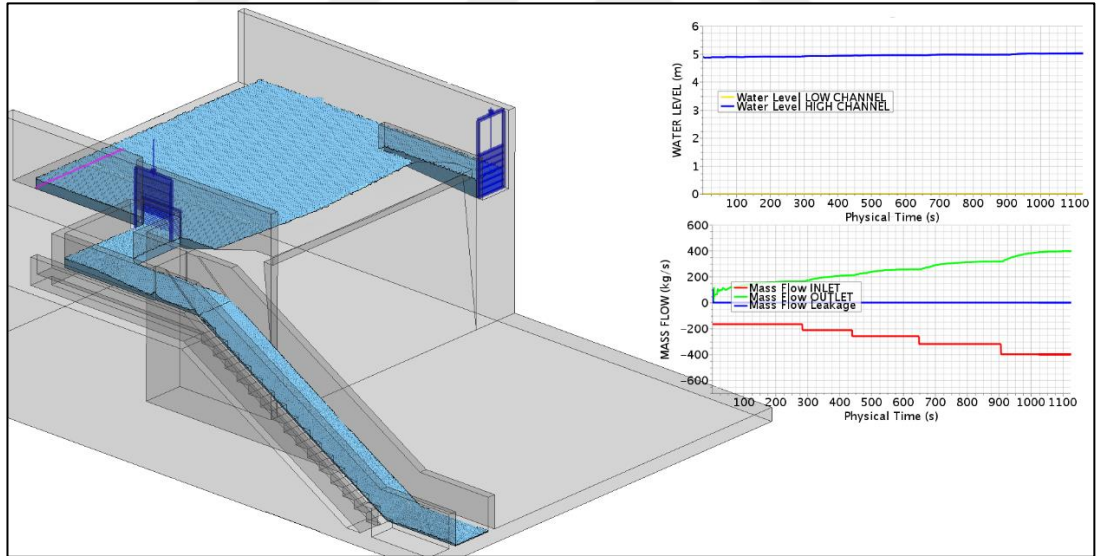
Şekil 3.3. 260 kg/s debi değerinde savak içi akış analiz görseli

Şekil 3.3’te Savak yapısı girişindeki akışkan debisinin 260 kg/s debi değerinde olduğu kabul edilerek yapılan akış analiz görseli gösterilmiştir.



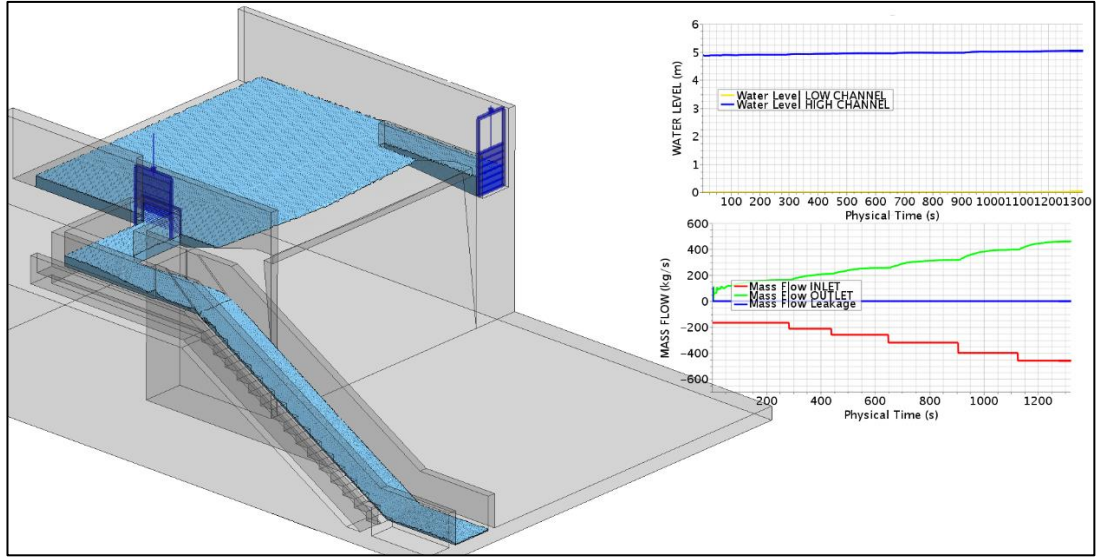
Şekil 3.4. 320 kg/s debi değerinde savak içi akış analiz görseli

Şekil 3.4'te Savak yapısı girişindeki akışkan debisinin 320 kg/s debi değerinde olduğu kabul edilerek yapılan akış analiz görseli gösterilmiştir.



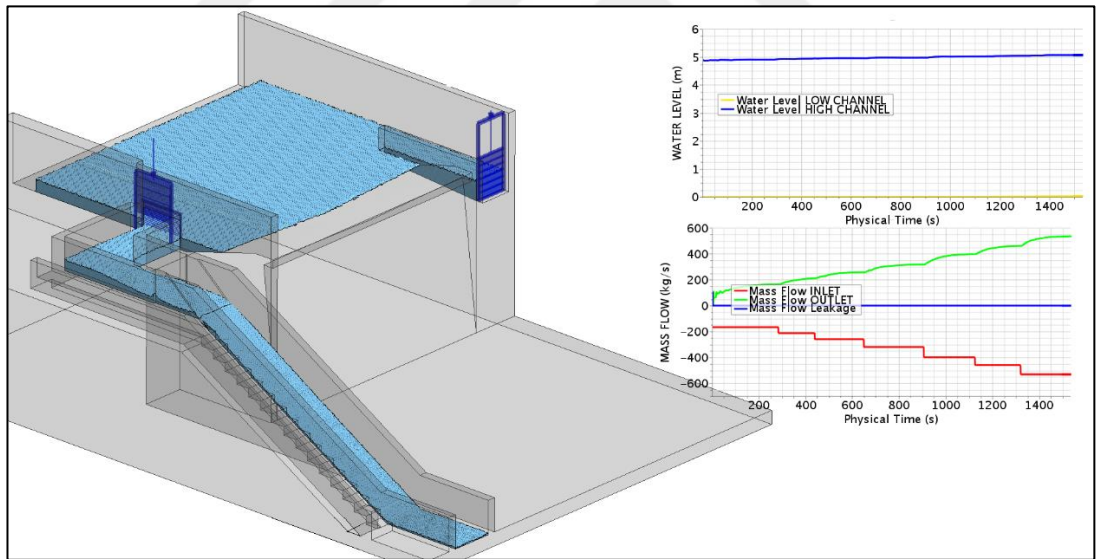
Şekil 3.5. 400 kg/s debi değerinde savak içi akış analiz görseli

Şekil 3.5'te Savak yapısı girişindeki akışkan debisinin 400 kg/s debi değerinde olduğu kabul edilerek yapılan akış analiz görseli gösterilmiştir.



Şekil 3.6. 460 kg/s debi değerinde savak içi akış analiz görseli

Şekil 3.6’da Savak yapısı girişindeki akışkan debisinin 460 kg/s debi değerinde olduğu kabul edilerek yapılan akış analiz görseli gösterilmiştir.



Şekil 3.7. 531 kg/s debi değerinde savak içi akış analiz görseli

Şekil 3.7’de Savak yapısı girişindeki akışkan debisinin 531 kg/s debi değerinde olduğu kabul edilerek yapılan akış analiz görseli gösterilmiştir.

Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de artan debi değeri karşısında savak betonu içerisinde gerçekleşen su seviyesi farkları, savak betonu içerisindeki tepki süreleri ve akış dağılımları paylaşılmıştır. Sistemde her bir

debi değeri için giren debi değerinin çıkan debi değerine eşit olduğu, artan debi değeri karşısında su seviye farkının da arttığı ve savak betonu içerisindeki akış dağılımının Arşimet burgu türbin sisteminin yerleştirileceği kanal üzerinde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca türbin sisteminde bulunan hidrolik kapağın çalışması planlanan debi değerlerine göre açılma stroğu, maksimum debi değerindeki savak betonunun üst bölgesinde meydana gelen su yükseklik değeri ile belirlenmiştir.

3.2. Arşimet Burgu Türbin Tasarım Parametreleri

Tasarım debisi ve tasarım düşüsü belirlenen Arşimet burgu türbinin firma tarafından geliştirilen formülasyon çalışmaları neticesinde elde edilen tasarım parametreleri Tablo 3.3'te gösterilmiştir. Yapılan formülasyon çalışmaları firma Ar-Ge faaliyetleri ürünüdür. Bu nedenle içeriği firma gizlilik anlaşmaları nedeniyle paylaşamamaktadır.

Tablo 3.3. Arşimet burgu türbin tasarım parametreleri

Açıklamalar	Sayısal Değer
Q (m ³ /s)	0,46
H (m)	4,7
n (rpm)	39,6
D _o (m)	1,422
D _i (m)	0,71
P (m)	1,422
β (°)	30
N	3
L (m)	9,4
Gap (mm)	10

Tablo 3.3'te Arşimet burgu türbinin tasarım parametreleri gösterilmiştir. Belirlenen debi ve düşü değerine bağlı olarak firma tarafından belirlenen dönüş hızı, burgu türbin dış çap değeri, burgu türbin iç çap değeri, kanatlar arası hatve miktarı, eğim açısı, kanat sayısı, burgu uzunluğu ve gap (kanatlar ile oluk arasında kalan boşluk miktarı) değerleri belirlenmiştir.

Tablo 3.4. Tasarım parametrelerine karşın üretilecek güç değeri

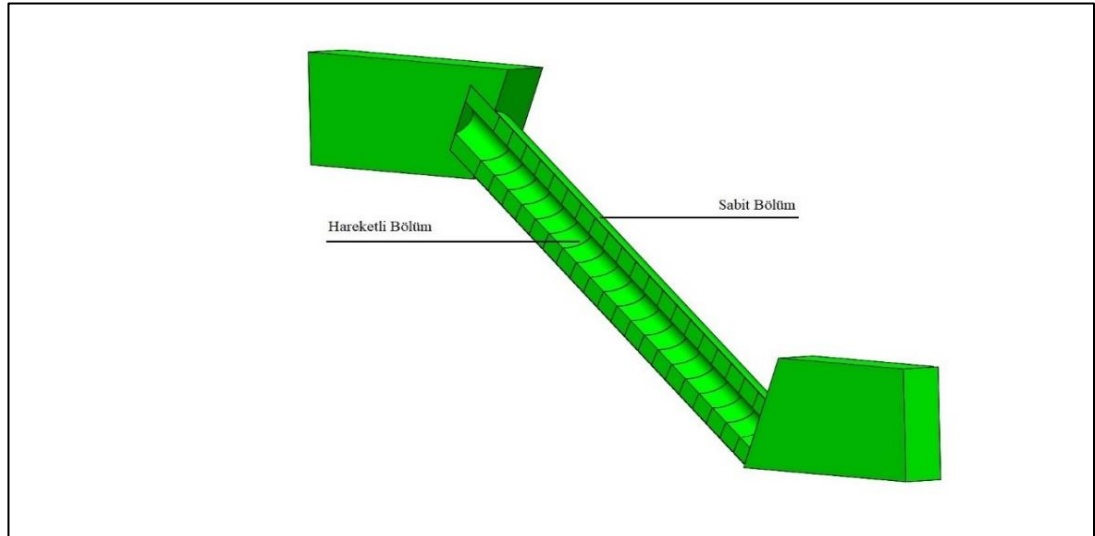
Açıklamalar	Sayısal Değer
Debi (m^3/s)	0,46
Düşü (m)	4,7
Montaj Açısı ($^{\circ}$)	30
Devir (rpm)	39,54
P_{mek} (kW)	16,12
P_{elekt} (kW)	15,01

Tablo 3.4’te Firma tarafından belirlenen türbin parametrelerine bağılı olarak geliştirilen formülasyon çalışması sonucunda Arşimet burgu türbin sisteminden elde edilmesi öngörülen güç değerleri gösterilmiştir.

3.3. Arşimet Burgu Türbin Akış Geometrisinin Oluşturulması

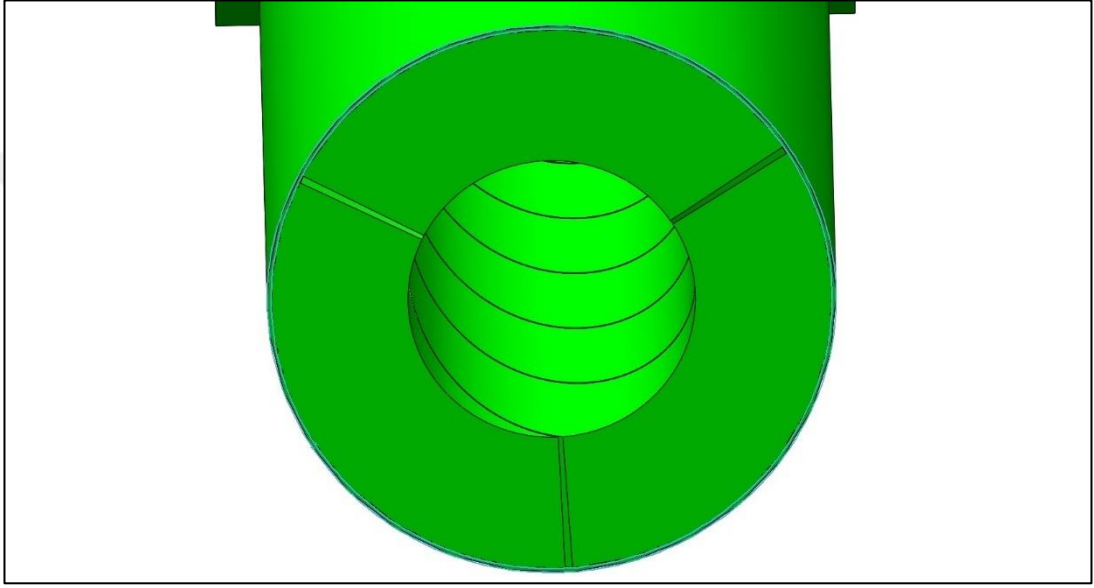
Belirlenen tasarım parametreleri neticesinde Arşimet burgu türbin sisteminin HAD analizlerinin yapılabilmesi için akış geometrisinin 3D ortamına aktarılması gerekmektedir. Bu amaçla SolidWorks programı kullanılarak sistemin akış geometrisi oluşturulmuştur.

