



**T.C.
AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ARŞİMET VİDALI TÜRBİNLERDE VERİM VE HİDROLİK GÜÇ
PERFORMANSININ TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BÜŞRA ÖZEL

OCAK

BÜSRA ÖZEL

**YENİLENEBİLİR ENERJİ VE
UYGULAMALARI ANABİLİM DALI**

OCAK 2023

**ARŞİMET VİDALI TÜRBİNLERDE VERİM VE HİDROLİK GÜÇ
PERFORMANSININ TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE OPTİMİZASYONU**

Büşra ÖZEL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YENİLENEBİLİR ENERJİ VE UYGULAMALARI ANABİLİM DALI**

Danışman

Doç. Dr. Levent UĞUR

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2023

Yüksek Lisans Tezi Kabul ve Onay Sayfası

Büşra ÖZEL tarafından hazırlanan “Arşimet Vidalı Türbinlerde Verim ve Hidrolik Güç Performansının Taguchi Yöntemi İle Optimizasyonu” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Levent UĞUR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan : Doç. Dr. Aytaç YILDIZ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye : Doç. Dr. Burak KURŞUN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 18/01/2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ümit YILDIRIM

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Büşra ÖZEL

18.01.2023

**ARŞİMET VİDALI TÜRBİNLERDE VERİM VE HİDROLİK GÜÇ
PERFORMANSININ TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE OPTİMİZASYONU**
(Yüksek Lisans Tezi)

Büşra ÖZEL

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2023

ÖZET

Gelişen teknoloji ile enerji ihtiyacının artmasından dolayı mikro hidroelektrik enerji üretiminin geliştirilmesine olan ilgi artmıştır. Küçük nehir ve akarsularda, düşük yüksekliklerde, akan suyun akış enerjisinden yüksek verim elde edilebilmesi ve düşük çevresel etkisi nedeniyle Arşimet vidalı türbinler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu türbin tipinde diğer türbin tiplerinde olduğu gibi çok yüksek düşü değerlerine ihtiyaç yoktur, uzaktan kontrol edilebilir şekilde tasarlanmıştır. Şehir merkezlerine rahatlıkla kurulabilir. Çevresel faktörler açısından Arşimet burgusunda bir mazgal ve çökeltme havuzları bulunmadığı için balık ölümlerinin önüne geçilmiştir. Bir yükleme veya boşaltma havuzunda bu sistemde bulunmamaktadır. Bakım kolaylığı yönünden ekonomik ömürlü olmaları tercih sebepleri arasındadır. Arşimet türbinlerinde verim ve hidrolik güç, kanat sayısı, debi, vida uzunluğu, eğim açısı ve sarmal dönüş sayısı gibi bazı parametrelere bağlıdır. Bu çalışmada, Amasya ili Yeşilirmak üzerinde kurulu olan Arşimet türbininin verim ve hidrolik güç performansı teorik olarak modellenmiş ve Taguchi yöntemi ile parametrelerin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Belirlenen 4 adet farklı parametreden (vida uzunluğu, sarmal dönüş sayısı, debi ve eğim açısı) 5 farklı değişken değer seçilerek L25 Taguchi deney tasarımı oluşturulmuştur. Kullanılan teorik model yardımıyla verim ve hidrolik güç değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra hangi parametrenin verim ve hidrolik güç üzerine etkili olduğunu araştırmak için elde edilen değerler MINITAB 20 Programında Taguchi analizine tabi tutulmuştur. Yapılan analizler sonucunda verime etki eden en etkili parametrenin sarmal dönüş sayısı, daha sonra sırasıyla eğim açısı, vida uzunluğu ve debi olduğu görülmüştür. Hidrolik güç için ise en etkili parametrenin debi olduğu daha sonra sırasıyla eğim açısı, vida uzunluğu ve sarmal dönüş sayısı olduğu kaydedilmiştir. Mevcut sistemde verim %70 iken parametrelerin optimizasyonundan sonra verimin %89'a kadar çıkabilabileceği görülmüştür. Çalışma sonunda, hidrolik güç ve verim tabloları oluşturularak Amasya modelindeki gerçek veriler ile teorik modeldeki veriler kıyaslanmış ve verim ile hidrolik güç sonuçları elde edilmiştir.

Sayfa Adedi	: 50
Anahtar Kelimeler	: Arşimet Burgu Türbini, Hidrolik Güç, Verim, Taguchi Yöntemi
Danışman	: Doç. Dr. Levent UĞUR

OPTIMIZATION OF EFFICIENCY AND HYDRAULIC POWER PERFORMANCE IN ARCHIMEDEAN (ARCHIMEDES) SCREW TURBINES BY TAGUCHI METHOD

(M. Sc. Thesis)

Büşra ÖZEL

AMASYA UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

Januray 2023

ABSTRACT

Due to the increasing need for energy with the developing technology, the interest in the development of micro-hydroelectric power generation has increased. Archimedes screw turbines are widely used in small rivers and streams, at low altitudes, due to the fact that high efficiency can be obtained from the flow energy of flowing water and low environmental impact. There is no need for very high drem values in this turbine type as in other turbine types, it is designed to be controlled remotely. It can be easily installed in city centers. In terms of environmental factors, fish deaths have been prevented because there is no loophole and sedimentation ponds in the Archimedes auger. A loading or unloading pool is also not included in this system. Their economic Deceleration in terms of ease of maintenance is among the reasons of preference. Efficiency and hydraulic power in Archimedes turbines depend on some parameters such as the number of blades, flow rate, screw length, tilt angle and number of helical turns. In this study, efficiency and hydraulic power performance of the Archimedes turbine installed on Yeşilırmak in Amasya province were theoretically modeled and optimization of parameters was carried out by Taguchi method. 5 different variable values were selected from 4 different parameters determined (screw length, number of helical turns, flow rate and tilt angle) and an experiment list was created with the L25 experiment design. The efficiency and hydraulic power values were calculated with the theoretical model used. The calculated values were analyzed by Taguchi analysis using the MINITAB 20 Program. The signal-to-noise (S/N) ratios were determined in Taguchi's design. The obtained variable values were subjected to analysis of variance (ANOVA) and it was investigated which parameter was more effective on efficiency and hydraulic power. In the ANOVA analysis, it was found that the most effective parameter affecting the efficiency was the number of helical turns, then the angle of inclination, screw length and flow rate, respectively. For hydraulic power, it was recorded that the most effective parameter was the flow rate, and then the inclination angle, screw length and number of helical turns, respectively. While the efficiency is 70% in the current system, it has been seen that the efficiency can be increased up to 89% by replacing these parameters with optimal parameter values. At the end of the study, hydraulic power and efficiency tables were created and the real data in the Amasya model and the data in the theoretical model were compared and the efficiency and hydraulic power results were obtained.

Number of pages : 50

Keywords : Archimedes Auger Turbine, Hydraulic Power, Efficiency, Taguchi
Method

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Levent UĞUR

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Çalışma sürecinde bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, araştırmanın her bir aşamasında görüşleriyle beni destekleyen, samimiyetini her zaman hissettiren ve beni doğru yönde yönlendiren danışman Hocam Doç. Dr. Levent UĞUR'a sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca çalışmamda desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen, sevgili eşim Talat ÖZEL'e teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖN SÖZ ve TEŞEKKÜR	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Arşimet Burgu Türbinleri	5
2.2. Arşimet Vida Geometrisi	7
2.2.1. Arşimet burgusunun hesap formülleri.....	8
2.3. Arşimet Burgunun Avantajları.....	9
2.4. Arşimet Burgunun Dezavantajları	10
2.5. Arşimet Burgu Türbinleri Uygulama Şartları ve Uygulama Alanları	10
3. LİTERATÜR	11
3.1. Arşimet Türbinin Gelişimi	11
3.2. Geliştirilmiş Arşimet Türbinleri	12
3.3. Teknoloji ve Tasarım Durumu Yönünden Arşimet Vidaları	13
3.4. Arşimet Burgu Türbinlerinin Parametre Değişkenliği.....	14
3.5. Taguchi Metodu	17
3.5.1. Ürünün üretimdeki kalite sistemi.....	17
3.5.2. Taguchi sinyal gürültü oranları	17

Sayfa

3.5.3. En uygun ortogonal dizinin belirlenmesi.....	18
3.5.4. Taguchi yöntemiyle yapılan çalışmalar	19
4. MATERYAL METOT	19
4.1. Arşimet Burgu Türbininde Amasya Modelinin İncelenmesi.....	20
4.2. Scada (Supervisory Control and Data Acquisition) Sistemi.....	24
4.3. Amasya Yeşilırmak Nehri Arşimet Burgu Türbin Tasarım Verileri	26
4.4. Generatör.....	27
4.5. Önerilen Model	29
5. BULGULAR.....	31
5.1. Amasya İli Akış Rejimi ve Türbin Çıktıları	31
5.2. Amasya İli Arşiment Türbini Verim.....	34
5.3. Amasya İli Arşimet Türbini Generatör Hesabı.....	36
5.4. Arşimet Güç ve Verim İfadeslerinin Doğrulanması	38
5.5. Önerilen Model Hidrolik Güç ve Verim Sonuçları.....	40
6. SONUÇLAR.....	45
7. KAYNAKLAR	47
8. ÖZGEÇMİŞ	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Parametre aralığı.....	2
Çizelge 1.2. Kurulum parametreleri.....	3
Çizelge 1.3. Parametre çıktıları.....	4
Çizelge 2.1. Arşimet vidalarının geometrisini ve çalışma değişkenlerini tanımlamak için gerekli parametreler	7
Çizelge 2.2. Düşü ve debi değerleri	10
Çizelge 3.1. İç çapa göre tork ve güç çıktıları tablosu.....	14
Çizelge 3.2. Sarmal aralığına göre tork ve güç çıktıları	15
Çizelge 3.3. L9 matrisi.....	19
Çizelge 4.1. Ana kotlar tablosu.....	22
Çizelge 4.2. Amasya Arşimet burğu parametreleri.....	26
Çizelge 4.3. Generatör parametreler	27
Çizelge 4.4. Parametre açıklamaları	29
Çizelge 4.5. Parametreler tablosu	30
Çizelge 4.6. Taguchi L ₂₅ deney listesi	30
Çizelge 5.1. S/N oranlarına göre parametreler tablosu	40
Çizelge 5.2. Verim için varyans analizi	41
Çizelge 5.3. Verim için S/N cevap tablosu	42
Çizelge 5.4. Verim için optimum parametre değerleri ve tahmini verim	43
Çizelge 5.5. Hidrolik güç için varyans analizi	43
Çizelge 5.6. Hidrolik güç için S/N cevap tablosu	44
Çizelge 5.7. Hidrolik güç için optimum parametre değerleri ve tahmini verim	45

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Laboratuvar ortamında Arşimet tesisi	3
Şekil 1.2. Sarmal arası mesafenin verime etki grafiği	4
Şekil 2.1. Arşimet burgu türbini (Aktracon, 2022).....	5
Şekil 2.2. Arşimet çift burgulu türbin	6
Şekil 2.3. Arşimet vidalarının geometrisini tanımlamak için gerekli parametreler	7
Şekil 3.1. Modern Arşimet burgusu.....	12
Şekil 3.2. Euripus Boğazı'ndaki yatay Arşimet rotorunun fotogerçekçi görünüşleri.....	12
Şekil 3.3. 22° eğim açısında vida verimliliği.....	13
Şekil 3.4. 22° eğim açısında vida verimliliği.....	14
Şekil 3.5. İç çapa göre akış simülasyonu	15
Şekil 3.6. Sarmal mesafesine göre akış simülasyon	15
Şekil 3.7. Tork ve kuvvet ilişkisi	16
Şekil 3.8. Türbin şaftı eğiminin türbin verimliliğine etkisi (Saroinsong et al., 2016).	16
Şekil 4.1. Türbin seçimi için kullanılabilecek diyagramlardan biri.....	20
Şekil 4.2. Arşimet burgu türbin ve lastik set inşaatı	21
Şekil 4.3. Söndürülmüş lastik set (Amasya)	21
Şekil 4.4. Lastik set Solidworks kanal çizimi (Amasya)	22
Şekil 4.5. Lastik set kontrol ünitesi (Amasya).....	23
Şekil 4.6. Amasya hava ile şişen lastik set.....	23
Şekil 4.7. Arşimet burgu türbini dişli kutusu ve generatör Scada (Amasya).....	24
Şekil 4.8. Arşimet burgu türbini oda ve kabin Scada (Amasya).....	25

Şekil	Sayfa
Şekil 4.9. Arşimet burgu türbini tüm sıcaklıklar Scada (Amasya)	25
Şekil 4.10. Amasya Arşimet burgusu teknik çizim.....	28
Şekil 4.11. Arşimet türbininde parametreler.....	28
Şekil 5.1. Debi ay ilişkisi grafiği	32
Şekil 5.2. Güç ay ilişkisi grafiği.....	32
Şekil 5.3. Lastik setin üzerindeki su yüklerine karşılık debi eğrisi	33
Şekil 5.4. Kayıp kaçak grafiği.....	36
Şekil 5.5. Matematiksel modelin doğrulanması.....	39
Şekil 5.6. Verim için en büyük en iyi S/N oranına göre faktör seviyelerinin grafiği	42
Şekil 5.7. Hidrolik için en büyük en iyi S/N oranına göre faktör seviyelerinin grafiği.....	44

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, yanda açıklamaları verilmek üzere aşağıda listelenmiştir.

Simgeler	Açıklama
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)
$P_{potansiyel}$	Üretilbilecek maksimum güç değeri,
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, (o)
η_{top}	Arşimet burgu türbin sistemi toplam verim
K_w	Kilowatt

Simgeler	Açıklama
Kw/km²	Kilometrekareye düşen kilowatt
Kw/h	Kilowattsaat
m	Metre
m²	Metrekare
m³	Metreküp
cm	Santimetre
cm²	Santimetrekare
cm³	Santimetreküp
mm	Milimetre
ω	Açısal hız, (rad/s)
Hz	Frekans

Kısaltmalar	Açıklama
SCADA	Danışmalı kontrol ve veri toplama sistemi
HES	Hidroelektrik enerji santrali
DSİ	Devlet su işleri genel müdürlüğü

1. GİRİŞ

İnsanların enerji ihtiyacından kaynaklanan yaşam standartlarını karşılamak ve ekonomimize katma değer sağlamak için enerji üretimi önemli rol oynamaktadır. Çevre, insan sağlığı ve geleceğimiz için, sera gazı salınımı yapan enerji sistemleri yerine ucuz, temiz, güvenilir ve kolay elde edilebilen yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır. Aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin çevreye etkisinin iklim değişikliğinin etkilerini hafiflettiği bilinmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları doğal unsurlardan topladıkları temiz enerjiyi kullanımımıza sunmaktadır. Dünyanın hemen hemen tüm bölgeleri yenilenebilir kaynaklara sahiptir. Su, rüzgâr, güneş biokütlesi ve jeotermal teknolojileri günümüzde geniş bir pazara sahip olup, kurulum açısından uygun maliyetlidirler. Yenilenebilir enerjinin daha geniş alanlarda kullanılmaları için önemli adımlar atılmaktadır (Bull, 2001).

Arşimet vidası, en eski hidrolik makinalardan biri olarak kabul edilir. Arşimet (MÖ 287-212) tarafından icat edildiğine inanılmaktadır (Koetsier, 2004). Bununla birlikte, vida teknolojisinin icadının ve kullanımının, Asur İmparatorluğu'nda MÖ 7. yüzyılda Kral Sennacherib'in (MÖ 704-681) hükümdarlığı döneminde Arşimet'den önce kullanıldığını gösteren kanıtlar vardır. Arşimet vidası merkezi bir silindirin etrafına sarılmış sarmal şeklinde bir dizi bıçaktan oluşur. Vidanın dış kısmında vidayı çevreleyen bir oluk sistemi bulunur. Oluk vidanın serbestçe dönmesine müsaade etmektedir (Dalley, 2003). Nehir suyu Arşimet vidasının üst ucundan alt ucuna doğru transfer edilir ve bu transfer Arşimet vidasının ilk dönüşünü başlatır. Su akışı vidayı döndürür ve böylece enerji üretilir. Bir dişli kutusu, vida hızını jeneratör hızına kadar artırır ve jeneratör mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Arşimet vidasının uzaktan kumanda ile kontrolü sağlanabilir. Gerekirse, otomatik bir stop-log ile giriş kapatılabilir ve çalışması Scada uygulaması kullanılarak çevrimiçi olarak izlenebilir. Kaba elek büyük katıların geçişini engeller ancak balıkların zarar görmeden geçmesine izin verir ve vidanın çıkışında gelen balıklara zarar verebilecek hiçbir şey olmamasını sağlar. Bir balık geçidi, her iki taraftaki vida tertibatı boyunca mevcut olan balıkların akıntıya karşı yüzmesini sağlar. Arşimet vidasında 800kW'a kadar güç elde etmek mümkündür (Raza, Mian ve Saleem, 2013).

Hidroelektrik diğer yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde teknolojik açıdan tasarım ve üretim alanının geniş olduğu, sudaki potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüştürülerek

elektrik üretimine olanak sağladığı yenilenebilir enerji türüdür. Hidroelektrik santralde üretilen enerji miktarı suyun akış miktarına ve akış düşüşüne bağlı olarak değişmektedir. Hidroelektrik santralin kurulumunda öncelikle enerji üretimi yapabilmesi için araziye uygun ve verimli enerjiyi üretebilecek türbin tipi seçilmelidir. Arşimet Vidası da bu türbin tiplerinden biridir. Arşimet hidroelektrik santralleri verimli olmalarına rağmen diğer tip hidroelektrik santrallerine göre güç üretimleri düşüktür. Bunun sebebi küçük düşü seviyelerinden elektrik üretebiliyor olmalarıdır. Bu bir avantaj yaratsa da enerji üretiminde kayıplara sebebiyet vermektedir. Bu kayıpları gidermek için Arşimet burgusunun tasarım verilerinde değişiklikler yapılarak enerji üretimlerini arttırmak amaçlanmıştır. Aynı zamanda tasarım olarak çok hassas olarak tasarlanan Arşimet burguları doğru parametre verileri üzerine kurulmadıkları zaman enerji kayıpları ile karşı karşıya kalılabilmektedir. Amasya modelinde 220 kw/s lik enerji üretme kapasitesi olan burguların 150 kw/s maksimum enerji üretebildikleri gözlemlenmiş olup hidrolik güç ve verimi etkileyen parametreler aranmak istenmiş ve böylece üretim kapasitesi arttırılmak istenmiştir. Üretim kapasitesini arttırmaya yönelik farklı çalışmalarda mevcuttur.

Dünya genelinde 76 adet Arşimet hidroelektrik santralinden akış hızı, eğim açısı, burğu boy uzunluğu gibi veriler toplanarak bu parametrelerle alakalı Çizelge 1.1’de veri aralığı oluşturulmuş ve bu parametrelerin güç değerini nasıl etkilediği araştırılmak istenmiştir (Kamal, 2020).

Çizelge 1.1. Parametre aralığı

Parametre	Değer Aralığı
Tahliye	0,00099 -0,00385 m ³ /s
Akış hızı	1-4 L/s
Kafa	1-6 m
Eğim açısı	20-50°
Uzunluk	1-5 m

Laboratuvar ortamında Arşimet tipli hidroelektrik santralinin minyatürü kurularak bu kurulan hidroelektrik santralinin parametreleri Çizelge 1.2’de belirlenmiş ve ölçüm cihazlarıyla veriler alınmıştır (Kamal, 2020).

Çizelge 1.2. Kurulum parametreleri

Parametre	Sembol	Aralık
vida uzunluğu	L_{screw}	1,626m
iç çap	Dia_{rope}	0,0064m
fren çapı	$B_{r_{dia}}$	0,1m
su yoğunluğu	ρ_{wa}	997kg/m ³
sarmal arası mesafe	P_{itch}	0,1m-0,2m-0,3m
türbin iç çap	Dia_{inner}	0,0762m
türbin dış çap	Dia_{out}	0,198m
akış hızı	F_{rate}	(1-1,5-2-2,5-3-3,5-4) litres
vida eğimi	S_{Cangle}	(20-25-30-35-40-45-50) degrees
kafa	H_{ead}	0,56-0,69-0,81-0,93-1,05-1,15-1,25m
yük	L_{oad}	(0,5-0,7-0,9) Kg

Şekil 1.1’de laboratuvar ortamında kurulan bir Arşimet hidroelektrik tesisi görülmektedir. Bu tesiste 2 adet vida aralıkları farklı Arşimet burgusu imal edilerek vida aralıklarının güce etkisi araştırılmak istenmiştir (Kamal, 2020).

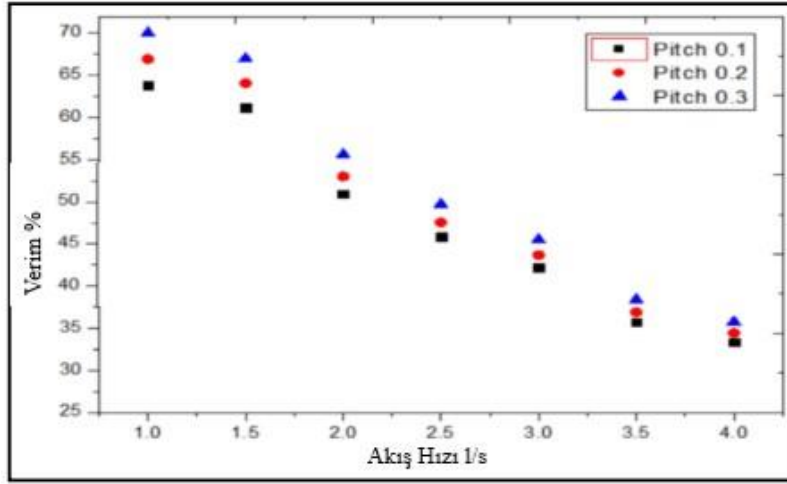


Şekil 1.1. Laboratuvar ortamında Arşimet tesisi

Çizelge 1.3. Parametre çıktıları

No	Parametreler	Level 1	Level 2	Level 3
1	vida uzunluğu	1,626	1,626	1,626
2	türbin iç çap	0,08	0,08	0,08
3	türbin dış çap	0,2	0,2	0,2
4	sarmal arası mesafe	0,1	0,2	0,3
5	Sarmal arası mesafe/dış çap	0,5	1	1,5

Şekil 1.2’de görüldüğü gibi sarmal arası mesafeler 0,1, 0,2 ve 0,3 değerlerinde arttırıldığında verimin arttığı görülmektedir.



Şekil 1.2. Sarmal arası mesafenin verime etki grafiği

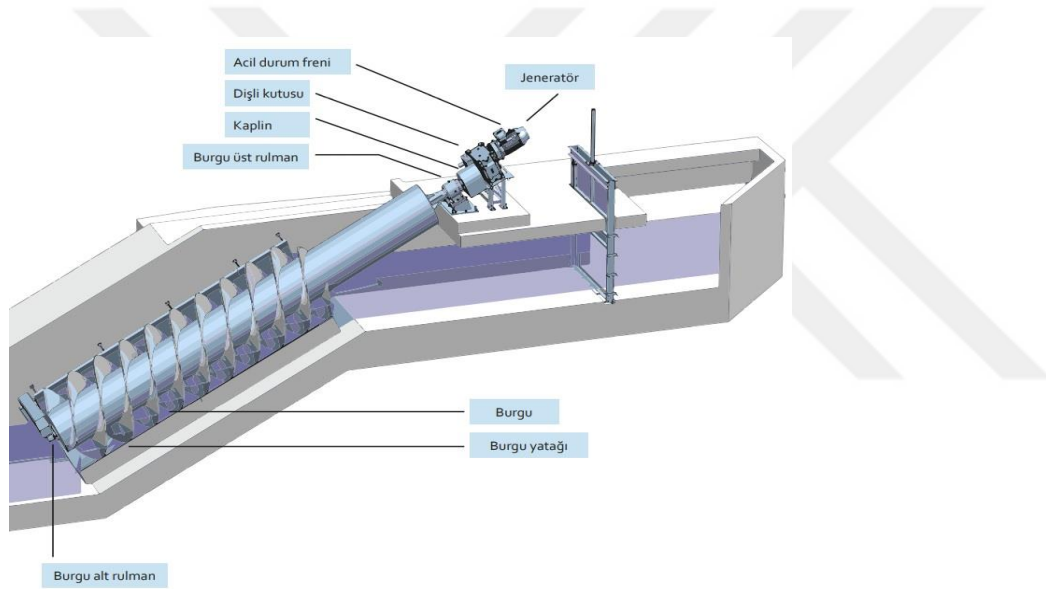
2. GENEL BİLGİLER

Hazırlanan tez çalışmasında Amasya İli Yeşilırmak Nehri üzerine kurulan Amasya Belediyesi tarafından işletmesi yapılmakta olan Arşimet tipli hidroelektrik santrali incelenmiştir. Mevcut sistemin bazı güç ve debi grafikleri oluşturularak, bu grafikler incelenmiş olup bu veriler öncülüğünde mevcut sistemin parametreleri değiştirilerek Minitab programında Taguchi Metodu ile L25 ortogonal dizilim ile sıralanmış ve bu parametrelerin verim ile hidrolik güç değerlerini nasıl etkilediği araştırılmak amaçlanmıştır.

2.1. Arşimet Burgu Türbinleri

Arşimet Vidası suyu daha düşük bir seviyeden daha yükseğe pompalamak için kullanılan eski bir makinedir. Geleneksel olarak MÖ 287 ile MÖ 212 yılları arasında yaşayan Arşimet'e atfedilir. Arşimet vidası ilk tasarımında insan ve hayvan gücüyle çalıştırılmış ve Nil Vadisinin sulanmasında kullanılmıştır. Enerji üretimi için Arşimet vidası kullanma fikri 1990'ların başında ortaya çıkmıştır (Bulgaria, Serbia, 2011).

Şekil 2.1'de gösterildiği gibi Arşimet Vidası, suyu düşürerek enerji üretmek için hidroelektrik makinesi olarak kullanılmaktadır.

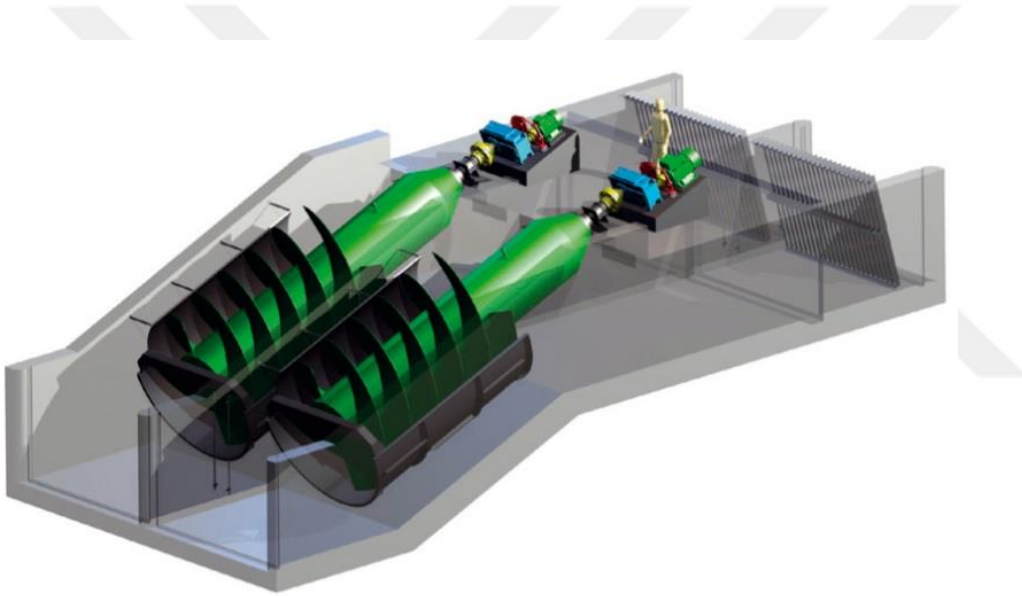


Şekil 2.1. Arşimet burgu türbini (Aktracon, 2022)

Arşimet burgu türbinlerinde çelik borudan yapılmış taşıyıcı bir shaft üzerine helezon şeklinde kanatlar yerleştirilerek oluşturulan türbinin (burgunun) iki ucundan yataklanması, uygun açı ile burgunun üst tarafından giren suyun yer çekimi ile burgunun kanatları arasından aşağıya doğru inerek burgunun dönmesi sağlanır. Burgunun üst ucuna bağlanan dişli kutusu ile dönüş devri yükseltilerek dişli kutusunun diğer ucuna bağlanan alternatör yardımıyla elektrik üretilir. Burgunun alt tarafında çelikten su yatağı bulunur. Burgudan çıkan su, mevcut dere yatağına bağlanır. Döner sistemin tamamı (özel yerler hariç) metalden yapılır. Arşimet burgusu diğer elektrik santrallerinden farklı çalışır. Hidrodinamik burgu, su gücü kullanılarak elektrik enerjisi üretmeyi sağlayan türbin tipidir. Klasik türbinler gibi suyun

moment yolu ile değil suyun ağırlık etkisi ile elektrik enerjisi üretir. Hidrodinamik burlu 1 metre ile 10 metre kot farklarında, saniyede 0,1 ile 10 m³ su kapasitelerinde verimli olarak çalışabilmektedirler. Arşimet burlularının çapları 4 metreye kadar çıkabilmektedir.