Arşimet burgu sistemi diğer tüm türbin modellerinde olduğu gibi sabit ve hareketli olmak üzere temel olarak 2 bölümden meydana gelmektedir. Akış geometrisi oluşturulurken bu temele dikkat edilerek sistem tasarlanmıştır. Şekil 3.8’de oluşturulan akış geometrisinin sabit ve hareketli kısımları gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Akış geometrisi kesit görünüşü

Arşimet burğu türbin sisteminde gap, sabit bölüm ile hareketli bölüm arasında kalan boşluk miktarıdır. Yapılan hesaplamalar ve tecrübeler sonucu bu boşluk miktarı 10mm olarak belirlenmiştir. Bu bölüm içerisinde geçen su debisi türbin kanatlarında herhangi bir moment oluşturmamaktadır. Dolayısıyla bu bölümden kaynaklı olarak sistemde bir enerji kaybı meydana gelmektedir. Analiz çalışmalarında meydana gelen enerji kaybının belirlenebilmesi amacıyla boşluk miktarına dikkat edilmiştir. Şekil 3.9’da akış geometrisine eklenen boşluk gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Gap görünüşü

Şekil 3.9’da burğu etrafında gösterilen çember dilimi ile oluşan alan türbin sisteminin sabit ile hareketli kısımları arasında kalan boşluk (10mm) miktarını göstermektedir. Sabit ve hareketli kısım arasındaki boşluk miktarı tasarım ve enerji verimliliği hesaplamalarında önemli bir etkidir. Boşluğun çok küçük olması türbin verimliliğini arttırırken türbin imalatını güçleştirmekte ve üretim maliyetlerini arttırmaktadır. Ayrıca türbin çalışması esnasında üretimden kaynaklı oluşabilecek hatalar ve türbin ağırlığı sebebiyle meydana gelen sehim dolayısıyla hareketli kısmın sabit kısma temas etmesi sorunu ortaya çıkmaktadır. Boşluğun fazla olması durumunda ise imalat kolaylaşıp üretim maliyetleri azalırken enerji üretimi için kullanılacak olan akışkanın büyük bir kısmı boşluk içerisinde geçerek türbin verimi düşmektedir.

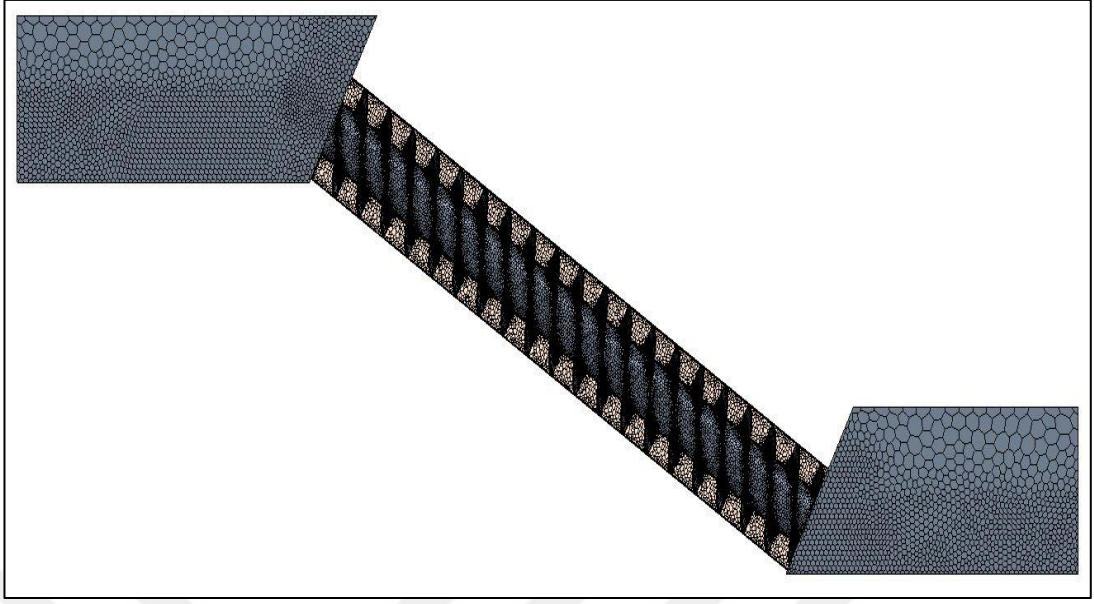
3.4. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analiz Çalışmaları

Sistem üzerine yapılan HAD analizlerinin en temel amacı tasarım parametrelerinin uygunluğunu kontrol etmektir. Bu amaçla tasarım parametrelerine uygun olarak hazırlanan akış geometrisi kullanılarak analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz çalışmaları neticesinde tasarım debisi olan 460 kg/s'de Arşimet burgu türbin sisteminin en yüksek verim değerine ulaşması beklenmektedir. Bu doğrultuda analiz çalışmaları süresince belirlenen 6 farklı debi değeri (92, 184, 276, 368, 460, 552) (kg/s) haricinde diğer tüm parametreler sabit tutulmuştur.

Yapılan analiz çalışmaları sonucunda giriş debisi, çıkış debisi, üretilecek kuvvet, üretilecek moment, üretilecek güç ve türbin kanatları üzerine gelecek basınç değerleri raporlanmıştır. Raporlardan elde edilen sonuçlar sistemde oluşabilecek sehim, eksenel kuvvetler, rotor yataklanmasında kullanılacak olan rulman seçimi, malzeme seçimi ve sonlu elemanlar analizlerinde kullanılmaktadır.

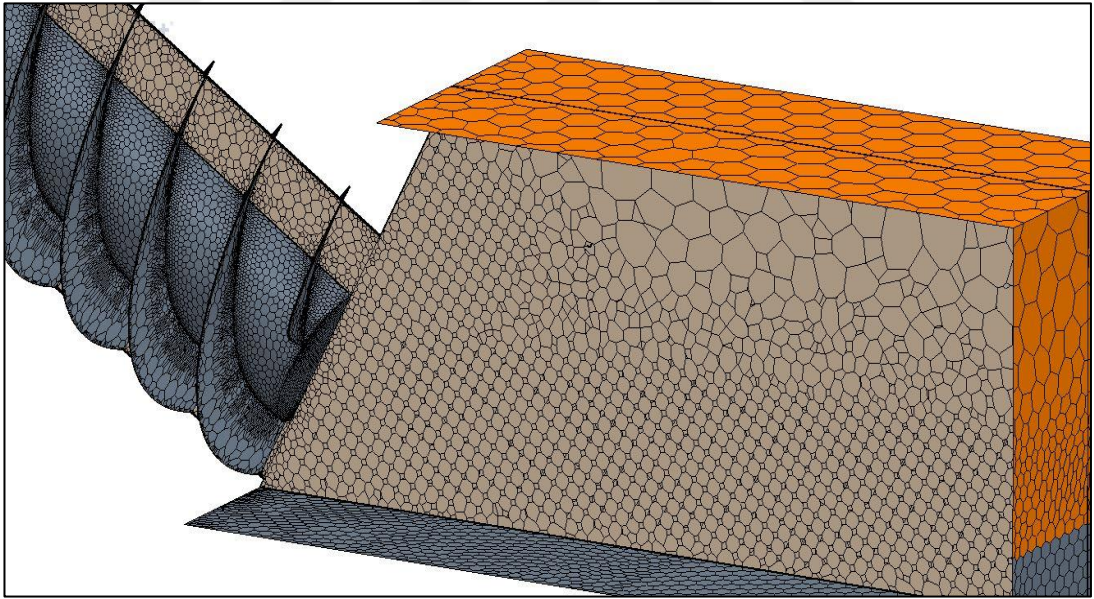
3.4.1. Çözüm ağının oluşturulması

Sınır şartları belirlenip analizlere başlamadan önce oluşturulan akış geometrisi kullanılarak çözüm ağı (Mesh) oluşturulmuştur. Oluşturulan çözüm ağı sistem analiz süresince değişen debi parametresine karşın sabit tutulmuştur. Sistemde mesh model olarak BDT modele en uygun olan çözüm ağı yöntemlerinden polyhedral mesh, prism layer mesh ve surface remesher mesh seçilmiştir. HAD analizlerinde mesh sayısının artması analiz süresini etkilemektedir. Bu nedenle sistemde öngörülen kritik bölgeler (sıvı akışkan fazının bulunduğu bölgeler) üzerine bölgesel olarak çözüm ağı yoğunluğunu arttıran volumetric control yöntemi uygulanmıştır. Bunun sonucunda sistemde kritik olan bölgelerdeki mesh yoğunluğu diğer bölgelere göre arttırılmıştır. Sistemde oluşturulan çözüm ağındaki toplam eleman sayısı 1.799.571'dir.



Şekil 3.10. Çözüm ağı genel görünüş

Şekil 3.10’da Arşimet burğu türbin sisteminin BDT tasarımı üzerinde oluşturulan çözüm ağı genel görüntüsü gösterilmiştir.



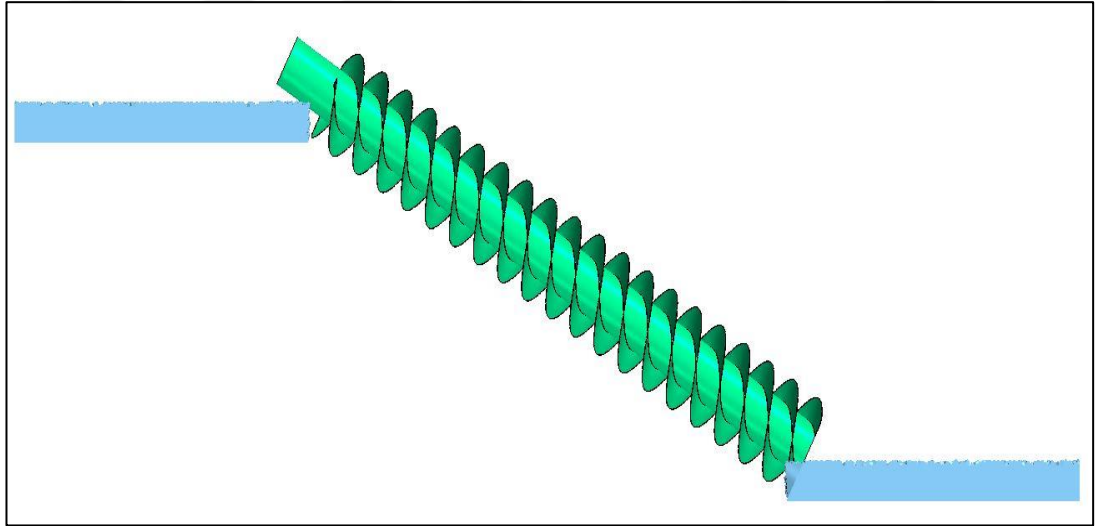
Şekil 3.11. Burğu çıkış bölümü çözüm ağı detay görünüş

Şekil 3.11’de Arşimet burğu türbin sisteminin kesit alınmış çözüm ağı görüntüsü paylaşılmıştır. Kesit alınmış görüntüde sistem üzerinde uygulanan kontrol hacmi detaylı bir şekilde görülmektedir.

3.4.2. Fizik koşullarının belirlenmesi

Arşimet burğu sistemi zamana bağılı olarak ve 2 faz (su, hava) kullanılarak 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Analiz süresince yoğunluklar iki faz için de sabit kabul edilmiştir. Analiz süresince 6 farklı (92, 184, 276, 368, 460, 552) (kg/s) su debisi kullanılmıştır. Sistem çıkışı atmosfere açık olarak kabul edilmiştir. Akışkan debisinin kanatlar üzerinde oluşturacağı momentin ve dolayısıyla güç değerinin hesaplanabilmesi için tasarım parametresi olarak kabul edilen 39,6 (rpm) dönüş hızı hareketli gövde üzerine eklenmiştir. Analiz çözümünde her bir hesaplama zaman adımı 0,017 s olarak seçilmiş ve her bir zaman adımı aralığında 10 iterasyon çözümü yaptırılmıştır. Her bir debi değeri için fiziksel zaman (physical time {s}) 60 saniye olarak kabul edilmiş ve analiz çözdürülerek elde edilmek istenilen değerler hesaplatılmıştır.

Analiz süresini kısaltmak amacıyla sistemin giriş ve çıkış bölümündeki sıvı akışkan kütlesi başlangıç koşulu olarak sisteme eklenmiştir. Sistemde kuvvet, moment, güç, giriş debisi ve çıkış debisi raporları oluşturularak sistem analize hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.12. Başlangıç koşulları oluşturulmuş Arşimet burğu türbini

Şekil 3.12’de Arşimet burğu türbin sisteminin başlangıç koşulları uygulanmış görseli gösterilmektedir. Görselde açık mavi ile gösterilen bölge HAD analizi başlangıcında sıvı akışkan ile dolu olduğu kabul edilmiştir. Sistemde başlangıç koşulları analiz süresini kısaltmak amacıyla uygulanmıştır.

3.4.3. Analiz sonuçları

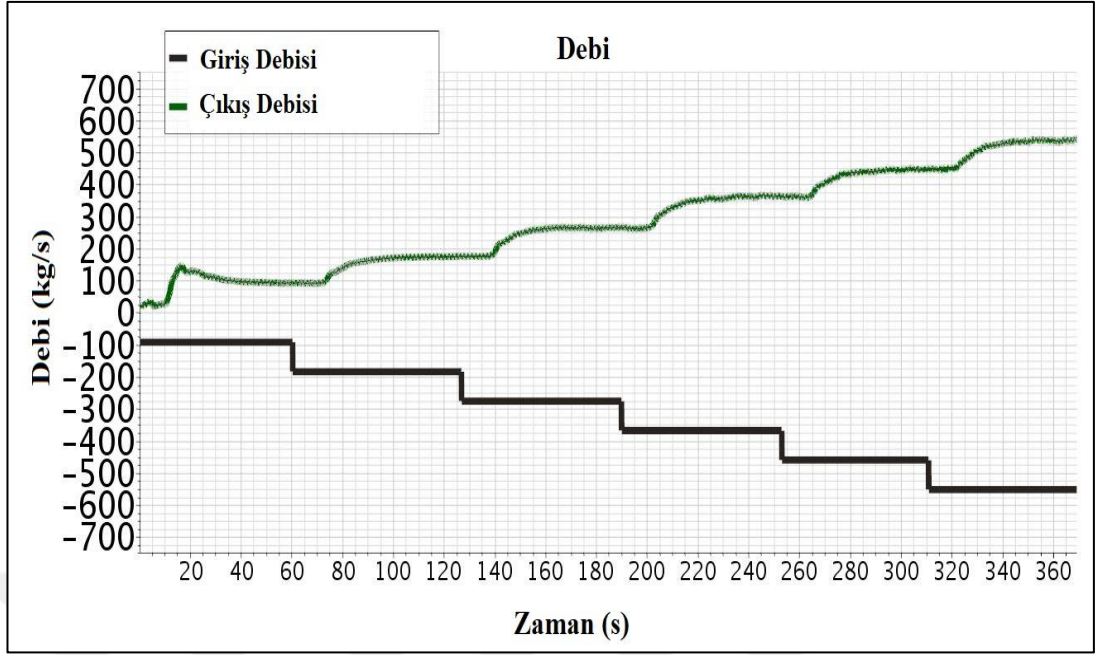
HAD yöntemi ile gerçekleştirilen analiz çalışmaları neticesinde;

- Giriş-çıkış debileri
- Hareketli bölüm üzerinde oluşan kuvvet değerleri
- Hareketli bölüm üzerinde oluşan moment değerleri
- Hareketli bölüm üzerinde oluşan güç değerleri
- Maksimum debi değerinde kanatlar üzerinde oluşan basınç değeri

Her bir debi değeri için (92, 184, 276, 368, 460, 552) (kg/s) hesaplatılmıştır.