Genellikle üst rulmanda eksenel ve radyal oynak makaralı rulmanlar tercih edilir ve rulmanlar ayarlanabilir bir gres kartuşu ile yağlanır. Eksenel ve radyal rulmanların daha uzun ömürlü olması için temas yüzeyleri özel olarak sertleştirilir. Alt rulman bir yağ pompası yardımı ile otomatik olarak yağlanır. Aynı üst rulmanda olduğu gibi temas yüzeyleri özel olarak sertleştirilmiştir. Şekil 2.2 de mekanik aksamlarıyla çift burlulu bir Arşimet vidalı türbini modeli gösterilmiştir.



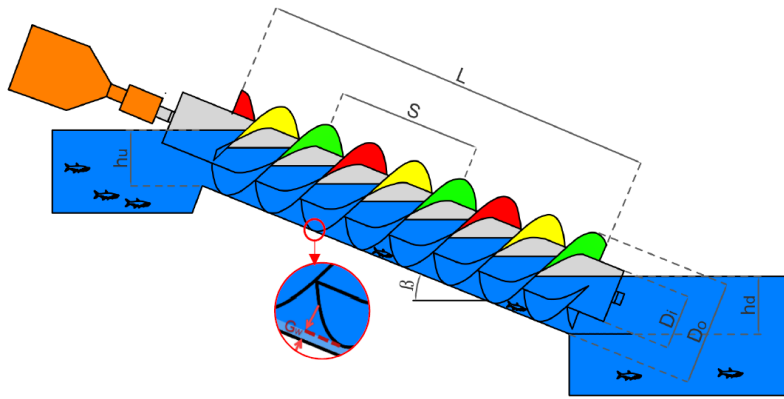
Şekil 2.2. Arşimet çift burlulu türbin

Arşimet vidası ile ilgili şimdiye kadar yayınlanan tüm teknik veriler teorisini tam olarak açıklayamaz. Bu nedenle Arşimet türbini ile donatılmış bir sistem tamamen tasarım mühendisinin becerilerine bağlıdır. Bu eski makine hakkında yayınlanmış veriler, sadece onun deneye dayalı tasarımı, hacim, giriş suyu hızı ve yüksekliği açısından geometri optimizasyonu ile ilgilidir. Hidrolik vidanın verimliliğinin, Arşimet vidalı pompa üzerine birçok kitabı olan Negal'e göre sadece mekanik kaçak kayıplarına bağlı olduğu ve bu tür vidanın verimliliğinin s/b ,%79 ila %84 arasında olduğu ve bu da akış suyunun değişimi ile değiştiği ve vidanın yarıçapı, düşük kafa hidroelektrik santrali için diğer düşük kafa türbinlerinde iyi bir alternatif oluşturmasını sağlar. Arşimet vidasının verimini etkileyen

faktörler üzerinde geçmişten günümüze çalışmalar devam etmektedir (Brada, 1999; Brada ve Radlik, 1996; Lashofer, Hawle ve Pelikan, 2012; Rohmer, Knittel, Sturtzer, Flieller ve Renaud, 2016; Shahverdi, Loni, Maestre ve Najafi, 2021).

2.2. Arşimet Vida Geometrisi

Bir Arşimet vidası, merkezi bir silindirin etrafına sarılan ve vidanın serbestçe dönmesine izin veren küçük boşluklu sabit bir oluk içinde desteklenen sarmal bir bıçak dizisinden yapılır (Simmons ve Lubitz, 2017; Yoosef Doost ve Lubitz, 2020). Arşimet vidalarını tanımlamak için gereken en önemli boyutlar ve parametreler Şekil 2.3'te gösterilmiş ve Çizelge 2.1'de açıklanmıştır.



Şekil 2.3. Arşimet vidalarının geometrisini tanımlamak için gerekli parametreler (YoosefDoost ve Lubitz, 2020, 2021)

Çizelge 2.1. Arşimet vidalarının geometrisini ve çalışma değişkenlerini tanımlamak için gerekli parametreler

Parametreler	Parametre Birimleri	Açıklamalar
L	(m)	Vidanın toplam uzunluğu
D _o	(m)	Dış Çap
D _i	(m)	İç Çap
S	(m)	Vida adımı veya periyodu (Bir tam sarmal düzlem dönüşü için vida eksenine boyunca olan mesafe)

Çizelge 2.1. (devamı) Arşimet vidalarının geometrisini ve çalışma değişkenlerini tanımlamak için gerekli parametreler

N	-1	Sarmal düzlemlı yüzeylerin sayısı (kanatlar, uçuşlar veya başlangıçlar olarak da adlandırılır)
β	(rad)	Vidanın Eğim Açısı
Gw	(m)	Oluk ve vida arasındaki boşluk.
Değişkenler	Değişken birimleri	Açıklamalar
ω	(rad/s)	Vidanın dönüş hızı
hu	(m)	Üst (giriş) su seviyesi
hL	(m)	Alt (çıkış) su seviyesi
Q	(m ³ /s)	Vidadan geçen hacimsel akış hızı

2.2.1.Arşimet burgusunun hesap formülleri

$$\Delta d = \frac{L}{m} \tan \alpha \quad (2.1)$$

Hidrostatik kuvvet;

$$F_{hyd} = \frac{(d_0 + \Delta d)^2 - d_0^2}{2} \cdot \rho \cdot g \quad (2.2)$$

Çıkış hızı;

$$v_1 = \frac{d_0}{d_0 + \Delta d} \cdot v_0 \quad (2.3)$$

Bıçak gücü;

$$P_{blade} = F_{hyd} \cdot v_1 \quad (2.4)$$

Toplam güç;

$$P = m \cdot P_{blade} \quad (2.5)$$

Hidrolik güç;

$$P_{hyd} = \rho \cdot g \cdot d_0 \cdot v_0 \cdot m \cdot \Delta d \quad (2.6)$$

Teorik verim;

$$\eta_{th} = \frac{P}{P_{hyd}} = \frac{2n + 1}{2n + 2} \quad (2.7)$$

Formüllerde vidanın toplam boy uzunluğu (L), su giriş derinliği (d_0), su giriş hızı (v_0), sarmal sayısı (m), $\rho = 8.8990 \times 10^{-4}$ kg/m.s ve $g = 997$ kg/m³ olarak belirlenmiştir.

2.3. Arşimet Burgunun Avantajları

Arşimet burgu türbinlerinin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Mükemmel verim aralığı ve düşük bir nominal azami akış oranı ile başlar.
- Basit, dayanıklı ve estetik tasarım yapısına sahiptir, inşası için kapsamlı mühendislik çalışması gerektirmemektedir.
- Hidrodinamik burgu, değişken su seviyeleri ve alçak düşüleri ile başa çıkabileceğinden sürekli ve devamlı elektrik üretebilmektedir. Su debisinin tasarlanan miktarın %10'una kadar azalması ve ayrıca kışın donmama özelliği ile sistem tüm yıl kesintisiz elektrik üretimi garanti eder.
- 30 yıldan fazla süreli işletimi yapılabilmeyle beraber basit tasarımı sayesinde minimum bakım ile sağlamlık ve verimlilikle enerji üretimine devam eder.
- Açık alanı, kolay erişim ve bakım için kolaylık sağlar.
- Çoğunlukla bakım maliyeti gerektirmez. Sistem bilgisayar, tablet veya akıllı telefonlar yardımı ile çalıştırılıp izlenebilmektedir.
- Yüzen büyük nesneler veya enkaz parçaları kolayca geçebilir.
- Alçak düşüklü (kot farkı olan) yerlerde kullanılabilir.

- İnce ızgaralara sahip olmasından kaynaklı kendi kendini temizleme sistemi mevcuttur.
- Saniyede 100-10 000 litre su debisi ile 1-10 metrelik su kot farklarında verimli olarak uygulanabilir.
- Vida çapı ve alanının büyük olaması sebebi ile balık geçidi gerektirmez. Alandan tasarrufu sağlayan ve uygun maliyetli FAS(balık geçidi burgu sistemi Rehart/ Strasser) geleneksel balık merdivenine etkili bir alternatif olmakla beraber çevre ve balık dostudur. Yavaşça dönen FAS'ın yarattığı çekim akımından ötürü balıklar ve diğer tür su canlıları FAS'ı güvenli bir şekilde bulabilmektedir. Tüp ve burgunun büyüklüğü mevcut balık türlerine uygun özel olarak tasarlanmaktadır. Zayıf yüzenler veya böcek larvaları gibi diğer nehir canlı türleri dahi kolaylıkla yukarı çıkabilirler (Aktracon, 2022).

2.4. Arşimet Burgunun Dezavantajları

Arşimet burgu türbinlerinin yüksek akış hızı gereksinimleri, alt rulmanın bakım zorluğu, düşük devir sayısı, şanzıman gerektirmesi dezavantajları arasındadır.

2.5. Arşimet Burgu Türbinleri Uygulama Şartları ve Uygulama Alanları

Arşimet burgu türbininin uygulanabilmesi için gerekli bilgiler Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Düşü ve debi değerleri

Su hacmi	0,3 m ³ /sn. ila 10 m ³ /sn
Düşü	1m ila 10m

Uygulama alanının yukarıda belirtilmiş olan verilere sahip olması yeterlidir.“Burgu Türbinleri” nin uygulama alanlarını şöyle özetleyebiliriz;

- Yenilenme isteyen küçük ölçekli hidroelektrik santrallerinde,
- Kullanılmayan su değirmenlerinin yerine,
- Gölet ve hidroelektrik tesislerde kuyruk suyu ve can suyu çıkışlarında,
- Arıtma santrallerinin çıkışlarında,

- Hazırda kurulu olan tüm bentlerde,
- Sulama amaçlı kullanılan su kanallarında,
- Kullanımda olmayan küçük barajlarda,
- Debinin elverişli olduğu ve yeterli düşü yakalanmış tüm alanlarda uygulanabilir (Aktracon, 2022; Saroinsong, Soenoko, Wahyudi ve Sasongko, 2016).

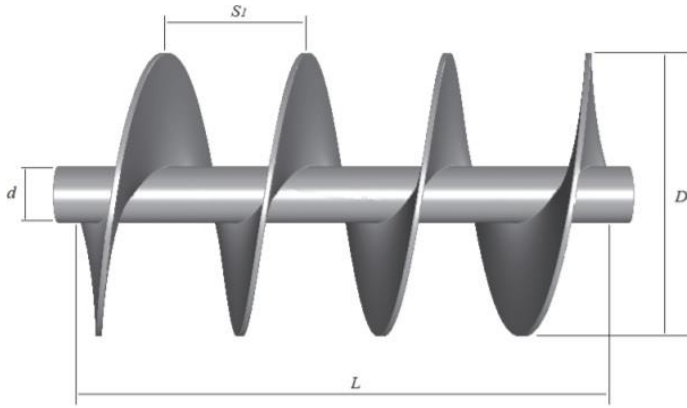
3. LİTERATÜR

Arşimet burgusunun geometrik yapısının oluşturulduğu yıllardan beri Arşimet burgusu su temin edebilmek ve bir kaynak olarak kullanabilmek için kullanılmıştır. Ancak günümüzde elektrik üreten bir makine olarak karşımızda durmaktadır.

3.1. Arşimet Türbinin Gelişimi

Arşimet burgusunun bir hidroelektrik santrale dönüştürülme hikâyesi 1922’de Amerika’da W.Mercer tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu gelişim Arşimet burgusunun ilk defa hidrodinamik burguya dönüştüren bir gelişimdir. 1990 yılında Karel August Radlik uygulamayı daha da ayrıntılandırdı. Karel Brada 1996 yılında ilk defa Arşimet burgusunu hidroelektrik santrale dönüştürerek Almanya da uyguladı. Bu uygulamadan sonra Arşimet hidroelektrik santrali dünyada yayılmış Türkiye’de farklı uygulamalar yapılmış fakat çok iyi sonuçlar alınamamış olup 2016 yılında Almanya merkezli Rehart hydropower’ın Amasya’da uyguladığı Amasya Arşimet hidroelektrik santrali Türkiye’de uzun süreli çalışabilir durumdaki Arşimet hidroelektrik santrallerinden biridir.

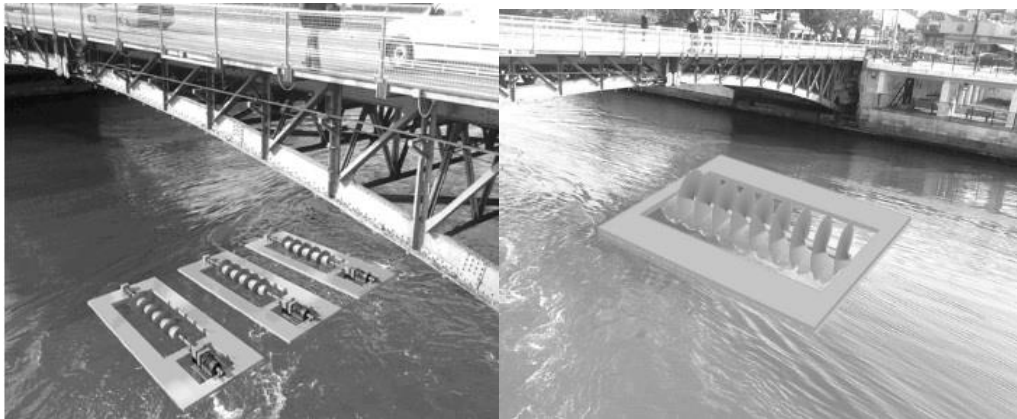
Şekil 3.1’de Modern bir Arşimet burgusu d iç çap, D dış çap, L uzunluk, S_1 sarmal sayısı olarak gösterilmiştir (Kantert, 2011).



Şekil 3.1. Modern Arşimet burgusu

3.2. Geliştirilmiş Arşimet Türbinleri

Arşimet hidroelektrik santralının geliştirilebilmesi için yapılan çalışmalarda Arşimet burgularının yatay düzlemde ve yatay rotorlu bir mekanizmayla çalıştırılabildiği sanal olarak denenmiş ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu burgular doğal akışların, kıyı akımlarının, gelgit akımlarının, sulama kanallarının veya besleme kanallarının olduğu yerlerde, nehir gibi düz akımların olduğu yerlerde nehirlerin kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmeyi hedeflemiştir. İyonyanın Argostoli kasabası yakınlarında Euripus boğazındaki akımlar yaklaşık bir yıllık hız ölçümüne tabi tutularak bir veri alınmış ve ortalama akış hızının 2,0 m/s olduğu gözlenmiştir. Sanal olarak yatay Arşimet burguları yerleştirilerek olumlu veriler elde edilmiş ve yatay Arşimet burgularından 30 kw/s gibi güç verileri elde edilmiştir. Şekil 3.2’de yatay Arşimet burgularının sanal ortamda oluşturulmuş görseli görülmektedir.



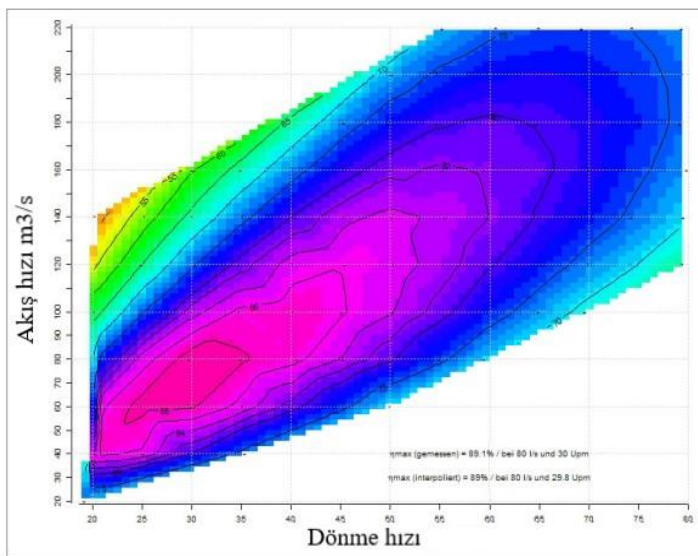
Şekil 3.2. Euripus Boğazı'ndaki yatay Arşimet rotorunun fotogerçekçi görünümü

Laboratuvar çalışmaları ve deneysel çalışmalar yatay Arşimet burgu türbinlerinin umut verici olduğunu göstermektedir. Eğim veya düşü gerektirmeksizin yenilikçi bir Arşimet burgu türbininin kullanılabileceği öngörülmektedir (Alkistis Stergiopoulou ve Kalkani, 2013; A Stergiopoulou ve Stergiopoulos, 2010).

3.3. Teknoloji ve Tasarım Durumu Yönünden Arşimet Vidaları

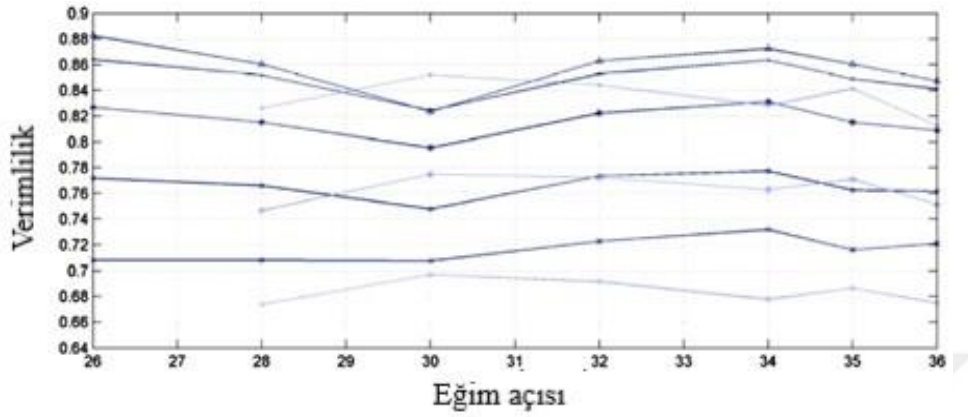
Arşimet burgularının akış özelliklerinin, tasarım parametrelerinin ve çalışma standartlarının geliştirebilmesi için ve Arşimet burgularıyla alakalı çalışmaları teşvik etmek amaçlı 2012 yılında “wks-opt” adında deneysel bir çalışma başlatılmıştır.

Arşimet burgularının eğim, çap, bıçak sayısı ve vida açısı gibi parametreleri dünya genelinde hangi standartlarda yapıldığı ve bu standartlar üzerindeki güç eldesi araştırılmak istenmiştir. Üretici görüşleri, bireysel olumlu veya olumsuz görüşler ve dünyanın farklı ülkelerindeki üreticilerden toplanan veriler ışığında testlere başlanmıştır. Bu testlerin yanı sıra Almanya’da 14 tesiste 7 adet türbinde 36 adet verimlilik ölçümü yapılarak veriler değerlendirilmiştir. Türbinlerin boy uzunlukları 490 mm ile 2000 mm, akış hızları 10 m/s ile 50m/s vida açıları 22° ile 36° , devir sayısı 10 ile 125 devir, vida çapı 806 mm ile 3000 mm arasında ortalama ölçüler bu tesislerden alınarak verimi en çok etkileyen parametre aranmıştır. Şekil 3.3’de 22° eğim açısındaki vida verimliliği grafiği gösterilmiştir (Bard, 2007; Kleemann ve Hellmann, 2003).



Şekil 3.3. 22° Eğim açısında vida verimliliği

Bu parametreler arasında en önemli parametrenin eğim açısı olduğu görülmüş ve en verimli açının 22° açı ile %84 verim elde edildiği görülmüştür. Şekil 3.4’de eğim açıları için verim grafiği verilmiştir (Bard, 2007; Kleemann ve Hellmann, 2003).



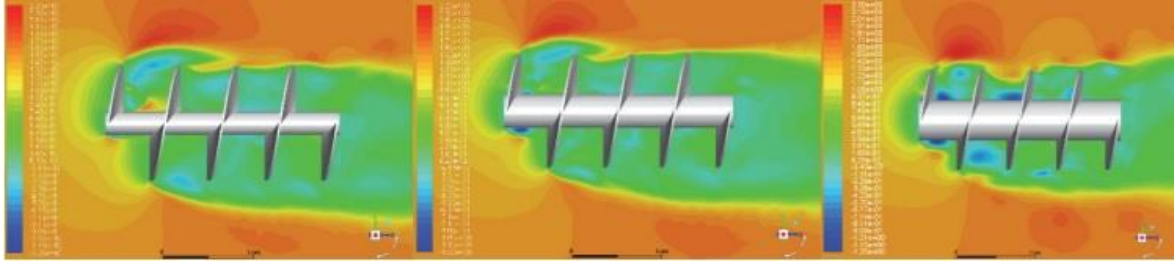
Şekil 3.4. 22° Eğim açısında vida verimliliği

3.4. Arşimet Burgu Türbinlerinin Parametre Değişkenliği

Arşimet vidalarının pervaneleri için farklı parametre aralıklarında bir takım deney gerçekleştirilmek istenmiştir. Nehir suyunun akışından pervanelerin düşük enerji tüketmesini sağlayarak ve üretilen güce etkisi araştırılmak istenmiştir. Giriş suyu hızı 1,5 m/s sabit tutularak yan duvarlardaki sürtünme sıfır kabul edilmiştir. Dış çap $D = 1$ m, iç çap $d = 0,2$ m, burgu uzunluğu $L = 2$ m ve sarmal arası genişlik $S_1 = 0,5$ m seçilmiştir. Deneyin başlangıcında iç çap (d) = 0,2 m, 0,3 m, 0,4 m parametreleri için akış simülasyonu kullanılarak ve dönüş hızı 20 rpm’de sabit tutularak Çizelge 3.1 ve Şekil 3.5’de güç ve tork çıktıları elde edilmiştir (Platonov et al, 2019).

Çizelge 3.1. İç çapa göre tork ve güç çıktıları tablosu

d	Tork, N*m	Güç, w
0,2	80,7	169,9
0,3	72,2	151,6
0,4	58,3	122,1



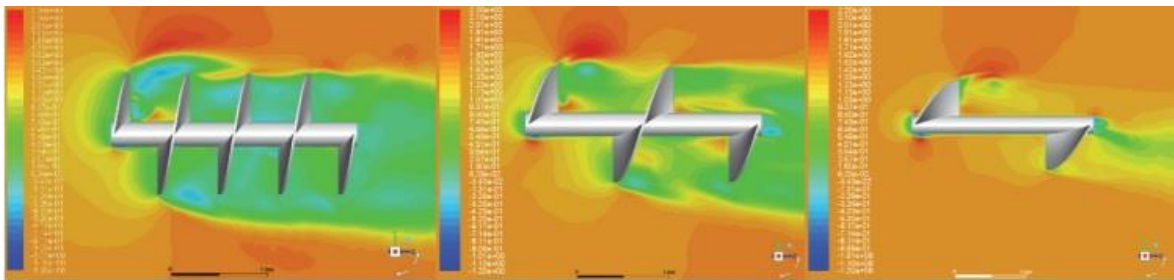
Şekil 3.5. İç çapa göre akış simülasyonu

Deneyin devamında en yüksek güç eldesi elde edilen $d = 0,2$ m iç çap ve dönüş hızı 20 rpm sabit tutulmuş $S_1 = 0,5$ m, $S_2 = 1$ m, $S_3 = 2$ m parametreleri için tork ve güç çıktıları akış simülasyonu kullanılarak elde edilmiş Çizelge 3.2’de görüldüğü gibi 358,5 w gibi yüksek bir güç çıktısı verisi alınmıştır (Platonov et al., 2019).

Çizelge 3.2. Sarmal aralığına göre tork ve güç çıktıları

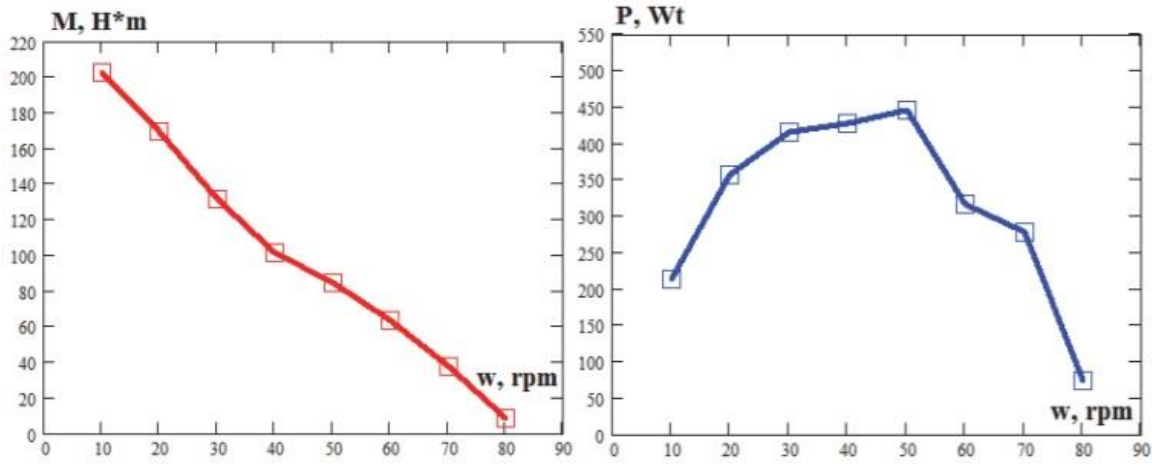
S	Tork, N*m	Güç, w
S1=0,5 m	80,7	169,9
S2=1 m	170,3	358,5
S3=2 m	167,1	351,8

Vida uzunluğunu değiştirmeyerek $S = 1$ m’de 20 rpm dönüş hızında tork 170,3 N/m, güç 358,5 W gibi yüksek bir değer çıktısı alınmıştır. Şekil 3.6’da görüldüğü üzere sarmal arası genişlikler arttığı zaman güçte düşüş yaşanmıştır (Platonov ve diğerleri, 2019).



Şekil 3.6. Sarmal mesafesine göre akış simülasyon

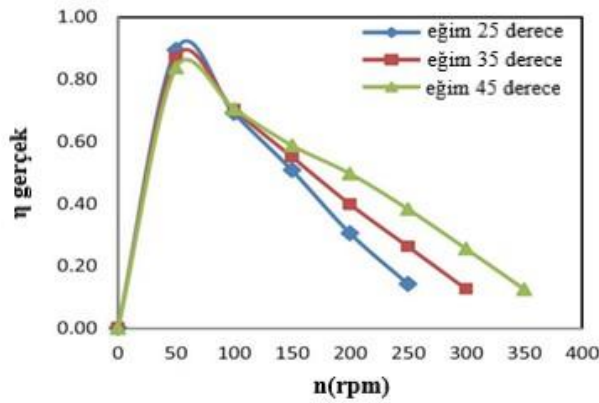
Aynı zamanda 10 rpm’lik çalışma hızında tork 202,8 N/m, 80 rpm’lik çalışma hızında tork 8,76 N/m ölçülmüş güç ise 10 rpm’de 213,5 W, 50 rpm’de 448,8 W olarak büyür Şekil 3.7’de görüldüğü gibi 50 rpm üstündeki hızlarda hızlıca düşer (Platonov ve diğerleri, 2019).



Şekil 3.7. Tork ve kuvvet ilişkisi

Bu deneyde bazı parametrelerin bazı eşik noktaları aşmadan güç ve tork değerlerine önemli derecede arttıracak etki yaptığı görülmüştür. Yalnız bazı kritik eşikler aşıldıktan sonra negatif yönde bir yükseliş ölçülmüş olup sınır değerler belirlenmiştir (Platonov ve diğerleri, 2019).

Türbin parametreleri arşimet burgu sistem verimini önemli derecede etkilemektedir. Tineke Saroinsong ve arkadaşlarının 2016 yılında yapmış oldukları “Üç Kanatlı Arşimet Burgu Türbin Performansı” çalışmasında türbin açısına bağlı olarak türbin verim değerinin nasıl değiştiği incelemişlerdir. Farklı açılarda (25° , 35° ve 45°) yaptıkları inceleme sonucunda maksimum verim değeri 25° ’de ve %89 olarak belirlemişlerdir (Saroinsong ve diğerleri, 2016).