3.4.3.1. Giriş – çıkış debileri

HAD analiz çalışmalarında savak içerisinden geçen akışkan debisinin türbinden geçmesine müsaade edilen maksimum debi değerinin üzerinde olmayacağı kabul edilerek analiz çözdürülmüştür. Sistemde birikme meydana gelmediğinden dolayı sisteme giren debi miktarı sistemden çıkan debi miktarına eşit olmak zorundadır. Bu doğrultuda analiz süresince ölçülen giriş çıkış debileri arasındaki fark bize analiz süreci hakkında bilgi vermektedir. Analiz çalışmalarında fiziksel zamanda 60 s kabul edilip çözdürülen analiz sonucunda giriş çıkış debileri arasındaki fark %1 mertebesinde olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalarda bu hata oranı kabul edilebilir düzeyde olduğuna karar verilmiştir. Analiz çalışmasında takip edilen raporlar neticesinde giriş debi değerinin çıkış debi değerine yaklaşık olarak fiziksel zamanda 60 s sonunda eşit olduğu görülmüştür. Bu sebeple her bir debi değeri için çözdürülecek olan analiz fiziksel zamanı 60 s kabul edilmiştir.

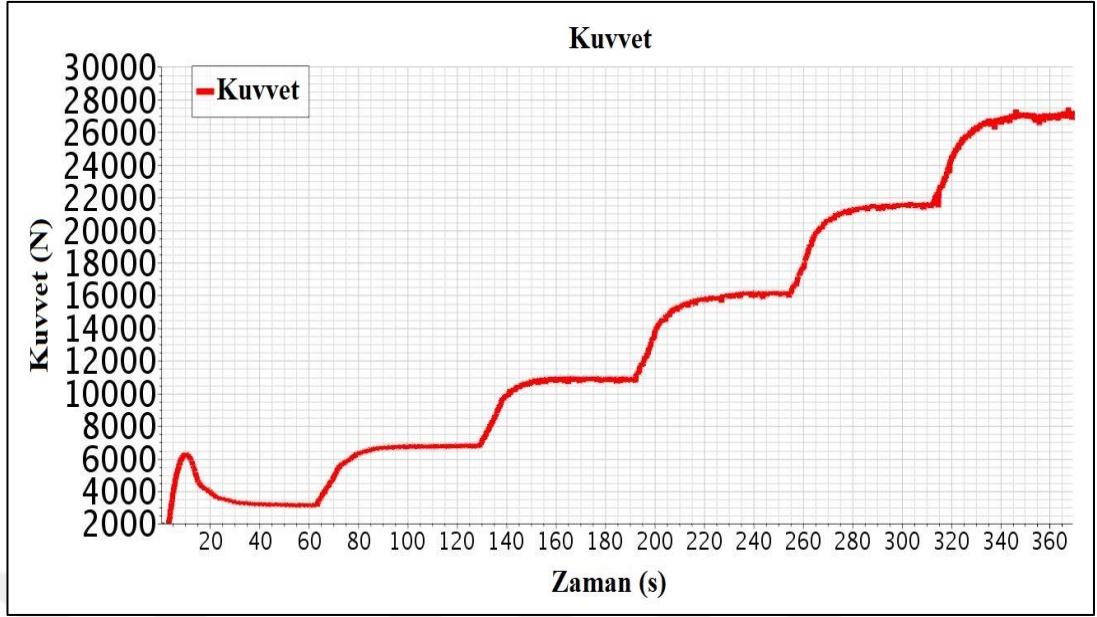


Şekil 3.13. 6 farklı debi değerine ait giriş – çıkış debi grafiği

Şekil 3.13’de HAD çalışmaları sonucunda giriş-çıkış debisinde meydana gelen değişimler zamana bağlı olarak gösterilmiştir. Analiz süresince her 60 saniyelik periyotlarda giriş debi değeri ile çıkış debi değeri arasındaki fark %1 değerinde olmaktadır. Analiz çalışmalarının daha hızlı bir şekilde sonuçlanması açısından giriş debisi ile çıkış debisi arasında meydana gelen bu fark göz ardı edilmiş ve debi değeri yükseltilerek analiz sürecine devam edilmiştir. Grafikte 0-20 saniye arasında debi değerinde görülen ani yükselme başlangıç koşullarında girilmiş olan akışkan kütlelerinden kaynaklanmaktadır. Girilmiş olan bu akışkan kütlesi Şekil 3.12’de açık mavi renkte gösterilmiştir.

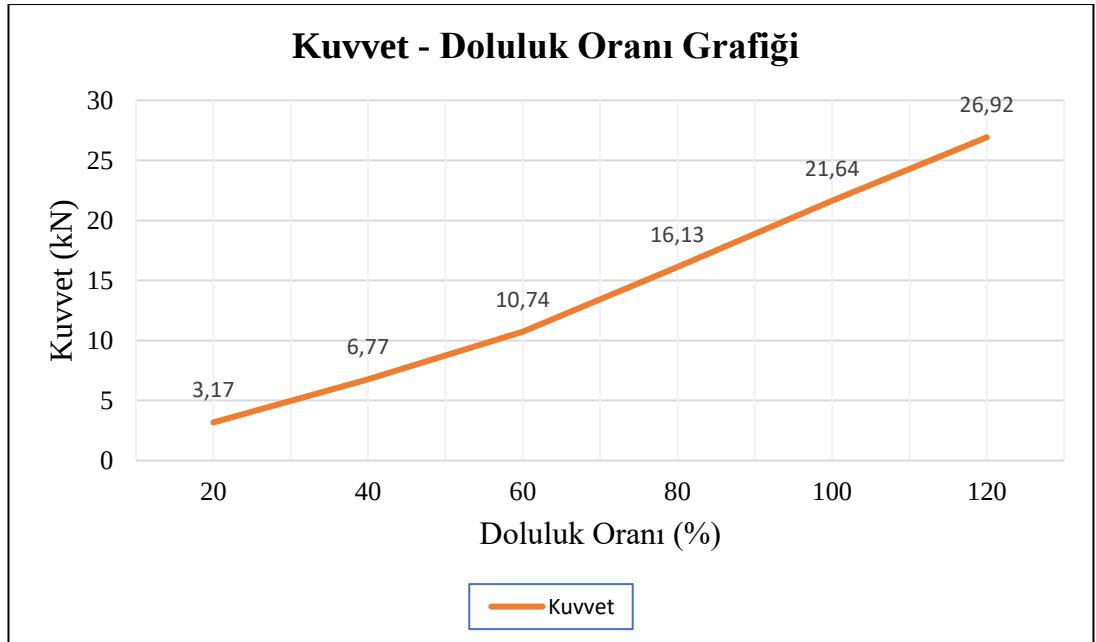
3.4.3.2. Hareketli bölümde oluşan kuvvet değerleri

HAD analizleri ile oluşturulan raporlarda kuvvet zaman grafiği oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda elde edilen kuvvet değerleri Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. 6 farklı debi değerinde kuvvet zaman grafiği

Şekil 3.14'te Arşimet burgu türbin sisteminin HAD analizlerinde her bir debi değeri için 60 saniyelik periyotlar ile üretebileceği kuvvet değeri grafikleri paylaşılmıştır. Grafiklerde 0-20 saniye arasında kuvvet değerinde görülen ani yükselme başlangıç koşullarında girilmiş olan akışkan kütesinden kaynaklanmaktadır. Kuvvet değeri Arşimet burgu türbin sisteminin hareketli bölgesi seçilerek hesaplatılmıştır.

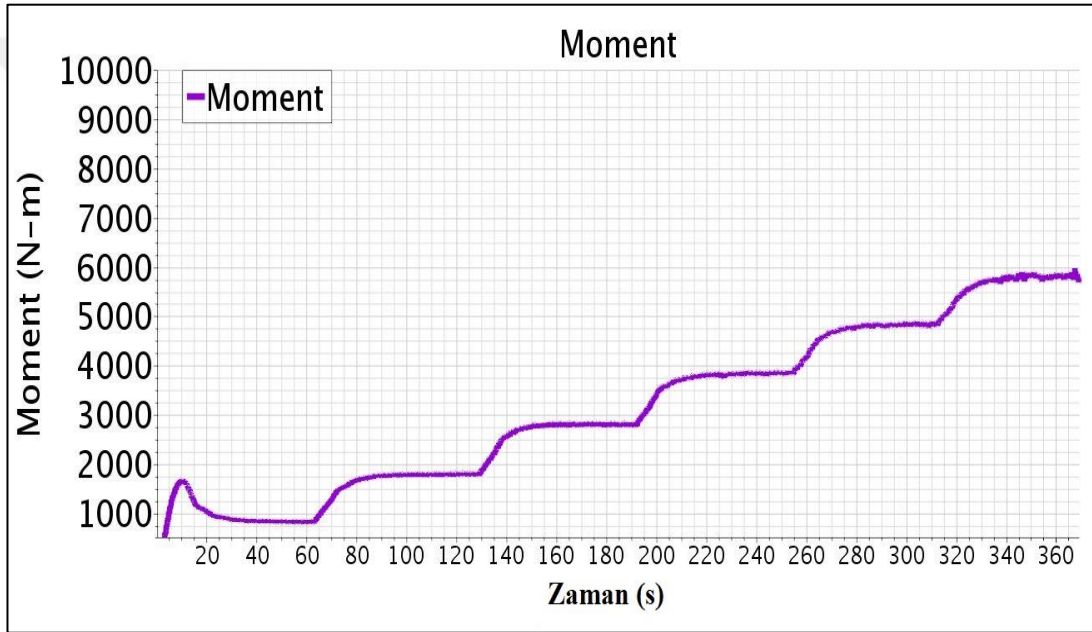


Şekil 3.15. Kuvvet doluluk oranı grafiği

Şekil 3.15’te yatay eksen sistemdeki doluluk oranını dikey eksen ise doluluk oranı karşısında artan kuvvet değerini göstermektedir. Doluluk oranı, giriş debi değerinin tasarım debi değerine oranıdır. Kuvvet-doluluk oranı grafiği incelendiğinde doluluk oranındaki artış ve elde edilen kuvvet lineer olarak ilişkilidir.

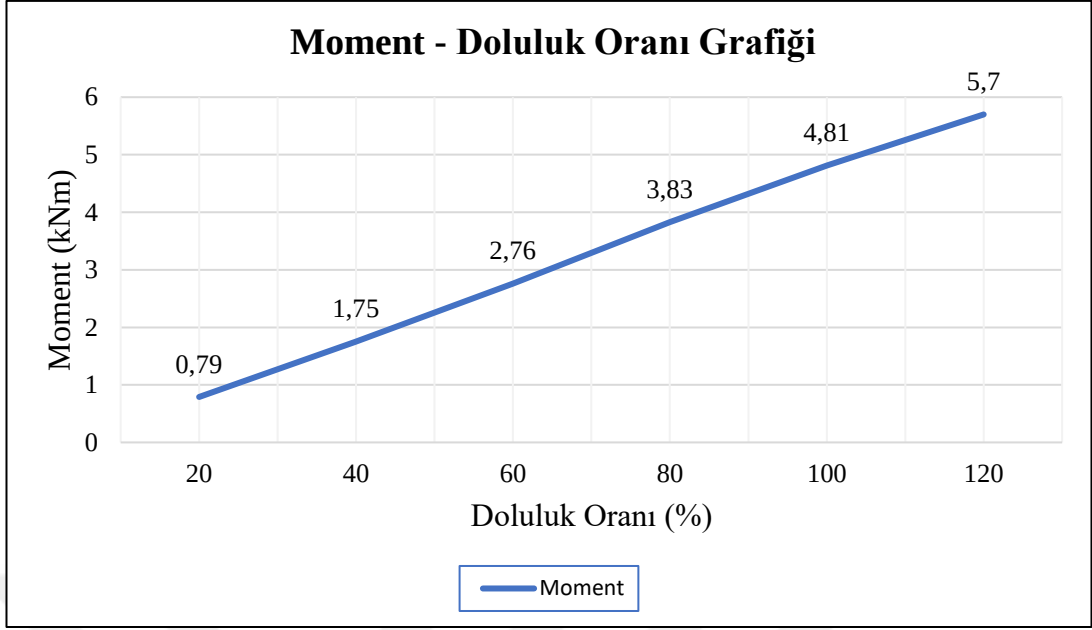
3.4.3.3. Hareketli bölümde oluşan moment değerleri

HAD analizleri ile oluşturulan raporlarda moment zaman grafiği oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda elde edilen moment değerleri Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



Şekil 3.16. 6 farklı debi değerinde moment zaman grafiği

Şekil 3.16’da Arşimet burğu türbin sisteminin HAD analizlerinde her bir debi değeri için 60 saniyelik periyotlar ile üretebileceği moment değeri grafikleri paylaşılmıştır. Grafiklerde 0-20 saniye arasında moment değerinde görülen ani yükselme başlangıç koşullarında girilmiş olan akışkan kütlesinden kaynaklanmaktadır. Moment değeri Arşimet burğu türbin sisteminin hareketli bölgesi seçilerek hesaplatılmıştır.

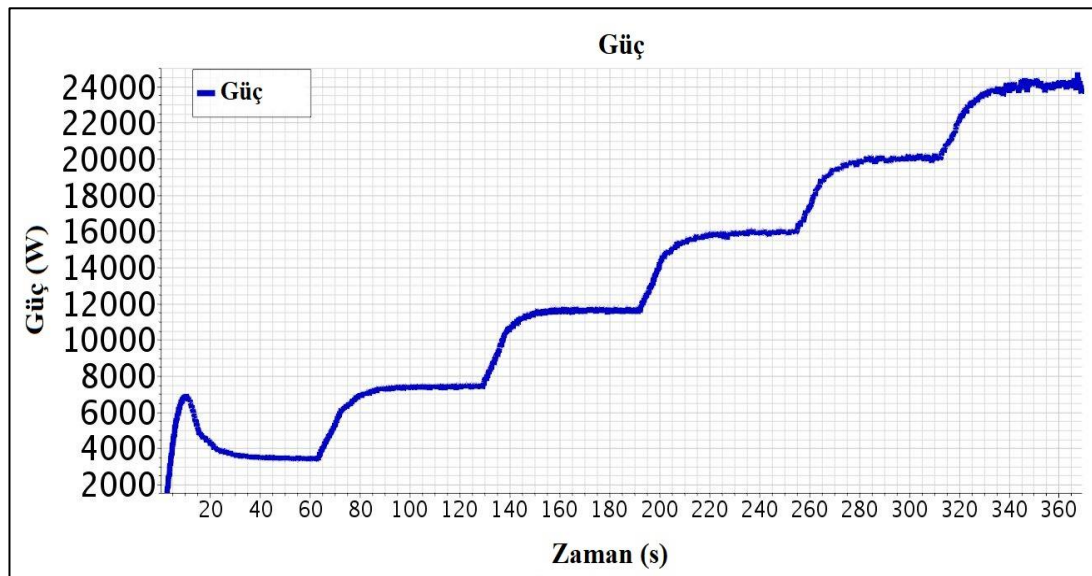


Şekil 3.17. Moment doluluk oranı grafiği

Şekil 3.17’de yatay eksen sistemdeki doluluk oranını dikey eksen ise doluluk oranı karşısında artan moment değerini göstermektedir. Moment-doluluk oranı grafiği incelendiğinde doluluk oranındaki artış ve elde edilen moment lineer olarak ilişkilidir.