Şekil 3.8. Türbin şaftı eğiminin türbin verimliliğine etkisi (Saroinsong ve diğerleri, 2016)

3.5. Taguchi Metodu

Taguchi Metodu bilimsel çalışmalar ve endüstriyel uygulamalarda kullanılan parametre verilerinin uygun değerinin bulunabilmesi için kullanılan ve bu verilerdeki değişimi en aza indirerek deney sayılarını azaltan ve optimizasyonu sağlayan bir metottur. Taguchi Metodu'nda belirlenen parametreler süreçteki bazı değişkenlere sebep olabilmektedir. Bu değişkenlerdeki kombinasyon ortogonal dizayn ile belirlenir (Öktem, 2012).

Tasarım yöntemlerinden biri olan Taguchi çalışma için gerekli zaman kaybını engelleyerek kısa sürede deneysel sonuçlara ulaşmayı ve süreçteki kaliteyi arttırarak kayıpların engellenmesinde ve üretim süreçlerinin kısaltılması, kaliteli ürünün müşteriyle buluşturulmasında bilimsel çalışmalardaki hataların en aza indirilmesinde, öngörülemeyen çalışma analizlerinin kısa vadede çözülmesinde önemi bir rol oynamaktadır (Soylak, 2000; Saat, 2000).

3.5.1. Ürünün üretimdeki kalite sistemi

Taguchi deneylerdeki tasarımın üretimde önemli olduğunu vurgulamıştır. Optimizasyon değerlerindeki farkı en aza indirerek ürünlerin ömürlerini uzatmak, çevre standartlarına ve koşullarına dayanıklı ürünler üretmek, olasılıkları en aza indirerek optimum değerde ürün üreterek verimliliği sağlamak istemiştir (Box ve Bisgaard, 1987).

3.5.2. Taguchi sinyal gürültü oranları

Taguchi varyasyonu azaltmak için bilim ve mühendislikte kullanılmak üzere S/N oranı olarak adlandırılan bir dizi ölçü tanımlamıştır. Bilimde, mühendislikte ve endüstride en iyi değer belirlenebilmesini amaçlamıştır.

En Küçük – En İyi : Kalite değişkeni Y'nin hedef değeri sıfırdır. Bu durumda sinyal/gürültü oranı;

$$S/G \text{ Oranı} = -10 \cdot \log \left(\sum \frac{y^2}{n} \right) \quad (3.1)$$

En Büyük – En iyi : Y'nin hedef değeri sonsuzdur ve sinyal/gürültü oranı;

$$S/G \text{ Oranı} = -10 \cdot \log \left[\sum \left(\frac{1}{y^2} \right) / n \right] \quad (3.2)$$

Hedef Değer – En İyi : Y için belli bir hedef değer belirlenmiştir.

$$S/G \text{ Oranı} = 10 \cdot \log \left(\frac{y^2}{s^2} \right) \quad (3.3)$$

Bu problemlerin hepsinde amaç, S/G oranını en iyi elde etmektir.

3.5.3. En uygun ortogonal dizinin belirlenmesi

Ortogonal dizi 1930 yıllarında İngiltere'de Fisher tarafından bulunmuştur. Taguchi ortogonal dizinin kullanımını kolaylaştırarak kullanım alanını genişletmiştir. Birçok deneyde Taguchi'nin basitleştirdiği ortogonal diziler kullanılmıştır (Hamzaçebi ve Kutay, 2003).

Bu ortogonal dizilerin kullanılmasındaki en büyük faktör parametre sayılarının azaltılarak ve birçok değişkenin aynı anda test edilebilmesinden kaynaklıdır. Ortogonal dizilerin tasarım formülü aşağıdaki gibidir.

$L_d(a)^k$ veya L_d

d: Toplam deney sayısı

a: Faktörlerin düzey sayısı

k: Faktör sayısı

L: Ortogonal diziyi

En çok kullanılan diziler 2 düzey için 2 ve katları şeklinde devam eder 3 düzey için 3 ve katları şeklinde devam eder. Ortogonal diziler varyans sonuçlarına ve ürün ortalamalarına kısa sürece ulaşmak için kullanılır. L9 t matrisi örnek olarak Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. L9 matrisi (Peace, 1992)

	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

3.5.4. Taguchi yöntemiyle yapılan çalışmalar

Yapılan çalışmada perlit veya perlit atığı ve termik santrallerdeki kömürlerin yanması ile elde edilen taban külü çimento yerine kullanılmış olup harç elde edilmiştir. Taguchi Metodu ile harcın performansı arttırılmak istenmiş ve geri dönüşüm malzemeleri olan perlit atığı ve taban külü ile çevresel faktörlere de katkı sağlanmış ve bu sayede daha iyi bir yalıtım harcı elde edilebileceği görülmektedir. Taguchi Metoduyla parametre sayıları minimum seviyeye indirilerek optimum parametreler bulunarak verimli bir çalışma elde edilmiştir (Keskin ve Yıldırım, 2016).

Yapılan çalışmada cam lif ve mermer tozu takviyeli çimento harçlarının Taguchi Metodu ile sülfat dirençleri için analiz yapılmıştır. Mermer tozunun arttırılması olumlu sonuç verirken cam lifin sülfat direncine karşı herhangi bir etkisi görülmemiştir. Cam lifin arttırılmasıyla beraber sonuçlar negatife doğru gitmiş olup Taguchi Metodu ile hızlı sonuçlar elde edilmiştir (Alişer ve diğerleri, 2015).

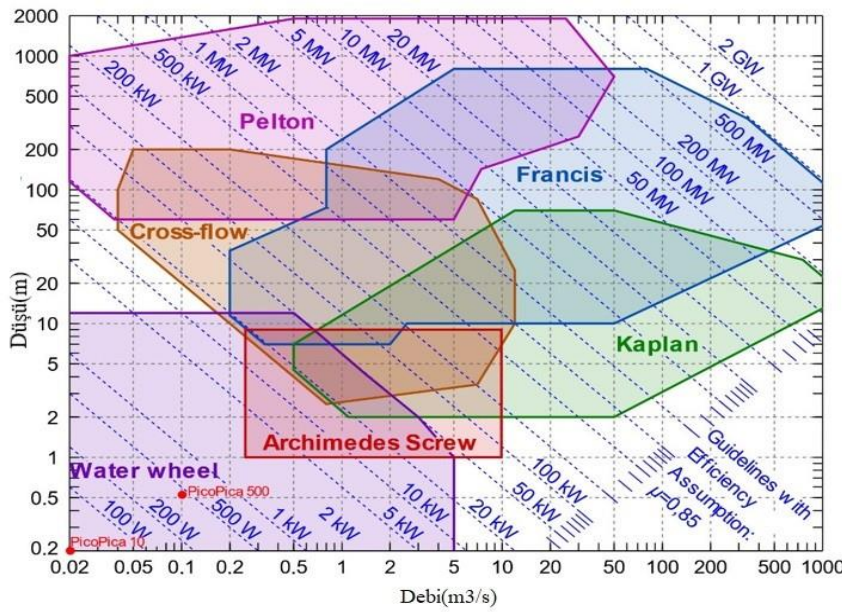
4. MATERYAL METOT

Mevcutta Amasya ilinde 220 kw kurulu gücünde olan Arşimet tipli hidroelektrik santrali incelenmiş olup, sistemin maksimum 150 kw güç üretebildiği, güç üretiminde kayıpların yaşandığı gözlemlenmiş olup bu kayıplara sebebiyet veren nedenin üretim hatalarından veya debinin değişken oluşundan kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Bu yüzden bu çalışmada

üretim parametreleri olan hız, debi, türbin boyu, sarmal sayısı, eğim açısı temel alınarak verimi ve gücü etkileyen bu parametrelerin optimizasyonunun taguchi yöntemiyle araştırılması amaçlanmıştır.

4.1. Arşimet Burgu Türbininde Amasya Modelinin İncelenmesi

Proje yeri, Amasya İli, Yeşilırmak nehri üzerinde olup, 387,0 m ve 358,07 m kotları arasındaki potansiyel enerji HES tesisi ile değerlendirilmek istenmiştir. Genel olarak bunun gibi düşük kot farkları (net düşü: 1,93 m) için basınç altında çalışan türbinler önerilmemiştir. Aşağıdaki şekilde Kaplan, Banki ve Bulb gibi düşük kotlarda çalışan türbin tipleri için bile minimum 5,0 m kot farkı istenmiştir. Daha düşük kot farklarında türbin verimliliği oldukça azalmaktadır ve uygulanmamaktadır. Şekil 4.1’de türbin seçim diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Türbin seçimi için kullanılabilir diyagramlardan biri

Ayrıca sistemin basınçlı çalışması için basınçsız çalışacak bir sisteme göre ilave olarak yükleme havuzu, giriş ve çıkışta cebri boru yapılarına ihtiyaç duyulacaktır. Bu tip durumları aşmak için son zamanlarda ülkemizde de yaygın olarak önerilen basınçsız bir türbin tipi olan Arşimet Türbini bu proje için önerilmiştir. Yeşilırmak'taki debi değerleri incelendiğinde ortalama debi değerinin $48,0 \text{ m}^3/\text{s}$ civarında olduğu gözlemlenmiştir. Fakat şehir merkezinin ortasında tesis edilecek yapı için yer sıkıntısı olması sebebiyle türbin ebatları dikkate alındığında en fazla iki adet Arşimet Türbini tesis edilebilmiştir. Her türbin için en fazla 7,5

m^3/s debi kullanılabileceği için toplamda $15,0 \text{ m}^3/\text{s}$ ($2 \times 7,5 \text{ m}^3/\text{s}$) proje debisi olarak belirlenmiştir. Şekil 4.2’de Amasya Arşimet hidroelektrik santralini inşaat alanı ve konumu görülmektedir.



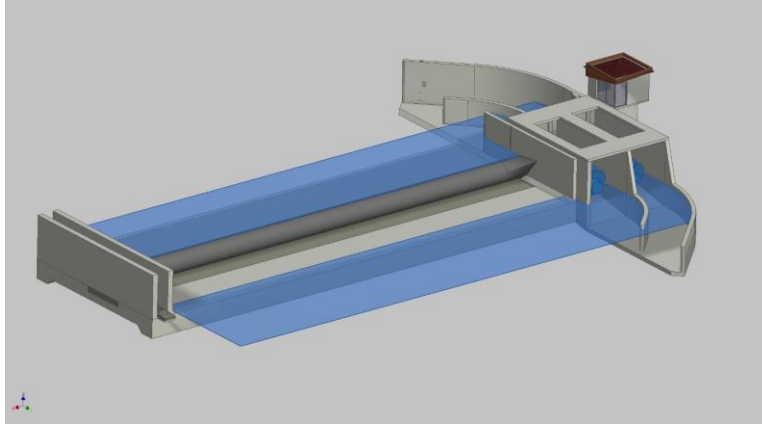
Şekil 4.2. Arşimet burğu türbin ve lastik set inşaatı (Amasya)

Hidroelektrik santrali merkezi bir konumda olması ve yeşil ırmak nehrinin doğal akışı üzerine kurulmasından kaynaklı Hidroelektrik santralindeki su düşüşü lastik set ile sağlanmıştır. Lastik barajın amacı, Yeşilırmak nehri üzerindeki küçük HES’de nehir mühendisliği içindir. Bu amaçla, tek bir açıklık düzeni tasarlanmıştır; Lastik setin boyutu 2,6 m yüksekliğinde ve 58 m uzunluğundadır. Küçük HES’in işletilmesi ve nehir kıyısı boyunca gençleştirme önlemleri için Yeşilırmak nehri boyunca bir rezervuar oluşturmak için kurulur. Lastik set normal olarak tamamen şişirilmiş bir durumda çalıştırılacaktır. Yukarı akış su seviyesi önceden belirlenmiş bir seviyeye ulaştığında Şekil 4.3’deki gibi söndürülür.



Şekil 4.3. Söndürülmüş lastik set (Amasya)

Lastik set sel suyunun engelsiz bir şekilde nehirde aşağı geçmesine izin verir. Lastik baraj, zaman zaman kontrol ve bakım için manuel olarak söndürülür. Regülasyon mili kauçuk bendin sol tarafında yer almaktadır. Kauçuk bendin kontrol sistemi iki şekilde gerçekleştirilir. Otomatik ve manuel mod genel olarak otomatik modda çalıştırılan sistemde tüm kontroller yazılıma aittir. Bakım ve onarım gerektiğinde manuel modda tercih edilebilir. Kauçuk bentin içerisindeki problemler sayesinde iç basınç sürekli olarak ölçülerek scada sistemine veri aktarımı gerçekleştirilir. Bu veri aktarımına göre yedekli olarak çalışan iki adet blower sayesinde bent şişirilerek scada sisteminden bentin yüksekliği sürekli olarak takip edilmektedir. Şekil 4.4’de Amasya modeline ait savak ve lastik set gösterilmiştir.



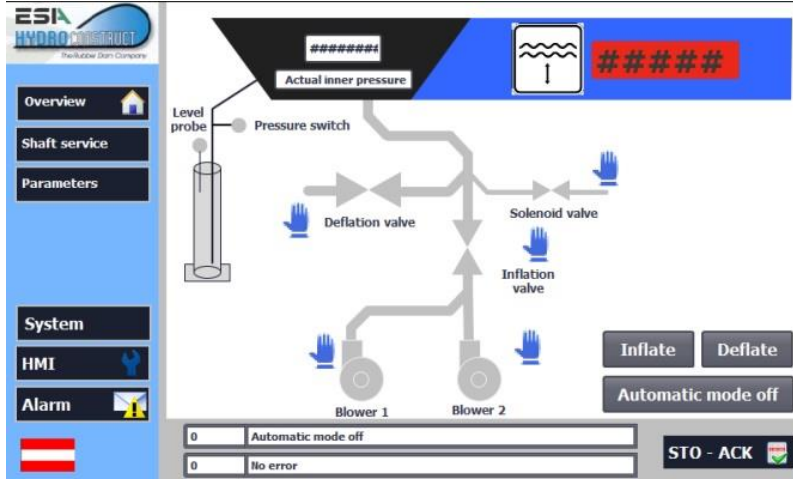
Şekil 4.4. Lastik set Solidworks kanal çizimi (Amasya)

Lastik barajın ana görevleri, yukarı akış su seviyesi sağlamak, küçük hidroelektrik santralının yenilenebilir elektrik enerjisi üretmesini sağlamak ve güvenli bir sel kontrolü sağlamaktır. 387,40 m akış yukarı su ile tüketim kapasitesi 600 m³/s olarak tahmin edilmektedir. Bu değerler aşıldığında lastik set otomatik olarak söner. Daha yüksek seller, baraj kurulmadan önceki durum bozulmadan baraj bölümünü geçebilir. Çizelge 4.1’de kot seviyeleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Ana kotlar tablosu

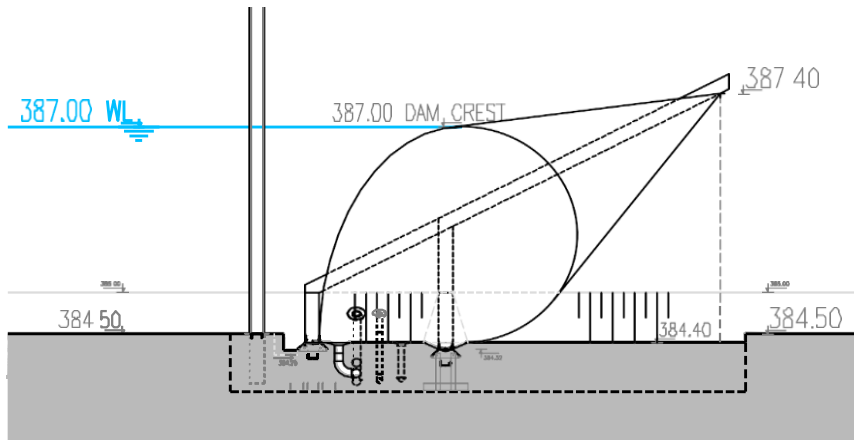
Açıklama	Ana Kotlar	Yükseklik
Rezervuar seviyesi (lastik set yükseklik)	387,00 m	Ho = +2,60 m
Alt levha seviyesi	384,40 m	H = +/-0,00 m
Mekanik deflasyon seviyesi	387,40 m	H = +3,00 m

İki adet kompresör ile anlık scada sisteminden lastik setin hava basıncı kontrol edilmektedir. Fazla basınç olması durumunda selenoid bir valf devreye girerek trip basıncını dengelemektedir. Lastik setin kontrol şeması Şekil 4.5'deki gibi dizayn edilmiştir.



Şekil 4.5. Lastik set kontrol ünitesi (Amasya)

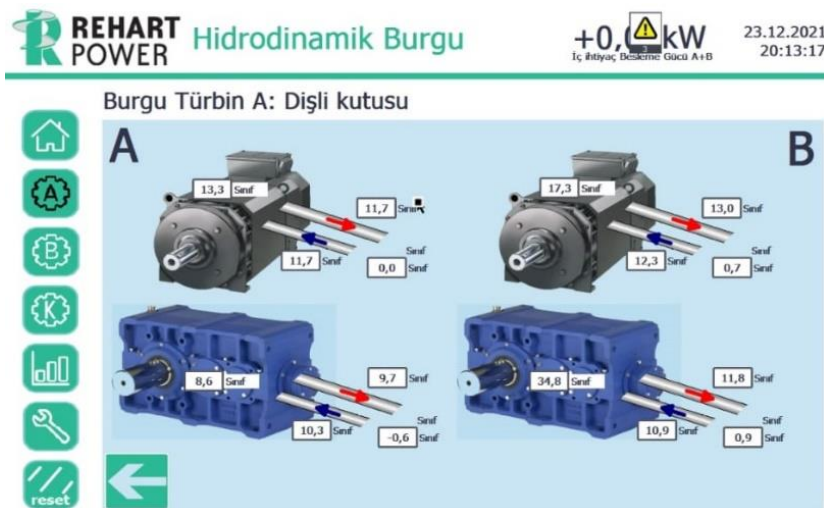
İki adet kompresör ile anlık scada sisteminden lastik setin hava basıncı kontrol edilmektedir. Fazla basınç olması durumunda selenoid bir valf devreye girerek trip basıncını dengelemektedir. Lastik setin üzerindeki maksimum su yükü Şekil 4.6'daki gibi lastik set yüksekliğinin yaklaşık yüzde yirmisi kadardır. Dolayısıyla 2,60 m'nin yüzde yirmisi 52 cm değerinin üzerinde gelen sular için lastik set otomatik olarak inecektir.



Şekil 4.6. Amasya hava ile şişen lastik set

4.2. Scada (Supervisory Control and Data Acquisition) Sistemi

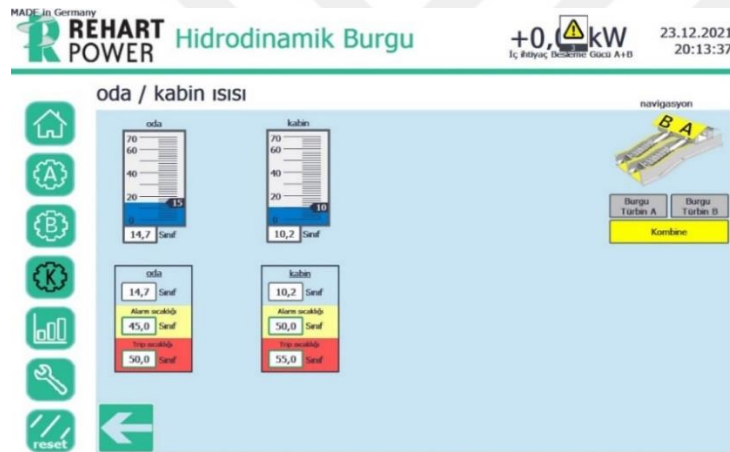
Hidroelektrik santrallerin işletilebilmesi için, insan kaynaklı hataların düzeltilebilmesi ve düzenli bir enerji üretiminin sağlanması için veri tabanlı bir sistem ve gözetleme için Scada sistemleri kullanılmaktadır. İnsan gücü ile müdahale edilerek çalıştırılan tesisler sürdürülebilir olmayacağı için günümüzde modernizasyon ile birçok hidroelektrik tesisi bu sistemleri kullanmaktadır. Hidroelektrik enerjisi üretiminin sürdürülebilir bir hale getirilebilmesinin en kolay hali santrallerin Scada ile verileri işleyerek bir ana bilgisayara aktarması ve bu verilerin işlenmesi sayesinde gerçekleşecektir. Scada sistemi verileri anında işleyerek bir algoritma yapısında çözmek suretiyle otomasyon sistemlerine aktarır. Bu sayede burguların kontrolleri, generatör sistemleri, frenleme sistemleri, jeneratör ve vanalar anında tepki vererek sistem hızlı ve güvenilir hale gelecek bir göz bu sistematiikleri toplu olarak görecektir ve anında müdahale etme şansı yakalayacaktır. İstenilen değişiklikler, internet bağlantısı olan herhangi bir yerden yapılabilmektedir. Aynı zamanda bu verilerin tamamı bir bilgisayar ortamında saklanarak geçmişe dönük hatalar ve arızaların tespiti yapılarak sistemin daha optimize çalışması sağlanmış olacaktır. Sıcaklık verileri Amasya modelinde Şekil 4.7 ve 4.8’de gösterilmiş olup çalışma durumuna göre parametreler değişiklik göstermektedir.



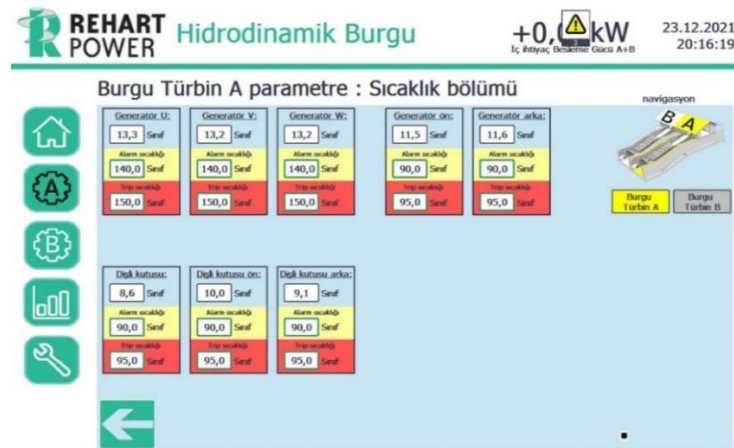
Şekil 4.7. Arşimet burgu türbini dişli kutusu ve generatör Scada (Amasya)

Amasya modelinde de bu scada sistemlerinden kullanılmış olup generatör ve dişli kutusunun sıcaklıkları anlık olarak takip edilmektedir. Soğutma sıvısının giriş ve çıkış sıcaklıkları

gösterilmiş olup bu veriler anlık olarak trip sıcaklıklarının altında tutulmak istenilmektedir. Önemli değerlerden biri olan sıcaklık tesis odasında ve elektrik kabinlerinde de önem arz etmektedir. Trip sıcaklıkları olan 50°C ve 55°C kritik eşik olup yaz aylarında daha çok önem arz etmektedir. Elektrik kabinlerinin ve bulundukları ortamın sıcaklıkları Şekil 4.7'deki gibi trip sıcaklığının daima altında tutmak için scadada ki veriler anlık olarak izlenmeli ve yerinde müdahaleler ile bu sıcaklıklar düşürülmelidir. Ortamda bulunan klima sistemleri bu scada sistemine bağlı olup ortam ısısı yükseldiğinde devreye girerek soğutucu eleman vazifesini üstlenmektedirler. Ortamın ve kabinlerin sıcaklıkları bu klimalar vasıtasıyla sürekli trip sıcaklıklarının altında tutulmuş olacaktır. Klimaların yedekli olması hataların en aza indirilmesi bakımından bir güvenlik önleminin alınmış olmasına da işarettir. Tüm sıcaklıklar Şekil 4.8'deki gibidir.



Şekil 4.8. Arşimet burğu türbini oda ve kabin Scada (Amasya)



Şekil 4.9. Arşimet burğu türbini tüm sıcaklıklar Scada (Amasya)

4.3. Amasya Yeşilırmak Nehri Arşimet Burgu Türbin Tasarım Verileri

Amasya ili Yeşilırmak nehri üzerine kurulu olan Arşimet burgu türbin kurulum verileri aşağıdaki gibidir;

- Türbin Tipi: Arşimet
- Model: Çelik Yatak Model
- Ünite Sayısı: 2
- Net Düşü (H_n): 1,93 m
- Ünite Debisi (Q): 7,5 m³/s (eşdeğer 2 adet ünite)
- Toplam Proje Debisi (Q_T): 15 m³/s
- Ünite Gücü (P): 99 kWm
- Sabtral Kurulu Güç (PT): 198 kWm = 0,198 MWm
- Türbin Verimi- tam yükte (η_T): 0,70
- Türbin Nominal Hızı (n): 21,76 d/d

Çizelge 4.2’de Amasya ili Yeşilırmak nehri üzerine kurulu olan Arşimet burgu türbin geometrik tasarım verileri görülmektedir.

Çizelge 4.2. Amasya Arşimet burgu parametreleri

Parametreler	Açıklama	Ölçüler
L	Vida toplam uzunluğu	8140 mm
m	Sarmal sayısı	5
d_0	Su giriş derinliği	0,64
α	Eğim açısı	22°
V_0	Debi	1,5

4.4. Generatör

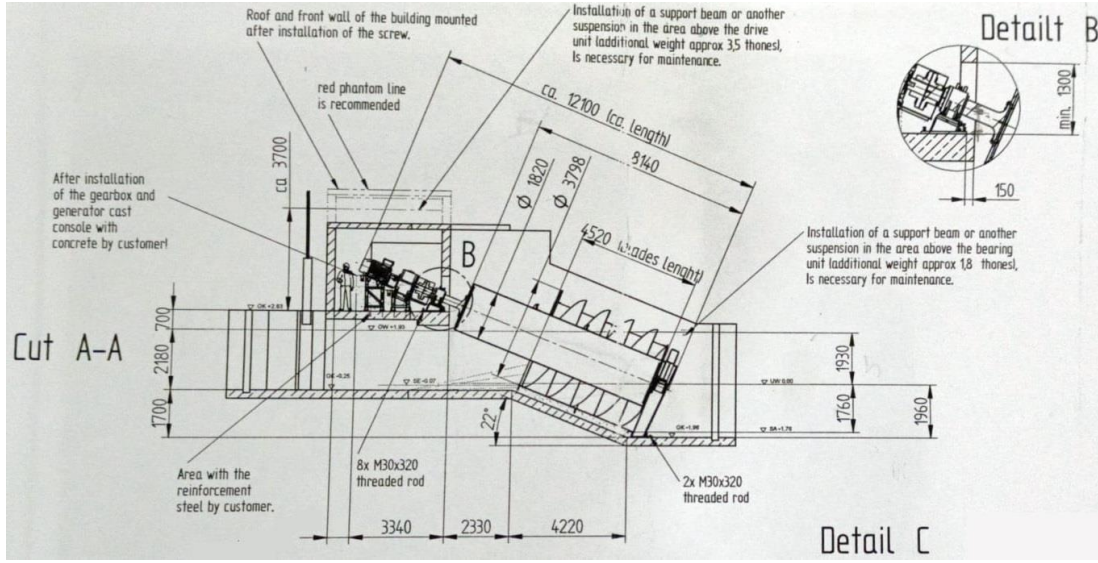
Asenkron generatör çalışma prensibi;

Asenkron generatörler sabit hızların üstünde döndürülürlerse senkron sabit hızların dışında hızlı veya yavaş döndürülmek istenirlerse asenkron generatör olarak görev yaparlar. Senkron makinalarda bakır bir sargı varken asenkron makinalarda böyle bir sargıya ihtiyaç yoktur. Akenkron generatörlerin bir uyarılma ihtiyacı olup bu ihtiyaç ilk çalışmada elektrik gücü veya hidroelektrik santrallerinde su gücü ile karşılanabilir. Amasya Arşimet burgu hidroelektrik santralde 2 adet 4 kutuplu asenkron generatör kullanılacaktır. Generatör bilgileri aşağıdaki Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Generatör parametreler

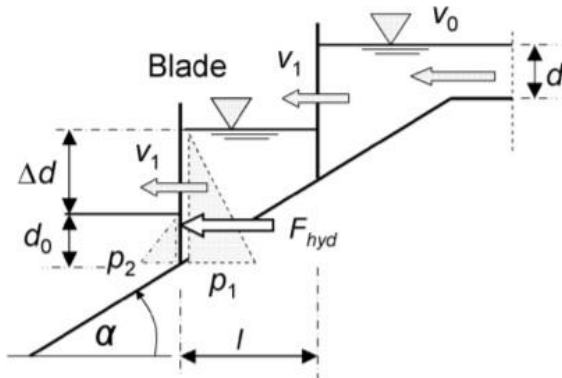
Anma gerilimi	400 V
Anma akımı	194 A
Anma gücü	110 kW
Frekansı	50 Hz
Hız	1509 rpm
Güç katsayısı	0,85
Yalıtım sınıfı	F
Verim (tam yükte)	%94,92

Bu çalışmada Amasya ili Yeşilırmak nehri üzerinde bulunan Arşimet tipli hidroelektrik santralinin mevcudiyetteki tasarım parametreleri temel alınarak Amasya’daki Arşimet tipli hidroelektrik santralinin boy uzunluğuna göre verim hesaplanmıştır. Amasya modelinde boy uzunluğu parametresi değiştirilerek verimdeki değişiklikler gözlemlenmek istenmiştir. Şekil 4.10’da Amasya Arşimet hidroelektrik santralinin ölçüleri verilmiş olup Arşimet burgularının çalışma açısı 20° ile 30° arasında en verimli olarak kabul görmüştür.