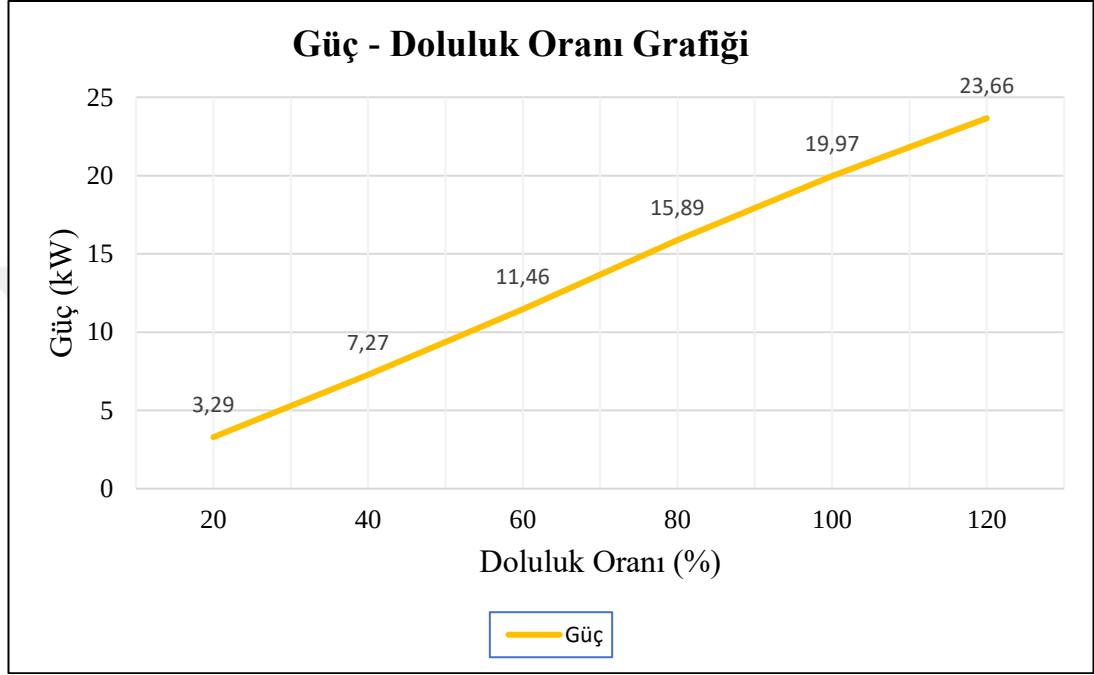
3.4.3.4. Hareketli bölümde oluşan güç değerleri

HAD analizleri ile oluşturulan raporlarda güç zaman grafiği oluşturulmuştur. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen güç değerleri Şekil 3.18 ve Şekil 3.19’da gösterilmiştir.



Şekil 3.18. 6 farklı debi değerinde güç zaman grafiği

Şekil 3.18’de Arşimet burgu türbin sisteminin HAD analizlerinde her bir debi değeri için 60 saniyelik periyotlar ile üretebileceği güç değeri grafikleri paylaşılmıştır. Grafiklerde 0-20 saniye arasında güç değerinde görülen ani yükselme başlangıç koşullarında girilmiş olan akışkan kütlesinden kaynaklanmaktadır. Güç değeri Arşimet burgu türbin sisteminin hareketli bölgesi seçilerek hesaplatılmıştır.

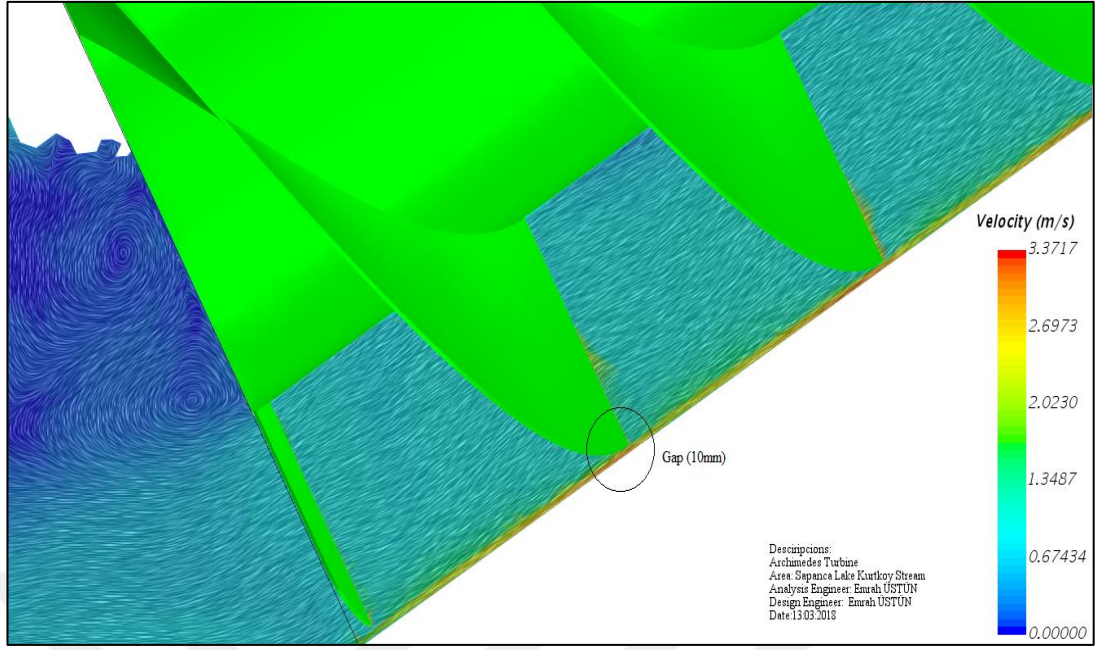


Şekil 3.19. Güç doluluk oranı grafiği

Şekil 3.19’da yatay eksen sistemdeki doluluk oranını dikey eksen ise doluluk oranı karşısında artan güç değerini göstermektedir. Güç-doluluk oranı grafiği incelendiğinde doluluk oranındaki artış ve elde edilen güç lineer olarak ilişkilidir.

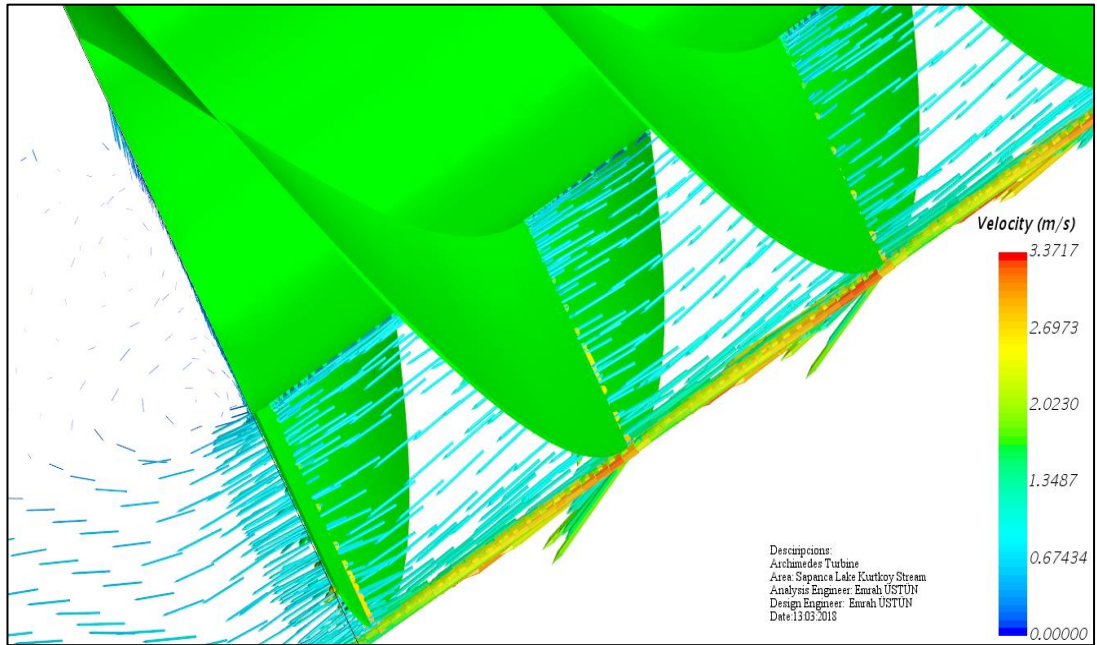
3.4.3.5. Gap bölgesinin incelenmesi

Tüm hareketli sistemlerde olduğu gibi Arşimet burgu türbininde de hareketli bölge ile sabit bölge arasında bir gap bulunması zorunludur. Arşimet burgu türbininde bırakılan bu gap miktarı içerisinden geçen debi değeri kanatlar ve dolayısıyla türbin rotoru üzerinde herhangi bir moment etkisi yaratmamaktadır. Bunun sonucunda sistemde verim değerinde düşüşler meydana gelmektedir.



Şekil 3.20. Gap bölgesi

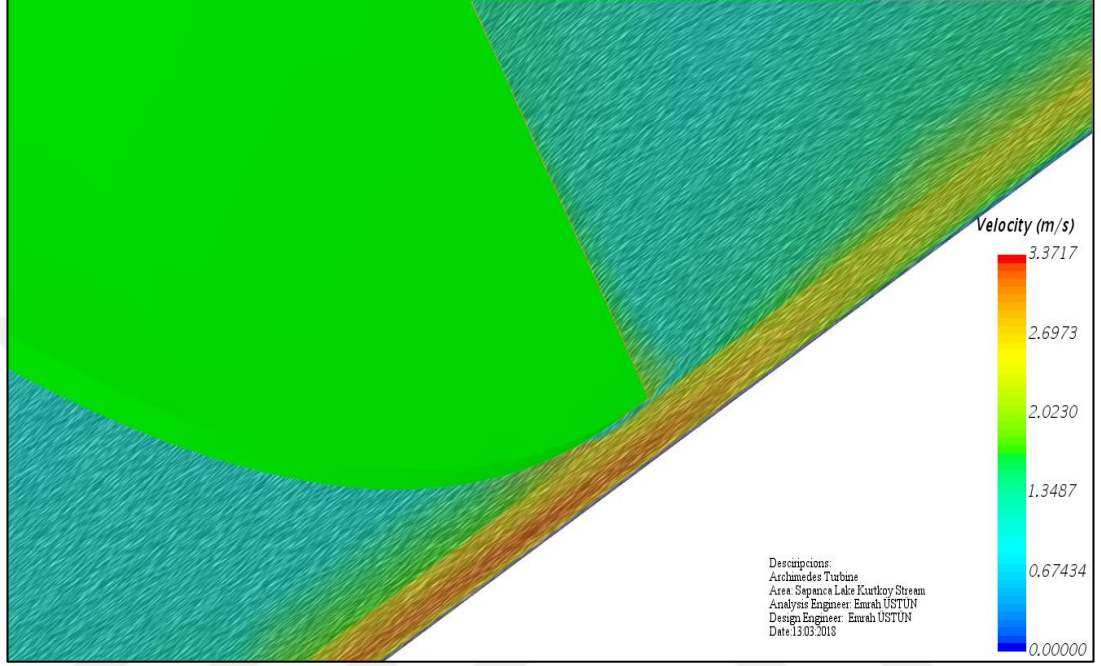
Şekil 3.20’de Arşimet burğu sisteminde bulunan gap bölgesinde meydana gelen debi geçişinin hız vektör büyüklükleri gösterilmiştir. Görselde belirtilen 10mm değerindeki gap türbin rotorunda bulunan tüm kanatlarda mevcuttur.



Şekil 3.21. Gap bölgesi hız vektörleri

Şekil 3.21’de Arşimet burğu türbin sisteminde meydana gelen hız vektörleri gösterilmiştir. Görselde hız vektörlerinin gap bölgesinde diğer bölgelere nazaran daha

büyük değerlerde olduğu görülmektedir. Bunun nedeni akışkan debisinin gap bölgesinden geçişi sırasında kanatlara temasının olmamasıdır. Bu nedenle bu bölgeden geçen debi sistemde herhangi bir moment etkisi oluşturmamaktadır. Dolayısıyla gap bölgesi sistemde kayıplara neden olmaktadır.

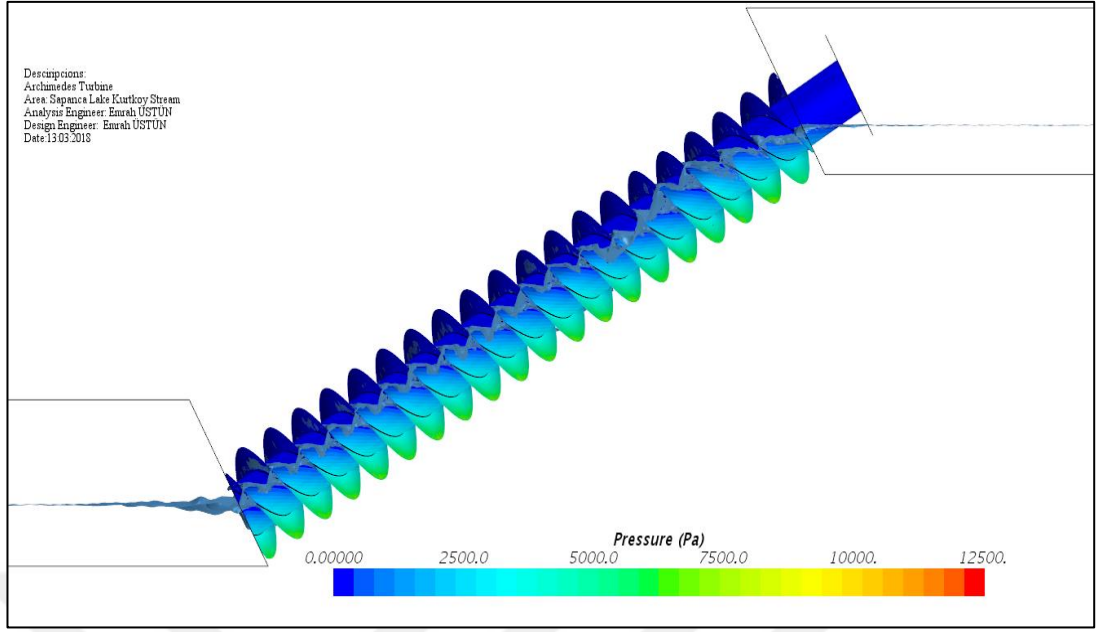


Şekil 3.22. Gap bölgesi detay görünüş

Şekil 3.22’de kanatlar ile oluk arasında kalan bölge olarak ifade ettiğimiz gap değeri ve hız vektörlerinin bu bölgeden geçişi detaylı olarak gösterilmiştir.

3.4.3.6. Maksimum debi değerinde kanatlar üzerinde oluşan basınç

Arşimet burğu türbini mukavemet analizleri yapılırken kanatlar üzerinde oluşan maksimum basınç değeri dikkate alınmıştır. Kanatlar üzerinde oluşan maksimum basınç değeri tasarım debisinin %20 fazlası olan 552 kg/s değerinde meydana gelmektedir. Kanatlar üzerinde oluşan bu basınç değeri Şekil 3.23’te gösterilmiştir.

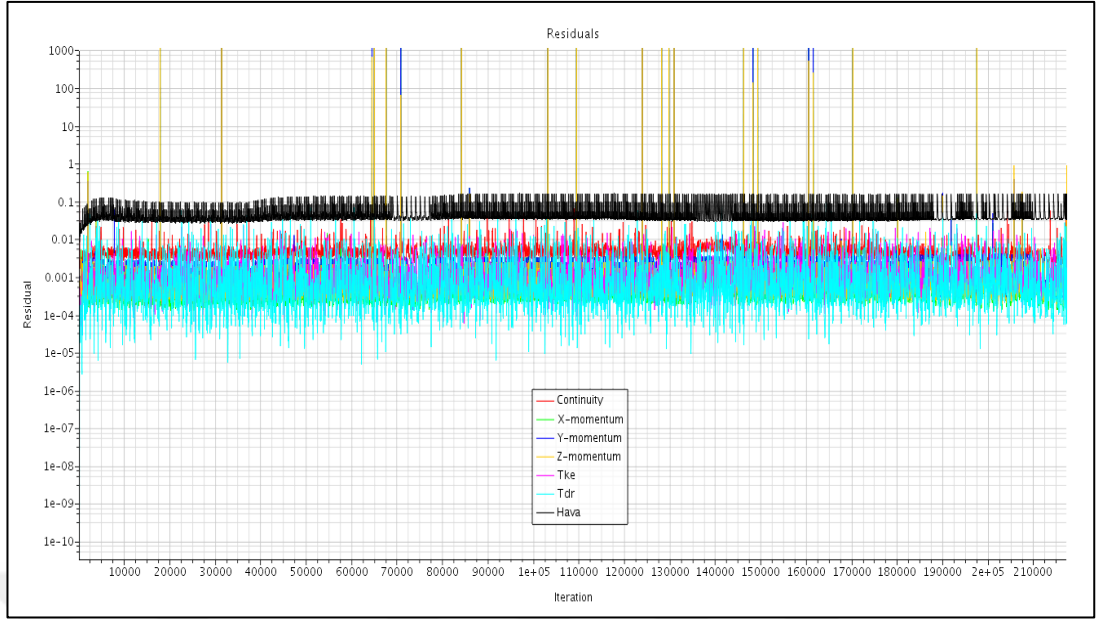


Şekil 3.23. 552 kg/s’de kanatlar üzerinde meydana gelen basınç değeri

Şekil 3.23’te HAD analizlerinde 552 kg/s sıvı akışkan debisinde hareketli bölge üzerinde meydana gelen basınç dağılımları gösterilmiştir. Bunun sonucunda kanatlar üzerinde meydana gelen basınç değerinin 9000 Pa olduğu elde edilmiştir. Bu değer sistemin sonlu elemanlar yöntemi ile mukavemet analizleri yapılırken kanatlar üzerine basınç kuvveti olarak eklenmiştir.

3.4.3.7. Hata oranları

Analiz çalışmalarında meydana gelen hata oranları oluşturulan çözüm ağı yapısının yeterliliği, sınır koşullarının uygunluğu gibi konularda bize bilgi vermektedir. Bu nedenle sistemde hata oranları raporlanmış ve Şekil 3.24’te gösterilmiştir.

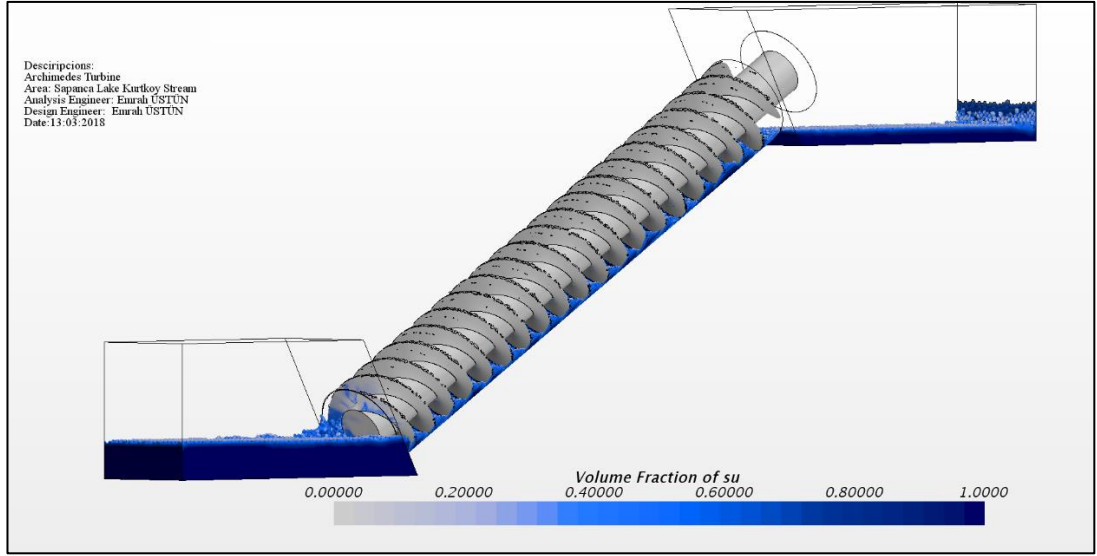


Şekil 3.24. Hata oranları görseli

Şekil 3.24'te Arşimet burgu sisteminin analiz süresince meydana gelen hata oranları gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde hata oranlarının sürekli olarak %10'un altında kaldığı ve yaklaşık olarak sabit ilerlediği görülmektedir. Bu çalışma için elde edilen hata oranları yeterli olarak kabul edilmiştir. Sistemde 6 farklı debi değeri boyunca yaklaşık olarak 220.000 iterasyon yapılmıştır.

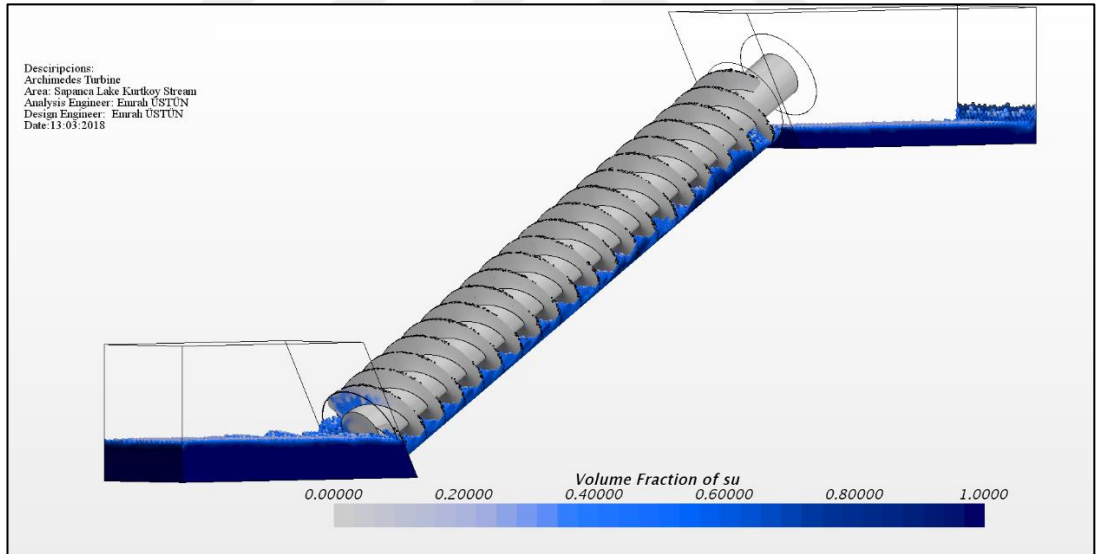
3.4.3.8. Analiz çalışmaları süresince elde edilen görseller

Akışkan olarak kabul edilen suyun akış karakteristiğini inceleyebilmek amacıyla her bir debi değeri için oluşabilecek su hareketleri çözdürülmüştür. Analiz çalışmaları süresince meydana gelen su hacmi değişimleri Şekil 3.25, Şekil 3.26, Şekil 3.27, Şekil 3.28, Şekil 3.29 ve Şekil 3.30'da gösterilmiştir.



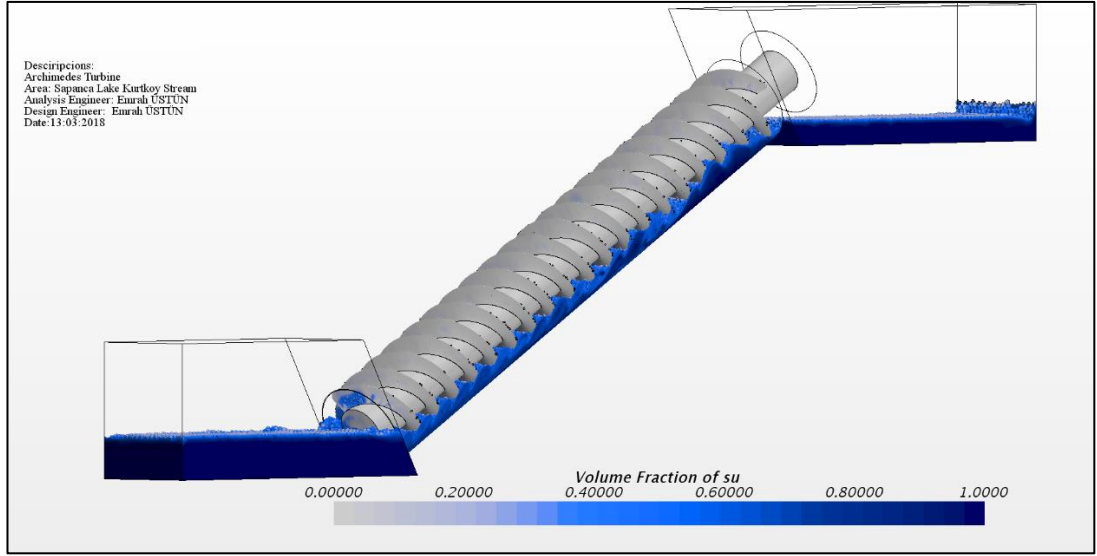
Şekil 3.25. 92 kg/s debi değerinde su hacmi görseli

Şekil 3.25'te türbin girişindeki akışkan debisinin 92 kg/s debi değerinde olduğu kabul edilerek yapılan akış analiz görseli gösterilmiştir.



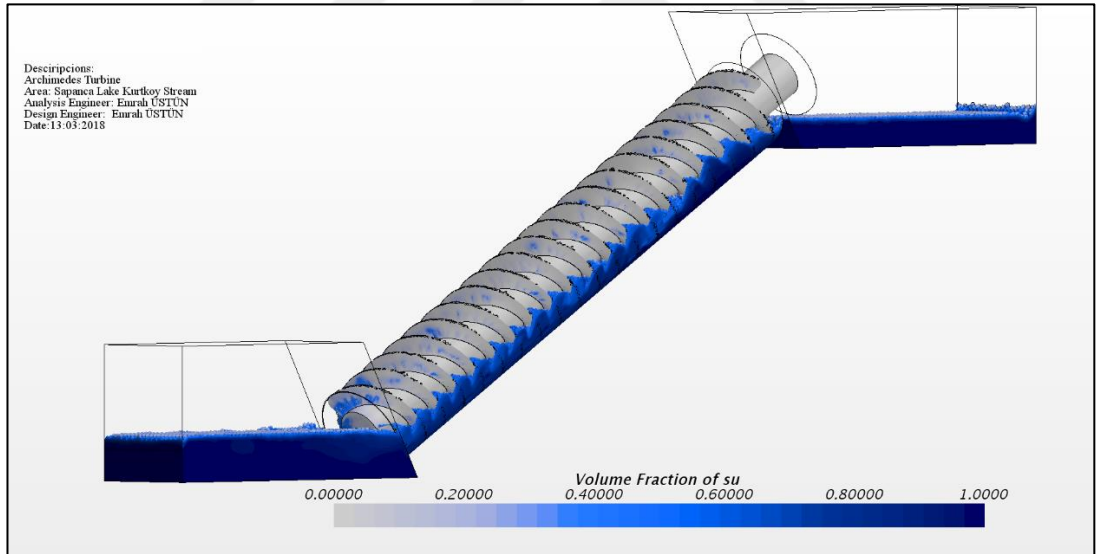
Şekil 3.26. 184 kg/s debi değerinde su hacmi görseli

Şekil 3.26'da türbin girişindeki akışkan debisinin 184 kg/s debi değerinde olduğu kabul edilerek yapılan akış analiz görseli gösterilmiştir.



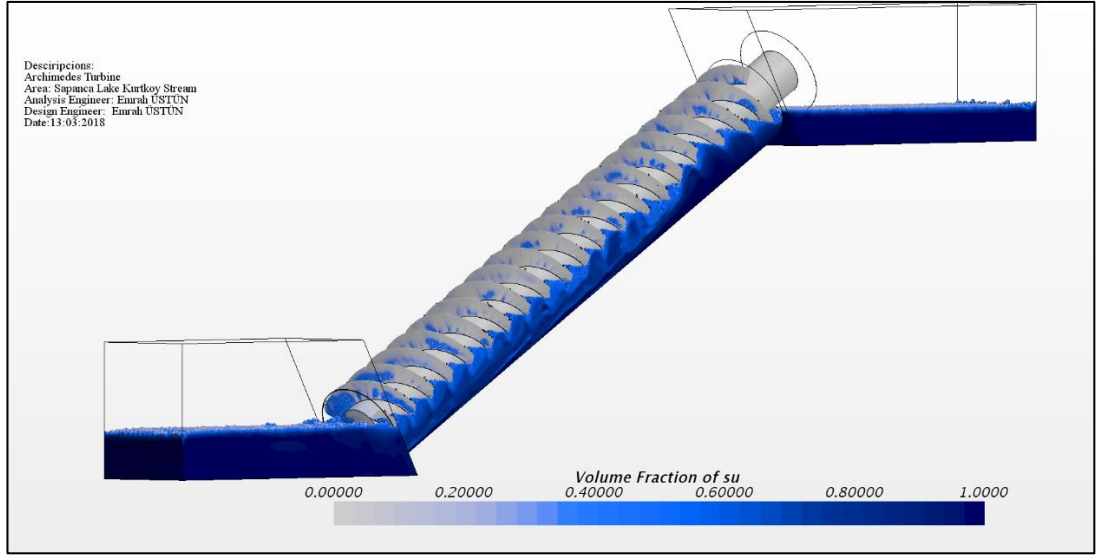
Şekil 3.27. 276 kg/s debi değerinde su hacmi görseli

Şekil 3.27’de türbin girişindeki akışkan debisinin 276 kg/s debi değerinde olduğu kabul edilerek yapılan akış analiz görseli gösterilmiştir.