Şekil 4.10. Amasya Arşimet burgusu teknik çizim

Amasya modelinde burgunun toplam boy uzunluğu 8140 mm dir. 22°'lik bir açı ile konumlandırılmış olup Amasya modelindeki burgunun boy uzunluğu esas alınarak verimi hesaplanmış daha sonra 20° lik minumum açı için ve 30° lik maximum açı için burgunun toplam boy uzunluğu hesaplanmıştır. Bu boy uzunlukları 5,76 m ile 8,42 m arasında olup bu aralıktaki farklı parametrelerdeki boyların verimleri ile kıyaslanmak istenmiştir. Sarmal sayısı (m) ve 22°'lik (α) açısı ve su giriş derinliği (d_0) sabit tutulmuştur. Günümüzde daha iyi anlaşılmaya başlanan Arşimet türbinleri tümüyle geliştirilmiş ve daha iyi analiz edilmiştir. Şekil 4.11'de bir Arşimet vidasının şemasını gösterir. Bu şemada α türbinin eğim açısını, v_0 suyun giriş hızını, v_1 suyun çıkış hızını, d_0 türbinin su giriş derinliğini, Δd türbinin su derinliğini ifade eder.



Şekil 4.11. Arşimet türbininde parametreler

Amasya modelinde vidanın toplam uzunluğu α açısı m bıçak sayısı ve d_0 ölçüsü Şekil 4.10'de gösterilen teknik resim üzerinden alınmıştır. Çizelge 4.4'de terimlerin açıklaması verilmiş olup Çizelge 4.2'de Amasya Arşimet hidroelektrik santralindeki parametreler gerçek değerleriyle verilmiştir.

Çizelge 4.4. Parametre açıklamaları

L	Vida toplam uzunluğu
m	Sarmal sayısı
d_0	Su giriş derinliği
v_0	Su giriş hızı
ρ	Su yoğunluğu
P_{hyd}	Hidrolik Güç
g	Yer çekimi ivmesi
η_{th}	Türbin verimi

4.5. Önerilen Model

Mevcut Arşimet türbinin geliştirilmesi ve parametrelerinin analiz edilebilmesi için bu bölümde yeni Arşimet türbin tasarımında kullanılacak olan parametreler Çizelge 4.5'de gösterildiği gibi dört farklı parametre beş seviye olacak şekilde belirlenmiştir. Parametreler literatürdeki tasarım verileri dikkate alınarak belirlenmiştir.

Eğim açısı:

Bir hidroelektrik vidası, 20° ila 30° bir açıyla ayarlanmış bir oluğa veya boruya monte edilir. Su üstten akar ve düşen suyun ağırlığı vidanın sarmalına etki ederek onu harekete geçirir. Elde edilen 20 ila 40 rpm'lik vida dönüşü, dişli kutusu tarafından jeneratör hızına dönüştürülür. Bu, çevre dostu enerji üretmenin kolay ve bir o kadar da etkili bir yoludur.

L (uzunluk):

Burgu uzunlukları açı ile direk ilişkili olup Arşimet burgularının çalışma açısı min 20° olduğunda L boyu ortalama 8,42 m, çalışma açısı max 30° olduğunda L boyu ortalama 5,76 m olabilmektedir.

Vo (debi) :

Suyun akış hızı olarak nitelendirilir. Arşimet burgu türbininin uygulanabilmesi için saniyede 0,1 ile 10 m³ su kapasitesinin sağlaması gerekmektedir.

m (sarmal dönüş sayısı) :

Sistemin enerji üretimi yapabilmesi için sarmal dönüş sayısı $1 < m < 20$ arasında olması gerekmektedir.

Çizelge 4.5. Parametreler tablosu

Parametre	1	2	3	4	5
Eğim Açısı (α)	20°	22,5	25	27,5	30
L Uzunluk (metre)	5,76	6,425	7,09	7,755	8,42
Vo (debi)	0,3	2,725	5,15	7,575	10
M (Sarmal Dönüş Sayısı)	1	5	10	15	20

Çizelge 4.5’de verilen parametrelere göre Minitab programında Taguchi metodu ile L₂₅ ortogonal dizilim oluşturulmuş. Elde edilen deney listesi Çizelge 4.6’de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Taguchi L₂₅ deney listesi

PARAMETRELER				
Deney No	Vida Uzunluğu	Sarmal Sayısı	Hız	Eğim Açısı
1	5,76	1	0,3	20
2	5,76	5	2,725	22,5
3	5,76	10	5,15	25
4	5,76	15	7,575	27,5
5	5,76	20	10	30
6	6,425	1	2,725	25
7	6,425	5	5,15	27,5
8	6,425	10	7,575	30
9	6,425	15	10	20
10	6,425	20	0,3	22,5
11	7,09	1	5,15	30
12	7,09	5	7,575	20

Çizelge 4.7. (devamı) Taguchi L₂₅ deney listesi

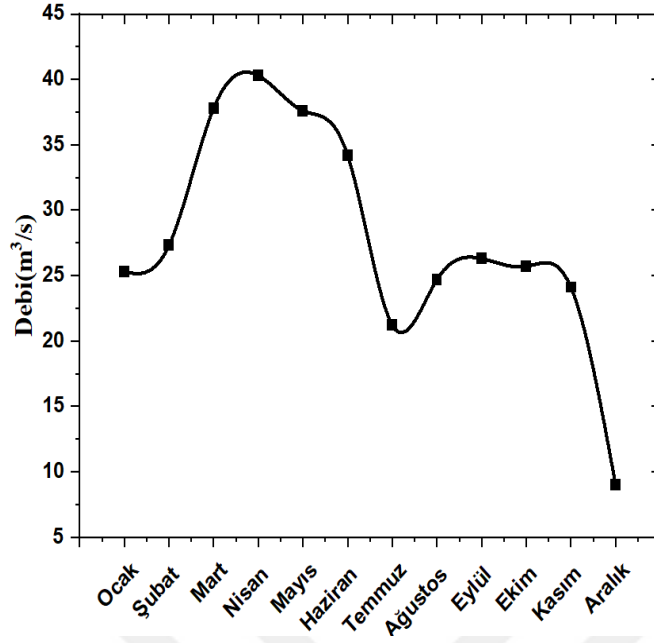
13	7,09	10	10	22,5
14	7,09	15	0,3	25
15	7,09	20	2,725	27,5
16	7,755	1	7,575	22,5
17	7,755	5	10	25
18	7,755	10	0,3	27,5
19	7,755	15	2,725	30
20	7,755	20	5,15	20
21	8,42	1	10	27,5
22	8,42	5	0,3	30
23	8,42	10	2,725	20
24	8,42	15	5,15	22,5
25	8,42	20	7,575	25

5. BULGULAR

Amasya Arşimet burğu türbin sistemi için Yeşilırmak nehri akış rejimine göre türbin çıktıları incelenmiş ve buna bağlı güç değeri gözlemlenmiştir. Arşimet türbin için verim ve generatör hesabı yapılarak Arşimet güç ve verim ifadelerinin doğrulanması yapılmıştır. Önerilen model hidrolik güç ve verim hesaplamaları yapılarak verim ve hidrolik güç için etken parametreler belirlenmiştir.

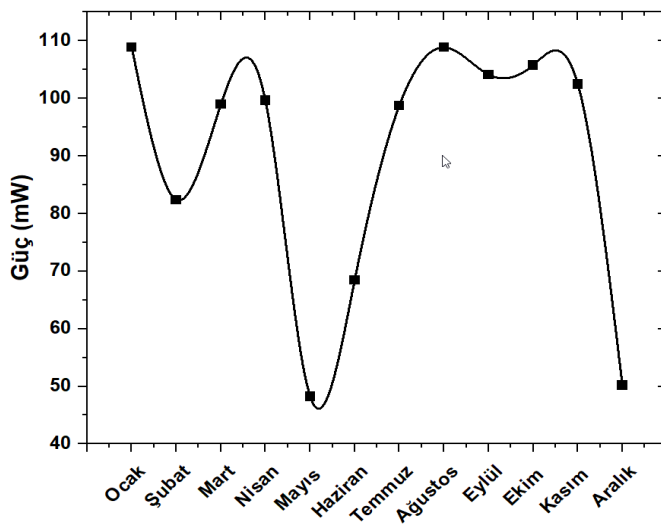
5.1. Amasya İli Akış Rejimi ve Türbin Çıktıları

Amasya Arşimet burğu türbin sisteminin aylara göre güç ve debi grafikleri incelenmek istenmiştir. Bu çalışmada Amasya devlet su işlerinin 2020 yılı Yeşilırmak nehri debi verileri ile Amasya Belediyesi'nin Arşimet türbin ile çalışan hidroelektrik santralinin Scada (Supervisory Control and Data Acquisition) sisteminden alınan 2020 yılı güç verileri karşılaştırılmıştır. Şekil 5.1'de görüldüğü üzere Yeşilırmak nehrinin mart, nisan, mayıs aylarında en yüksek debiye ulaştığı görülmektedir. Yeşilırmak nehrinin 2020 yılı içerisinde ortalama debisi 27,79 m³/s dir.



Şekil 5.1. Debi ay ilişkisi grafiği

Temmuz ile kasım ayları arasındaki 21,2 m³/s ile 26,3 m³/s arasındaki enerji üretimi yakın değerler arasında kalmıştır. Mayıs ayı içerisindeki debi 37,6 m³/s olarak yükselmiş olsada enerji üretimi düşmüştür. Lastik set ile çalışan Arşimet türbin hidroelektrik santrali taşkın, temizlik, bakım durumlarında söndürülerek elektrik üretimi durdurulmaktadır. Enerji üretimindeki bazı kayıpların sebeplerini bu çalışmalar etkilemektedir. Şekil 5.2’de görüldüğü üzere Ağustos ayındaki elektrik üretimi en yüksek seviyeye ulaşmıştır.

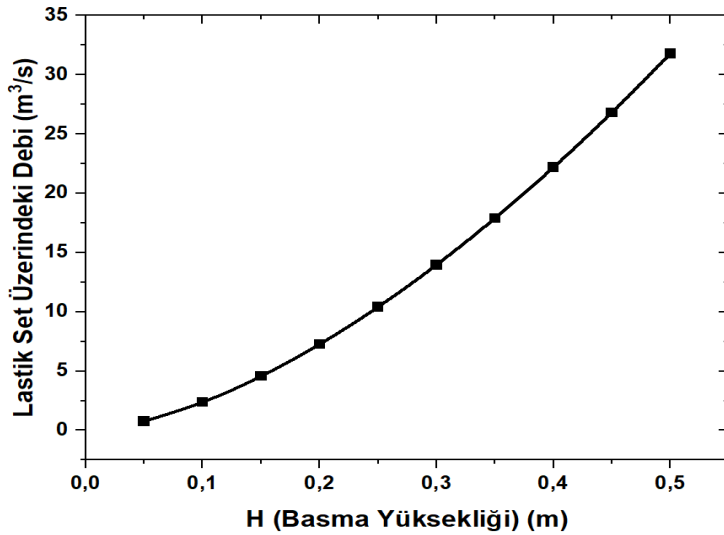


Şekil 5.2. Güç ay ilişkisi grafiği

Mayıs ayındaki elektrik üretimi ise en alçak seviyededir. Mayıs ayı içerisindeki debi ağustos ayındaki debiden yüksektir. Buna istinaden Al-Shami (1983) , hava ve su ile şişirilebilir barajların debi katsayılarını hesaplamak için denklem (1)'i kullanmıştır. Bu değerlerin 0,35 ile 0,4 arasında yer aldığını bulmuştur.

$$C_d = \frac{q}{\sqrt{2g \cdot H_{1,5}}} \quad (5.1)$$

C debi katsayısını, q birim uzunluk için baraj üstündeki debiyi, H su yükünü göstermektedir; g ise yerçekimi ivmesidir. Şekil 5.3'de su yüklerinin debi karşısındaki eğim grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Lastik setin üzerindeki su yüklerine karşılık debi eğrisi

Proje debisi olarak belirlenen 15 m³/s su alma yapısı vasıtasıyla Arşimet türbinlere aktarılacaktır. 15 m³/s üzerinde gelebilecek su miktarı 31,78 m³/s'ye kadar lastik set üzerinden savaklanacaktır. Ve daha fazla su gelmesi durumunda lastik set sönme durumuna geçecektir. Böylelikle toplamda 48,78 m³/s debi miktarına kadar gelebilecek suların 15 m³/s'lik kısmı türbinlenebilecek, geriye kalan su savaklanacaktır.