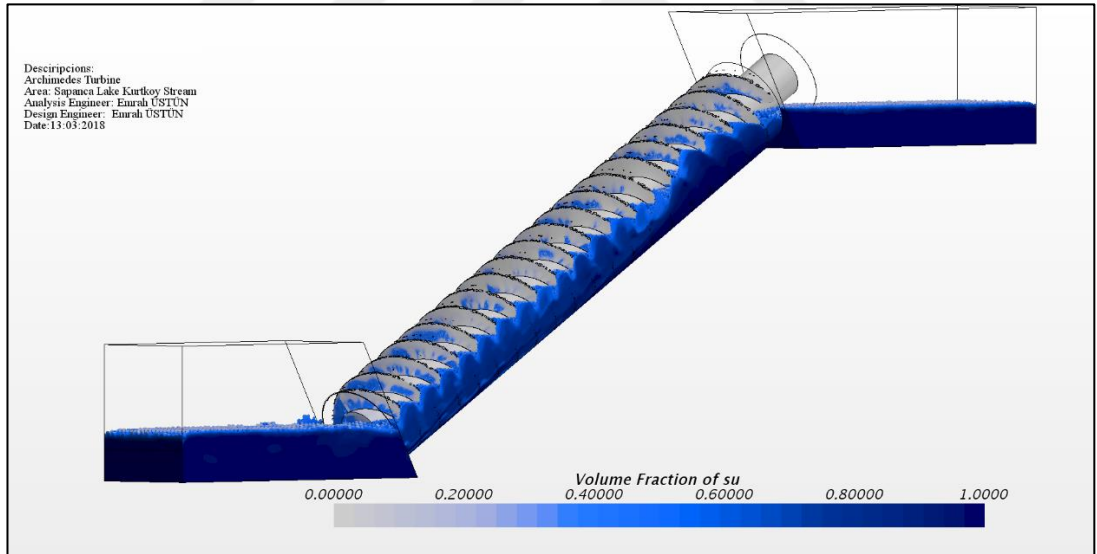
Şekil 3.28. 368 kg/s debi değerinde su hacmi görseli

Şekil 3.28’de türbin girişindeki akışkan debisinin 368 kg/s debi değerinde olduğu kabul edilerek yapılan akış analiz görseli gösterilmiştir.



Şekil 3.29. 460 kg/s debi değerinde su hacmi görseli

Şekil 3.29’da türbin girişindeki akışkan debisinin 460 kg/s debi değerinde olduğu kabul edilerek yapılan akış analiz görseli gösterilmiştir.

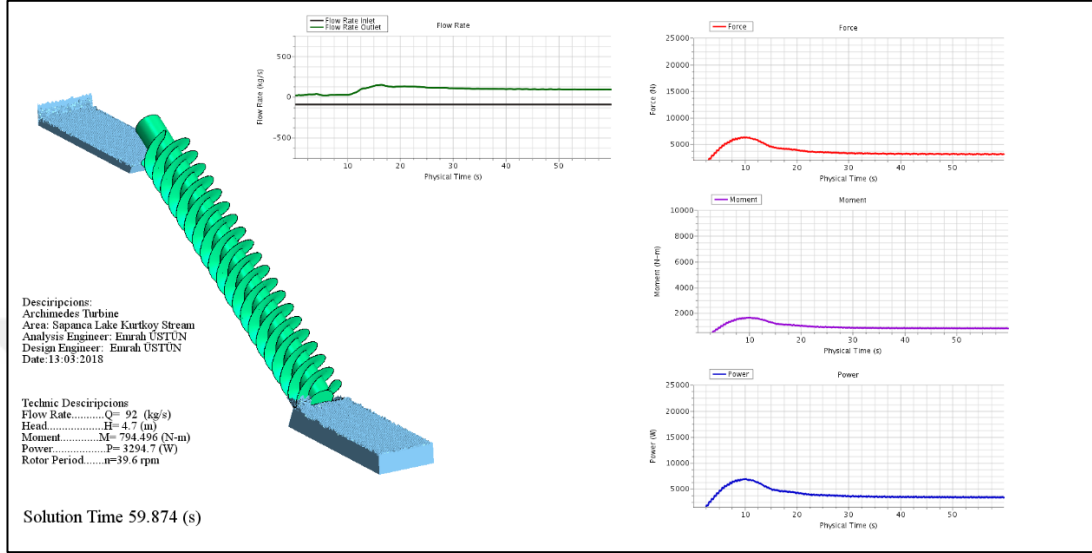


Şekil 3.30. 552 kg/s debi değerinde su hacmi görseli

Şekil 3.30’da türbin girişindeki akışkan debisinin 552 kg/s debi değerinde olduğu kabul edilerek yapılan akış analiz görseli gösterilmiştir.

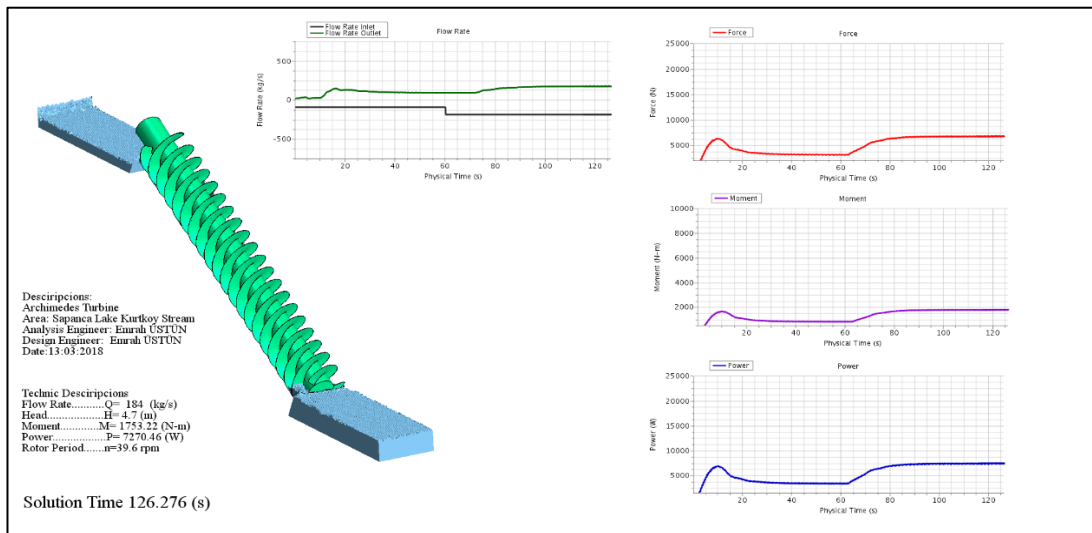
Şekil 3.25, Şekil 3.26, Şekil 3.27, Şekil 3.28, Şekil 3.29 ve Şekil 3.30’da artan debi değerine karşın burgu türbin modelinin giriş bölgesinde, rotorunda ve çıkış bölgesinde meydana gelen akış karakteristiği ve su hacmi değişimleri gösterilmektedir. Debi

değerinin artışı türbin modelinin giriş bölgesinde, rotorunda ve çıkış bölgesinde su hacmini arttırdığı görülmektedir. Bu artış türbin rotorunda meydana gelen moment değerini ve dolayısıyla türbinin ürettiği güç değerini arttırmaktadır. Bu değerler ise Şekil 3.16, Şekil 3.17, Şekil 3.18 ve Şekil 3.19’da gösterilmiştir.



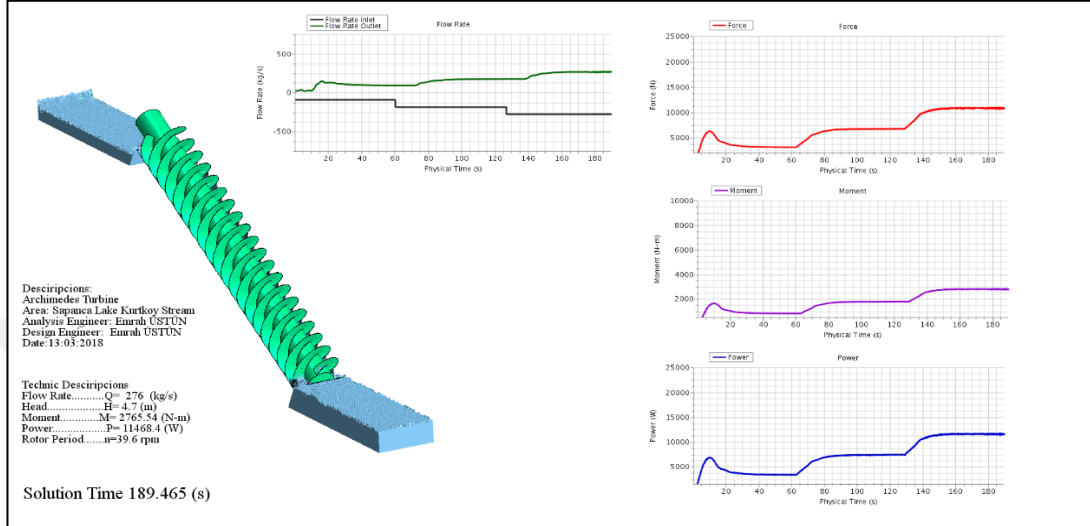
Şekil 3.31. 92kg/s debi değerinde analiz sonuç görseli

Şekil 3.31’de türbin girişindeki akışkan debisinin 92 kg/s debi değerinde (%20 doluluk oranı) olduğu kabul edilerek yapılan akış analiz görseli gösterilmiştir. Görselde 92 kg/s su debisinde fiziksel zamanda analiz süresinin uzunluğu, kuvvet, moment ve güç değerleri görülmektedir.



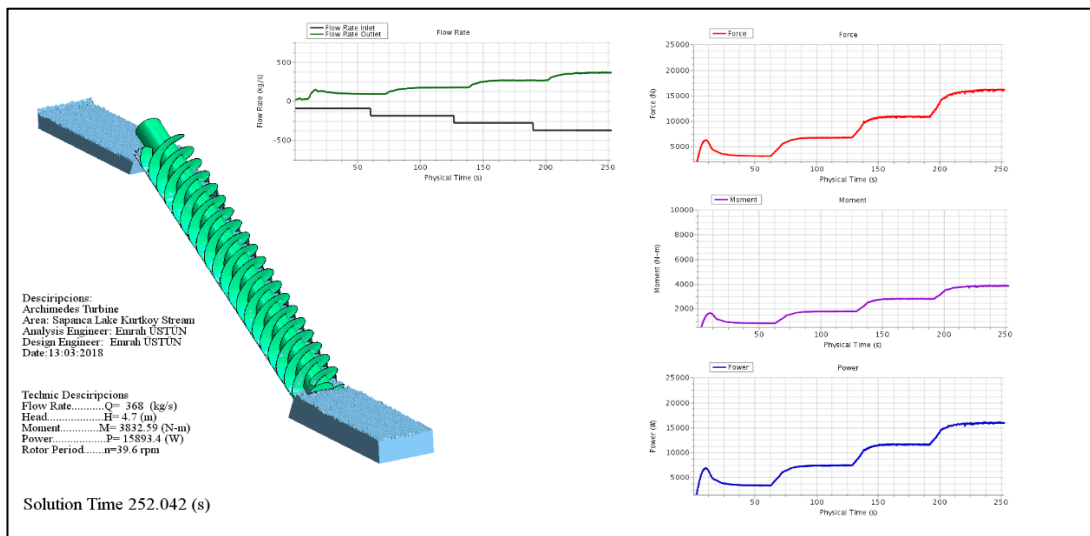
Şekil 3.32. 184kg/s debi değerinde analiz sonuç görseli

Şekil 3.32’de türbin girişindeki akışkan debisinin 184 kg/s debi değerinde (%40 doluluk oranı) olduğu kabul edilerek yapılan akış analiz görseli gösterilmiştir. Görselde 184 kg/s su debisinde fiziksel zamanda analiz süresinin uzunluğu, kuvvet, moment ve güç değerleri görülmektedir.



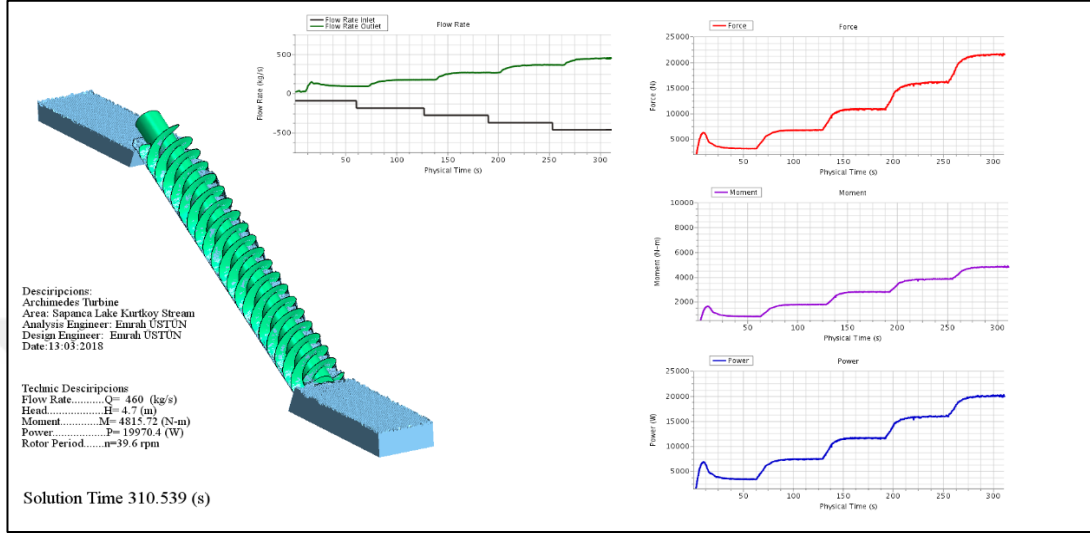
Şekil 3.33. 276kg/s debi değerinde analiz sonuç görseli

Şekil 3.33’te türbin girişindeki akışkan debisinin 276 kg/s debi değerinde (%60 doluluk oranı) olduğu kabul edilerek yapılan akış analiz görseli gösterilmiştir. Görselde 276 kg/s su debisinde fiziksel zamanda analiz süresinin uzunluğu, kuvvet, moment ve güç değerleri görülmektedir.



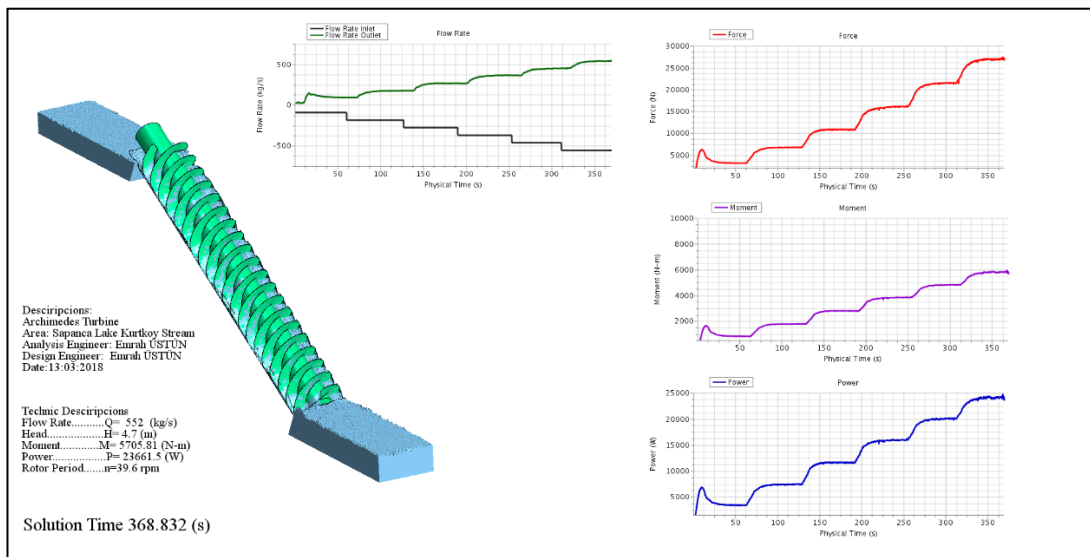
Şekil 3.34. 368kg/s debi değerinde analiz sonuç görseli

Şekil 3.34'te türbin girişindeki akışkan debisinin 368 kg/s debi değerinde (%80 doluluk oranı) olduğu kabul edilerek yapılan akış analiz görseli gösterilmiştir. Görselde 368 kg/s su debisinde fiziksel zamanda analiz süresinin uzunluğu, kuvvet, moment ve güç değerleri görülmektedir.



Şekil 3.35. 460kg/s debi değerinde analiz sonuç görseli

Şekil 3.35'de türbin girişindeki akışkan debisinin 460 kg/s debi değerinde (%100 doluluk oranı) olduğu kabul edilerek yapılan akış analiz görseli gösterilmiştir. Görselde 460 kg/s su debisinde fiziksel zamanda analiz süresinin uzunluğu, kuvvet, moment ve güç değerleri görülmektedir.



Şekil 3.36. 552kg/s debi değerinde analiz sonuç görseli

Şekil 3.36’da türbin girişindeki akışkan debisinin 552 kg/s debi değerinde (%120 doluluk oranı) olduğu kabul edilerek yapılan akış analiz görseli gösterilmiştir. Görselde 552 kg/s su debisinde fiziksel zamanda analiz süresinin uzunluğu, kuvvet, moment ve güç değerleri görülmektedir.

3.4.4. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Analiz çalışmalarının değerlendirilmesi kapsamında 6 farklı debi değerinin üretebileceği maksimum potansiyel güç değerleri aşağıdaki yöntem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$P_{\text{potansiyel}} = Q.H.g.\rho \quad (3.1)$$

$$P_{\text{analiz}} = Q.H.g.\rho.\eta_{\text{toplam-analiz}} \quad (3.2)$$

$$\eta_{\text{toplam-analiz}} = P_{\text{analiz}} / P_{\text{potansiyel}} \quad (3.3)$$

Burada Q debi değerini (m^3/s), H düşü değerini (m), g yerçekimi ivmesini (m/s^2), ρ akışkanın yoğunluğunu (kg/m^3) $P_{\text{potansiyel}}$ üretebilecek maksimum güç değerini (W), P_{analiz} analiz sonuçlarından elde edilen güç değerini (W) ve $\eta_{\text{toplam-analiz}}$ türbinin analiz sonuçlarında elde edilen verim değerini göstermektedir. Hesaplanan değerler sonucunda elde edilen veriler Tablo 3.5’te gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Analiz sonuçları ile potansiyelin karşılaştırılması

Debi (kg/s)	Moment (Analiz Sonucu) (kNm)	Güç (Analiz Sonucu) (kW)	Güç (Potansiyel) (kW)	Verim (%)	Doluluk Oranı (%)
92	0,79	3,29	4,24	77,67	20
184	1,75	7,27	8,48	85,70	40
276	2,76	11,46	12,72	90,12	60
368	3,83	15,89	16,96	93,67	80
460	4,81	19,97	21,20	94,16	100
552	5,70	23,66	25,45	92,97	120

Tablo 3.5’te Arşimet burğu türbin modelinin her bir debi değeri için analiz sonuçlarından elde edilen güç ve moment değeri gösterilmiştir. Tabloda yer alan doluluk oranı ifadesi sistemin giriş debisinin tasarım debisine oranıdır. Verim değeri

ise analiz sonucu elde edilen güç değerinin aynı debi değeri için üretilbilecek maksimum güç değerine oranıdır.

HAD analizlerinden elde edilen sonuçlar neticesinde sistem 460 kg/s su debisinde %94,16 verim değerine ulaşmıştır. Sistemde meydana verim değerinin en önemli nedeni sistemde oluk ile kanatlar arasında bulunan açıklıktır. Su debisi oluk içerisinde hareket ederken, oluk ile kanatlar arasında bulunan bölgede kanatlar üzerinde herhangi bir kuvvet etkisi oluşturmada sistem terk etmektedir. Dolayısıyla sistemi terk eden su debisi üretilbilecek maksimum güç değerinin düşmesine neden olmaktadır.

Artan debi değeri miktarıyla verim değerinin de tasarım debisine kadar olan bölgede arttığı analiz sonuçlarından görülmektedir. Bunun nedeni sistem tasarım debisine yaklaştıkça iş yapan akışkan miktarının iş yapmayan (gap boşluğundaki kayıp debi) akışkan miktarına oranının artmasıdır. Bu nedenle sistem tasarım debisine yaklaştıkça verim değeri yükselmeye devam etmektedir.

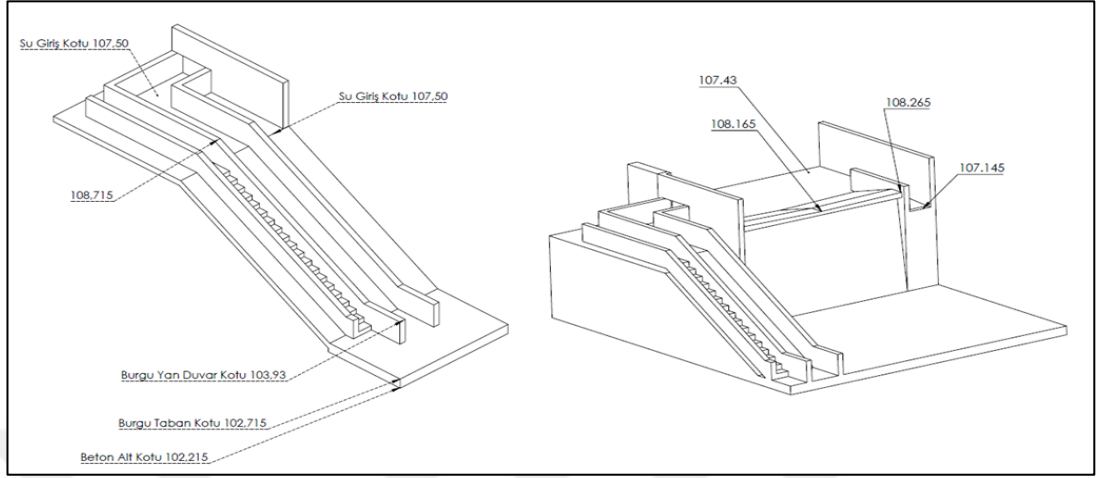
Analiz sonuçlarını incelediğimizde tasarım debisi üzerindeki yüklemelerde (552 kg/s) sistemin verim değerinin (%92,97) düştüğünü görmekteyiz. Tasarım debisi üzerindeki akışkan debi değerlerinde yani doluluk oranının %100 değerini aştığı durumlarda türbinden geçen akışkanın bir kısmı türbin dönüş yönünün tersine moment oluşturmaktadır. Kanatlar üzerinde oluşan ters moment verim değerini düşürmektedir. Yani burğu milini ters yönde döndürmeye çalışan akışkan miktarı tasarım debi değerinin üzerinde artan debi değeriyle birlikte yükselmektedir. Bu sonuç burğu tasarımı kadar savak tasarımının da ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Tüm bunlar incelendiğinde 4,7 m tasarım düşüşü ve 460 kg/s tasarım debisine sahip Kurtköy Deresi üzerine yapılması planlanan Arşimet burğu türbinin firma tarafından belirlenen tasarım parametre değerlerinin uygun olduğuna karar verilmiştir.

3.5. Sapanca Kurtköy Arşimet Burğu Türbini

Yapılan mukavemet analizleri sonucunda sistem üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimi tamamlanan sistem Şekil 3.37’de kot değerleri verilen betonarme yapının içerisine montaj edilmiştir. Montajlı sistem görüntüsü Şekil 3.38’de paylaşılmıştır. Burğu türbininin gerekli elektrik bağlantıları yapılarak sistem devreye alınmıştır. Devreye

alınan sistem üzerine kontrollü deneyler yapılarak sistemin ürettiği güç değeri ve buna karşılık sistemin verimi bulunmuştur.



Şekil 3.37. Arşimet burgu türbin betonarme yapı kot değerleri

Şekil 3.37’de Arşimet burgu türbin sisteminin Sapanca Kurtköy Deresi üzerinde yerleştirileceği betonarme yapının kot değerleri ve oluşturulacak betonarme yapı görselleri paylaşılmıştır.



Şekil 3.38. Arşimet burgu türbin montajlı görseli

Şekil 3.38’de Sapanca Kurtköy Deresi üzerinde kurulumu tamamlanmış Arşimet burgu türbin sisteminin görseli paylaşılmıştır.

3.5.1. Sapanca Kurtköy Arşimet burgusu kontrollü deney çalışmaları

3.5.1.1. Debi değerinin belirlenmesi

Yapılan testlerde, suyun kanal içindeki 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.

Tablo 3.6. Deney sonucu debi değerleri

Deney Numarası	Giriş Kanal Genişliği (m)	Giriş Su Seviyesi (m)	Giriş Su Hızı (m/s)	Giriş Su Debisi (m ³ /s)	Doluluk Oranı (%)
1	1,6	0,10	0,62	0,099	21,56
2	1,6	0,14	0,77	0,172	37,49
3	1,6	0,16	1,10	0,294	63,89
4	1,6	0,20	1,20	0,384	83,47
5	1,6	0,24	1,20	0,461	100,17
6	1,6	0,28	1,25	0,560	121,73

Tablo 3.6’da Yapılan deney çalışmaları sonucunda elde edilen giriş su debisi ve buna bağlı olarak oluşan doluluk oranı miktarları gösterilmiştir.

3.5.1.2. Güç ve toplam verim değerlerinin belirlenmesi

Sistemde debi değeri belirlendikten sonra güç hesabı yapılarak, belirlenen debi değerinde oluşabilecek maksimum güç değeri bulunmuştur. Sapanca Kurtköy Arşimet burgu 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 SCADA yardımı ile izlenmektedir. SCADA sisteminden elde edilen güç değeri ile hesaplanan maksimum güç değeri arasındaki oran bize türbin sisteminin toplam verim değerini vermektedir.

$$P_{SCADA} = Q.H.g.\rho.\eta_{top} \quad (3.4)$$

$$\eta_{top} = P_{SCADA} / P_{potansiyel} \quad (3.5)$$

Tablo 3.7. Güç ve toplam verim değerleri

Deney Numarası	Giriş Su Debisi (m ³ /s)	Düşü (m)	Yoğunluk (kg/m ³)	Yerçekimi (m/s ²)	Güç Potansiyel (kW)	Güç SCADA (kW)	Verim Toplam (%)
1	0,099	4,46	1000	9,81	4,34	1,80	41,47
2	0,172	4,47	1000	9,81	7,56	3,55	46,94
3	0,294	4,50	1000	9,81	12,97	7,10	54,72
4	0,384	4,53	1000	9,81	17,06	11,50	67,39
5	0,461	4,57	1000	9,81	20,65	14,90	72,13
6	0,560	4,61	1000	9,81	25,32	16,10	63,57

Deney sonuçlarından bulunan güç ve toplam verim değerleri ile debi değeri için üretilebilecek maksimum güç miktarı Tablo 3.7’de gösterilmiştir.

3.5.1.3. Burgu türbin mekanik verim değerinin belirlenmesi

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 burgu türbin sisteminin mekanik verimine ulaşılmıştır. Burgu türbin mekanik verim değerinin belirlenmesindeki amaç HAD analizinde elde edilen verim değerinin burgu türbinin mekanik verim değeri olmasıdır. Sistemde deney sonuç verileri ile HAD verileri bu değer üzerinden karşılaştırılacaktır.

$$\eta_{top} = \eta_{bm} \cdot \eta_{dk} \cdot \eta_{ih} \cdot \eta_{fk} \cdot \eta_{ma} \quad (3.6)$$

η_{bm} türbinin mekanik verim değerini, η_{dk} dişli kutusunun verim değerini, η_{ih} iletim hattının verim değerini, η_{fk} frekans konvektörün verim değerini, η_{ma} alternatörün verim değerini ve η_{top} toplam verim değerini göstermektedir. Burgu türbin sistemi mekanik verim değeri Tablo 3.8’de gösterilmiştir.

Tablo 3.8. Burgu türbin mekanik verim değerleri

Deney Numarası	Verim Burgu Mekanik (%)	Verim Dişli Kutusu (%)	Verim Motor Alternatör (%)	Verim Frekans Konvertör (%)	Verim İletim Hattı (%)	Verim Toplam (%)
1	47,89	95	93	99	99	41,47
2	51,73	95	93	99	99	46,94
3	63,17	95	93	99	99	54,72
4	77,82	95	93	99	99	67,39
5	83,25	95	93	99	99	72,13
6	73,41	95	93	99	99	63,57

Tablo 3.8’de Arşimet burgu türbin sisteminde toplam verim değeri burgu türbin mekanik verimi; dişli kutusu verimi, alternatör verimi, frekans konvertör verimi ve iletim hattı verim değerlerine bağlıdır. Bundan hareketle sistemin mekanik verim değeri belirlenmiştir.

3.5.2. Arşimet burgu türbin deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Sapanca Kurtköy Deresi üzerine kurulan Arşimet burgu türbin sisteminin kontrollü deney sonuçları incelendiğinde;

Debi değerinin artması karşısında üretilen güç değerinin beklenen şekilde arttığı görülmektedir. Sistem tasarım debisi olan $0,46\text{m}^3/\text{s}$ ’de toplam verim değeri olarak %72,13 mekanik verim değeri olarak ise %83,25 değerine ulaşmıştır. Bunun yanında verim değeri sistem tasarım debisine yaklaştıkça artmakta ve tasarım debisi olan $0,46\text{m}^3/\text{s}$ ’de %72,13 değerine ulaşmaktadır. Tasarım debisi altında ve tasarım debisi üzerinde olan yüklemelerde sistemin verim değerinin düştüğü görülmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda firmanın belirlenen tasarım parametrelerinin uygun olduğuna karar verilmiştir.

Sistemin optimum su debisinin %20 üstünde $0,56\text{m}^3/\text{s}$ ’de dahi toplam verimde %63,57 ve mekanik verimde %73,41 olarak 16,1 kW elektrik enerjisi üretmiştir.

Yapılan test sonuçları neticesinde dere seviyesinin minimum seviyesi olan $0,099\text{m}^3/\text{s}$ su debisinde 1,8 kW elektrik enerji üretilmiştir. 1,8 kW enerji değeri için sistem verim değeri %41,47 ve mekanik verim değeri %47,89 olduğu görülmüştür.

3.5.3. Deney sonuçları ile analiz verilerinin karşılaştırılması

Arşimet burgu türbini ile çalışan hidroelektrik santral sisteminin teorik ve deneysel incelenmesi yüksek lisans projesi kapsamında yapılan çalışmada, Sapanca Kurtköy deresi üzerine kurulan Arşimet burgu türbini incelenmiştir. Yapılan çalışmada belirlenen tasarım parametreleri karşısında sistemin HAD sonuçları ile kontrollü deney sonuçları karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.9. Analiz değerleri ile deney değerleri karşılaştırılma tablosu

Analiz Sonucu		Deney Sonucu	
Doluluk Oranı (%)	Verim (Analiz) (%)	Doluluk Oranı (%)	Verim (Deney) (%)
20	77,67	21,57	47,89
40	85,69	37,50	51,73
60	90,12	63,90	63,18
80	93,67	83,48	77,83
100	94,15	100,17	83,26
120	92,96	121,74	73,42

Tablo 3.9’da Arşimet burgu türbin sisteminin analiz sonuçlarından elde edilen verim değerleri ile deney sonuçlarından elde edilen verim değerleri karşılaştırılmıştır.

Doluluk oranı olarak ifade ettiğimiz şey giriş debisinin sistemin tasarım debisine oranıdır. Bu doğrultuda %100 doluluk oranında (0,46 m³/s) yapılan HAD analizi çalışmalarında sistem analiz çalışmaları içerisindeki en yüksek verim değeri olan %94,159’a ulaşmıştır. Diğer yandan yapılan deney çalışmalarında elde edilen %100,17’lik doluluk oranında sistem deney çalışmaları içerisinde en yüksek verim değeri olan %83,26’ya ulaşmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde tasarım debisi ve tasarım düşüsü için firma tarafından belirlenen tasarım parametrelerinin uygun olduğu saptanmıştır.

Sistemde meydana gelen verim değerindeki azalmanın ilk nedeni hareketli bölge ile sabit bölge arasında bulunan boşluk miktarıdır. Sistemde teorik olarak hareketli bölge ile sabit bölge arasında boşluk olmaması bir avantajdır. Ancak böyle bir durum dönmekte olan her sistemin çalışma şartlarında olduğu gibi Arşimet burgu türbininin çalışma şartları için de mümkün değildir. Bu nedenle sistemde hareketli bölge ile sabit

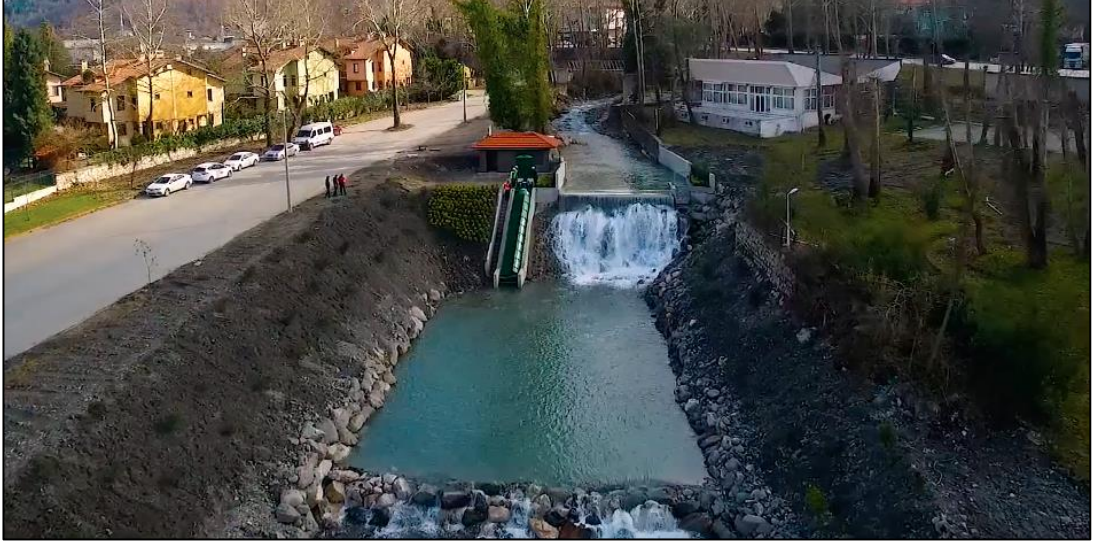
bölge arasında 10mm boşluk bırakılmıştır. Bırakılan boşluk içerisinde hareket eden akışkan burgu sistem kanatlarında herhangi bir moment etkisi oluşturmamakta ve verim değerinin düşmesine neden olmaktadır. Verim değerinin azalmasına neden olan bir diğer etken ise sistemde meydana gelen sürtünme (rulman) kayıplarıdır.

Sistem tasarım debisine yaklaştıkça yapılan HAD ve kontrollü deney sonuçlarından görüldüğü üzere sistemin verim değerlerinde artış saptanmıştır. Meydana gelen bu artışın nedeni, hareketli bölge ile sabit bölge arasındaki boşluktan iş yapmadan geçen akışkan miktarının artan debi değeri miktarındaki oranının azalmasıdır.

Sistem tasarım debisi üzerindeki yüklemelerde HAD ve kontrollü deney sonuçlarından görüldüğü üzere verim değerinin azaldığı saptanmıştır. Meydana gelen bu düşüşün nedeni Arşimet burgu türbin kanatlarında oluşan ters momenttir. Artan debi değeri ile birlikte Arşimet burgu türbininde aşırı doluluk meydana gelmektedir. Oluşan bu doluluk sistem kanatlarında ters moment oluşturmakta ve dolayısıyla verim değerini düşürmektedir.

Arşimet burgu türbin sisteminin HAD ile kontrollü deney sonuçları karşılaştırıldığında aynı doluluk oranı değeri için verim değerleri arasında farklılıklar olduğu Tablo 3.9’da görülmektedir. Arşimet burgu türbin sisteminin HAD analiz sonuçlarında elde edilen verim değerini etkileyen etmenler tamamen akışkana bağlı olan etmenlerdir. Oysaki kontrollü deney sonuçlarında bu değeri etkileyen akışkan kayıplarının yanında sürtünme ve üretimden kaynaklanan kayıplar gibi nedenler bulunmaktadır. Verim faktörünü etkileyen bu nedenler HAD analizinde görünmemektedir. Bu nedenle aynı doluluk oranında analiz sonuçları ile deney sonuçları arasında farklılıklar meydana gelmiştir. Bu farklılık sistem tasarım debisi olan %100 doluluk oranında %10,899 iken %20 doluluk oranında %29,781’dir.

Sistemde deneyler süresince burgu dönüş hızı 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 azalmaktadır.



Şekil 3.39. Sapanca Kurtköy Arşimet burgu türbini

Şekil 3.39’da deneyler süresince verilerin toplandığı Sapanca Kurtköy Deresi üzerinde kurulan Arşimet burgu türbin sistemi gösterilmiştir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- Tasarım debisi olan $0,46 \text{ m}^3/\text{s}$ 'de $4,57 \text{ m}$ düşü elde edilmiş ve sistemden %72,13 verimle $14,9 \text{ kW}$ elektrik enerjisi üretilmiştir.
- Tasarım debisi olan $0,46 \text{ m}^3/\text{s}$ 'de $4,57 \text{ m}$ düşü elde edilmiş ve türbinden mekanik olarak %83,25 verim elde edilmiştir.
- $0,46 \text{ m}^3/\text{s}$ debi değerinde yapılan HAD analizi çalışmalarında sistem analiz çalışmaları içerisindeki en yüksek verim değeri olan %94,159'a ulaşmıştır. Diğer yandan yapılan deney çalışmalarında elde edilen %100,17'lik doluluk oranında sistem deney çalışmaları içerisinde en yüksek verim değeri olan %83,25'ya ulaşmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde tasarım debisi ve tasarım düşüsü için firma tarafından belirlenen tasarım parametrelerinin uygun olduğu saptanmıştır.
- Bu çalışmanın sonucunda düşük debili ve alçak düşülü Arşimet burgu türbini ile elektrik enerjisi üretebilecek beceri ve kabiliyetler geliştirilmiştir.
- Arşimet burgu türbini mekanik tasarımı (debi, düşü gibi doğal, değiştirilemez) parametrelere karşılık burgu çapı, burgu sayısı ve burgu adımlarının hesaplanabildiği ve sonucunda elde edilecek elektrik enerjisinin hesaplanabileceği bir hidroelektrik enerji üretim sistemi hesaplama formülasyonu doğrulanmıştır.
- BDT ortamında çizimi yapılan burgu türbin sistemi üzerinde yapılan HAD analizlerinden elde edilen veriler ile deney sonuçlarından elde edilen türbin değerleri birbiriyle örtüşmüştür.
- Sistem optimum su debisinin %20 üstünde ($0,56 \text{ m}^3/\text{s}$), toplam verimde %63,57 ve mekanik verimde %73,41 olarak $16,1 \text{ kW}$ elektrik enerjisi üretmiştir.
- Yapılan test sonuçları neticesinde dere seviyesinin minimum seviyesi olan $0,099 \text{ m}^3/\text{s}$ 'de su debisinde $1,8 \text{ kW}$ elektrik enerjisini sistem verim değeri %41,47 ve mekanik verim değeri %47,89 olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] <https://www.enerjibes.com/yenilenebilir-enerji-kaynaklari>, (Ziyaret tarihi: 22 Mayıs 2018).
- [2] Bobar, M., Zsembinszki, Ş., Muntean, S., Nedelcu, D., Hydrodynamic design and numerical analysis of a new Francis turbine with high specific speed, *Scientific Bulletin of the Politehnica University of Timisoara Transactions on Mechanics Special Issue*, 2008, **53**(67), 109-114.
- [3] Başeşme, H., *Hidroelektrik Santraller ve Hidroelektrik Santral Tesisleri, II. Baskı*, Hidrolik Santraller Diare Başkanlığı Yayınları, Ankara, 2003.
- [4] Özbay E., Gençoğlu M.T., Hidroelektrik Santrallerin Modellenmesi, 5. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Diyarbakır, 19-21 Haziran 2009.
- [5] Yavuzdemir M., Hidrolik Santrallerin Sınıflandırılması ve Hidrolik Türbin Çeşitleri, *Enerji Piyasası Bülteni*, 24: 59-63, 2012.
- [6] Lashofer, A., Hawle, W., Kampel, I., Kaltenberger, F., & Pelikan, B., State Of Technology And Design Guidelines For The Archimedes Screw Turbine, *The international Journal on Hydropower & Dams*, 2012.
- [7] Williamson, S., Starka, B., & Booker, J., Low head pico hydro turbine selection using a multi-criteria analysis, *Renewable Energy*, 2014, **61**, 43-50.
- [8] Huang, J., Swiderski, J., Ji, J., Tung, T., Riley, M., Francis turbine upgrade for the lushui generating station by using CFD – A case study, *Great Wall World Renewable Energy Forum (GWREF)*, Beijing, China, Ekim 2006.
- [9] Stergiopoulou, A., Stergiopoulos, V., Quo vadis Archimedean turbines nowadays in Greece, in the era of transition?, *Journal of Environmental Science and Engineering*, 2012, **A 1**, 870-879.
- [10] <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>, (Ziyaret tarihi: 20 Eylül 2018).
- [11] <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Hidrolik>, (Ziyaret tarihi: 20 Eylül 2018).
- [12] Ültanır, M. Ö., Türkiye'nin Hidroelektrik Potansiyeli Ne Kadar?, *Dünya-Enerji*, İstanbul, 50-53, 2001.

- [13] Demirhan, A. Y., Küçük Hidroelektrik Santrallerde Türbin Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006, 182759.
- [14] Rorres, C., The turn of the screw: Optimal design of the Archimedean screw, *J. Hydr. Engng.*, 2000, **126**(1), 72–80.
- [15] Brada, K., Wasserkraftschnecke ermöglicht Stromerzeugung über Kleinkraftwerke [Hydraulic screw generates electricity from micro hydropower stations], *Maschinenmarkt Würzburg*, 1999, 52–56.
- [16] William D., L., Murray L., and Scott S., Performance Model of Archimedes Screw Hydro Turbines with Variable Fill Level, *American Society of Civil Engineers*, 2014, DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000922.
- [17] Lubitz W., D., Gap Flow in Archimedes Screws, *Proceedings of The Canadian Society for Mechanical Engineering International Congress*, Toronto, ON: CSME International Congress, 2014.
- [18] McNabb C., D., Liston C., R., and Borthwick, S., M., Passage of juvenile chinook salmon and other fish species through Archimedes lifts and a hidrostal pump at Red Bluff, California, Trans, *Am. Fish. Soc.*, 2003, **132**(2), 326–334.
- [19] <http://www.mikrohes.com.tr/avantajlari/>, (Ziyaret tarihi: 27 Mayıs 2018).
- [20] Müller G., and Senior J., Simplified theory of Archimedean screws. *J. Hydraul. Res.*, 2009, **47**(5), 666–669.
- [21] Tineke S., Rudy S., Slamet W., and Mega N., S., Performance of Three-Bladed Archimedes Screw, *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2016, 15(11), 9491-9495.
- [22] <http://www.mikrohes.com.tr/uygulama-alani/>, (Ziyaret tarihi: 27 Mayıs 2018).
- [23] Gönenç, İ.E., Çetiner, A., Eroskay, O., Eruz, E., Baykal, B.B., Öztürk, İ., İncecik, S., Tanık, A., İnce, O., Kefli, E., Öktem, Y., Meriç, M., Doğanlı, E., Gürel, M., İçme Suyu Kaynağı Olarak Sapanca Gölünün Korunması Projesi, Çevre Bakanlığı Çevre Koruma Genel Müdürlüğü, 1994.
- [24] TÜBİTAK, Sapanca Gölü’nün Öncelikli Kirlilik Kaynaklarına Özgü Kontrol Teknolojilerinin Araştırılıp Geliştirilerek Göl Havzası İçin Uyarlanması Projesi Sonuç Raporu, 2010.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Üstün E.**, Akçamur E.S., Yeğin E.M., Arşimet Burgu Türbini İle Çalışan Hidroelektrik Santralinin Nümerik Analizleri İle Deneysel Verilerinin Karşılaştırılması, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2018, **1**(1), 38-46.



ÖZGEÇMİŞ

1993 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2011 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2015 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu ve aynı yıl Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı ve halen sürdürmektedir. 19.09.2016 tarihinden itibaren Mikrohes Araştırma Gel. İnov. Ener. İnş. San. Ve Tic. Ltd. Şti. firmasında çalışmaktadır.