Proje debisi olarak seçilen 15,00 m³/s debi ile tasarlanan Arşimet burgularının türbinleyeceği minimum su debisi bu kapasitede olup her bir türbine düşen türbinleme debisi 8,5 m³/s dir. Şekil 5.1'de Aralık ayında görüldüğü gibi su debisi 9 m³/s'ye düşmüş olup çift burgunun türbinleyebileceği su debisi elde edilemediği için tek burgu ile üretime devam edilip şekil

5.2’de görüldüğü gibi aralık ayında elektrik üretimi 50.218,08 Kw/s üretim verisi elde edilmiştir. Diğer düşüş ise Mayıs ayında debinin 37,6 m³/s olmasına rağmen 48.244,44 Kw/s ile yaşanmıştır. Mayıs ayındaki düşüşün sebebi bakım onarım çalışmalarından kaynaklı lastik setin söndürülmüş olmasından kaynaklıdır. Nisan ayında 40,3 m³/s debi elde edilmiş olmasına rağmen elektrik üretimi daha düşük debilerdeki elektrik üretimiyle aynı seviyede kalmıştır. Bunun sebebi türbinleme debisinin 15,00 m³/s olarak seçilmiş olmasından kaynaklı olup fazla debilerdeki suyun savaklanmasından kaynaklanmaktadır. Arşimet burgu sisteminin tasarım verileri önem arz etmektedir. Amasya modelinde elektrik üretiminin gerçekleşebilmesi Arşimet burgusunun bir tanesinin çalıştırılabilmesi için minimum su debisinin 7,5 m³/s olması çift burgunun çalıştırılabilmesi için minimum su debisinin 15,00 m³/s olması gerekmektedir. Sistem 15,00 m³/s debi ile çalışmış olsada lastik setin şelale yaparak arkada kalan kısma can suyu verilebilmesi için ideal çalışma debisi Şekil 5.1’de görüldüğü üzere 21,2 m³/s ile 26,3 m³/s aralığında yakalanmıştır. Bu debilere denk gelen aylar ise Şekil 5.1’de Ocak, Şubat, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım aylarında gerçekleşmiştir. Amasya modelinde çok yüksek debilerden ziyade sistemin çalışması için gerekli olan proje debisinin üzerinde yer alan debilerin daha verimli olduğu gözlenmektedir. 7,5 m³/s altındaki debilerde ise sistem çalıştırılmayacaktır. Bu düşük debiye en yakın ay olarak Aralık ayı olarak gözlenmektedir.

5.2. Amasya İli Arşimet Türbini İçin Verim Hesabı

Amasya ili arşiment türbinü tasarım verilerine göre elde edilecek Türbin Gücü Hesabı (P): hesapları;

- Net Düşü (H_n): 1.93 m
- Ünite Debisi (Q): 7.5 m³/s (eşdeğer 2 adet ünite)
- Türbin Verimi (η_T): 0,70

$$P = \frac{Q \cdot H_n \cdot g \cdot \rho \cdot \eta}{1000} = \frac{7,5 \cdot 1,93 \cdot 9,81 \cdot 1000 \cdot 0,70}{1000} = 99,4 \text{ kWm} = 0,0994 \text{ Mwm} \quad (5.2)$$

Ünitenin nominal gücü 99,4 kWm=0,0994 MWm olarak hesaplanmıştır. Bulunan güç değeri 2 adet eşdeğer ünite için uyumludur.

Türbin Nominal Hızı (n):

Burgu çapı (D_o) = 3.798 mm (Kaynak: Nagel(Arşimet Burgu Türbinleri için optimum devir sayısı):

$$n = \frac{50}{D_o^{2/3}} = \frac{50}{(3,798)^{2/3}} = 20,54 \text{ d/d} \quad (5.3)$$

Arşimet burgu türbinleri konusunda çalışma yapan birçok araştırmacı (Nuernbergk Rorres, Lashofer vs. gibi) yukarıda Nagel'in verdiği burgu nominal hız denkleminin en iyi burgu performansını sağladığını onaylamaktadır. Amasya Arşimet türbinleri nominal hız değeri $n = 21,76 \text{ d/d}$ olarak hesaplanmış ve seçilen türbin nominal hız değeri literatür bilgilerine göre uygun görülmüştür.

Türbin Verim Hesabı (η)

Ünite debisi (Q): $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (eşdeğer 2 adet ünite) (Kaynak: Nagel(Arşimet Burgu Türbinleri için verim):

Arşimet burgu türbinlerinde verim kayıplarla(su kaçakları) doğrudan ilişkilidir ve Nagel Arşimet Burgusundaki su kaçaklarının %3 ila %12 arasında gerçekleşebileceği belirtilmiştir.

%3 kayıp dikkate alındığında kaçak su debisi $Q_L=0,225 \text{ m}^3/\text{s}$

%12 kayıp dikkate alındığında kaçak su debisi $Q_L=0,9 \text{ m}^3/\text{s}$

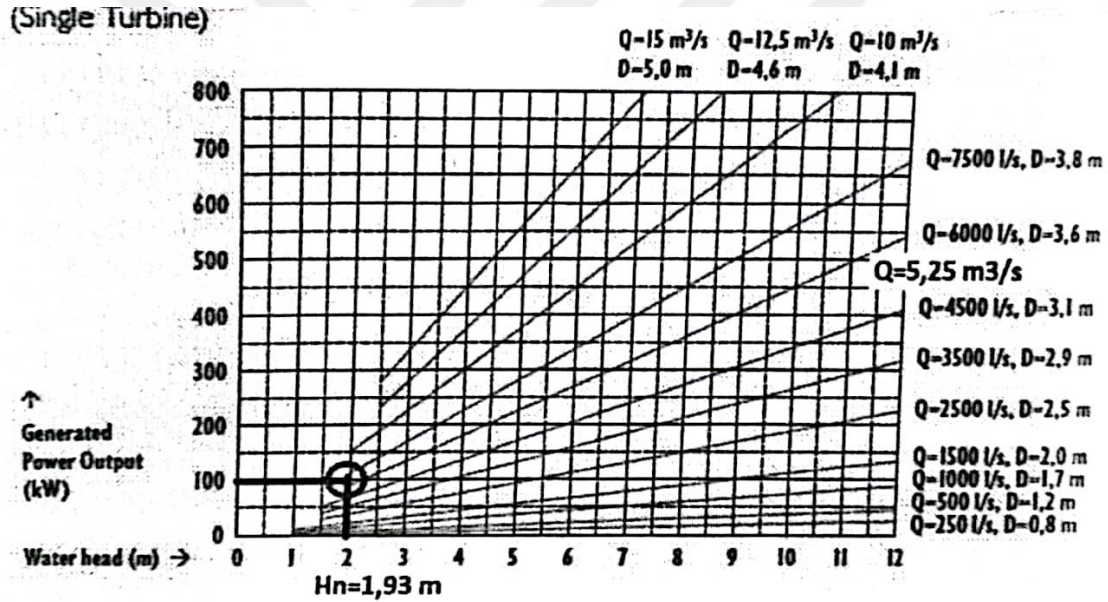
Buna göre Arşimet burgu verimi;

$$\%3 \text{ kaçak için; } \eta = 1 - \frac{Q_L}{Q} = 1 - \frac{0,225}{7,5} = 0,97$$

$$\%12 \text{ kaçak için; } \eta = 1 - \frac{Q_L}{Q} = 1 - \frac{0,9}{7,5} = 0,88$$

Türbinde verim değeri %70 olarak dikkate alınmış ve sözleşme güç değerleri buna göre hesaplanmıştır. Bu durumda projede %30 debi kaybının dikkate alındığı görülmektedir. Aşağıda debi, net düşü ve güç değerlerine bağlı olarak verilen Arşimet burgu türbini seçimi Şekil 5.4'te kayıp kaçak grafiğinde incelendiğinde ve %30 debi kaybı dikkate alındığında ($Q_g = 5,25 \text{ m}^3/\text{s}$ için)

- Net Düşü (H_n): 1,93 m
- Ünite Debisi (Q): $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (eşdeğer 2 adet ünite)
- Ünite Gücü (P): 99 kWm



Şekil 5.4. Kayıp kaçak grafiği

5.3. Amasya İli Arşimet Türbini Generatör Hesabı

Amasya ili arşimet türbin generatör hesabı aşağıdaki gibi yapılmıştır.

$$\text{Aktif güç } P = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 194 \cdot 0,85 = 114 \text{ kWe}$$

$$\text{Genaretör Y bağlı olduğu için bir faz gerilimi } V = 400 / \sqrt{3} = 230,94 \text{ V}$$

$$\text{Güç katsayısı } 0,9 \text{ olduğundan } \varphi = \cos^{-1}(0,85) = -31,788^\circ \text{ olacaktır.}$$

Bu durumda akım;

$$I_a = \frac{194}{-31,788^\circ A} = 164,9 - j102,19A \quad (5.4)$$

Generatörün boşa çalışma deneyinde çektiği güç değeri 1,94 kW ve kısa devre deneyinde çektiği güç 4,16 kW olarak belirtilmiştir.

Bu durumda toplam kayıp: $1,94+4,16=6,10$ Kw

Verilen değerlere göre generatörün çıkış gücü aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$P_{out} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 194 \cdot 0,85 = 114 \text{ kWe} \quad (5.5)$$

Generatörün tam yüklü olduğu durumda, generatörün giriş gücü ve yaklaşık verim aşağıdaki gibi olur:

$$P_{in} = 114 + 6,1 = 120,1 \text{ kW} \quad (5.6)$$

$$\eta = \frac{114}{120,1} = \%94,92 \text{ kW} \quad (5.7)$$

Bu şartlar generatöre giren 99,4 kW güç generatör çıkışına;

$$P_{gen} = 99,4 \cdot 0,9492 = 94,95 \text{ kW} \quad (5.8)$$

olarak aktarılır. Tork ise aşağıdaki gibi bulunur(0,85 güç katsayısı için);

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2\pi n/60} = \frac{94350}{2\pi 1509/60} = 597 \text{ Nm} \quad (5.9)$$

olarak bulunur. Bulunan güç değerleri, generatörün etiket değeri ile uyushmaktadır. Anma değerlerinde, generatör gücü 0,85 geri güç faktörü için öngörülen generatör gücü:

$$S_g = (P_t \cdot n_G) / P_f \Rightarrow S_g = (99,4 \cdot 0,9492) / 0,85 = 111,0 \text{ kVA} \quad (5.10)$$

$$S_{out} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 194 = 134,407 \text{ kVA} \quad (5.11)$$

Bu durumda generatör gücü uygundur.

5.4. Arşimet Güç ve Verim İfadelerinin Doğrulanması

Amasya modelindeki gerçek güç ve verim ifadeleri:

- Türbin Tipi: Arşimet
- Model: Çelik Yatak Model
- Ünite Sayısı: 2
- Net Düşü (H_n): 1,93 m
- Ünite Debisi (Q): 7,5 m³/s (eşdeğer 2 adet ünite)
- Toplam Proje Debisi (Q_T): 15 m³/s
- Ünite Gücü (P): 99 kWm
- Santral Kurulu Güç (PT): 198 kWm = 0,198 MWm
- Türbin Verimi-tam yükte (η_T): 0,70
- Türbin Nominal Hızı (n): 21,76 d/d

Teorik hidrolik güç ve verim hesabı (Hesaplamalar tek türbin için yapılmıştır.) :

$$\Delta d = \frac{L}{m} \tan \alpha = \frac{8,140}{5} \tan 22 = 0,658 \quad (5.12)$$

Hidrostatik kuvvet;

$$\begin{aligned} F_{hyd} &= \frac{(d_0 + \Delta d)^2 - d_0^2}{2} \cdot \rho \cdot g \\ &= \frac{(0,64 + 0,658)^2 - 0,64^2}{2} \cdot 997,9,81 = 6236,11 \end{aligned} \quad (5.13)$$

Çıkış hızı;

$$v_1 = \frac{d_0}{d_0 + \Delta d} \cdot v_0 = \frac{0,64}{0,64 + 0,658} \cdot 1,5 = 0,7396 \quad (5.14)$$

Bıçak gücü;

$$P_{blade} = F_{hyd} \cdot v_1 = 6236,111 \times 0,7396 = 4612,228 \quad (5.15)$$

Toplam güç;

$$P = m \cdot P_{blade} = 5 \times 4612,228 = 23061,14 \quad (5.16)$$

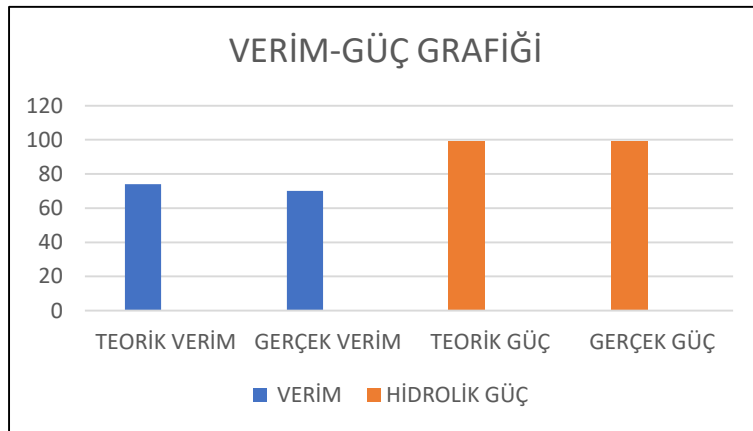
Hidrolik güç;

$$\begin{aligned} P_{hyd} &= \rho \cdot g \cdot d_0 \cdot v_0 \cdot m \cdot \Delta d \\ &= 997 \times 9,81 \times 0,64 \times 1,5 \times 5 \times 0,658 = 30890,95 \end{aligned} \quad (5.17)$$

Teorik verim;

$$\eta_{th} = \frac{P}{P_{hyd}} = \frac{2n+1}{2n+2} = \frac{2306,14}{30890,95} = 0,7465 \quad (5.18)$$

Matematiksel olarak hesaplanan türbin verimi %74 ve gerçek verim ise %70 olarak şekil 5.5’de görüldüğü gibi bulunmuştur.



Şekil 5.5. Matematiksel modelin doğrulanması

5.5. Önerilen Model Hidrolik Güç ve Verim Sonuçları

Çizelge 4.5’de verilen parametrelerine göre Minitab programında Taguchi metodu ile L25 ortogonal dizilim oluşturulmuş ve verim, hidrolik güç değerleri hesaplanmıştır. Taguchi metodunda deneysel verilerin analizleri için en temel ölçüt sinyal/gürültü (S/N) oranıdır. Verim ve hidrolik güç için optimum koşullar, Taguchi yönteminde daha büyük daha iyi S/N oranı seçilerek belirlenmiştir. Elde edilen verim, hidrolik güç ve S/N oranları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. S/N oranlarına göre parametreler tablosu

Deney No	PARAMETRELER				ÇIKTILAR		S/N ORANI	
	Vida Uzunluğu	Sarmal Sayısı	Hız	Eğim Açısı	Verim	Hidrolik Güç	Verim	Güç
1	5,76	1	0,3	20	0,617	3936,0f14	-4,1943	71,90113
2	5,76	5	2,725	22,5	0,786	40681,69	-2,09155	92,18798
3	5,76	10	5,15	25	0,8524	86394,51	-1,38713	98,72972
4	5,76	15	7,575	27,5	0,881	142177,5	-1,10048	103,0566
5	5,76	20	10	30	0,897	208067,9	-0,94415	106,3641
6	6,425	1	2,725	25	0,588	51069,6	-4,61245	94,16325
7	6,425	5	5,15	27,5	0,744	107832	-2,56854	100,6549
8	6,425	10	7,575	30	0,816	175771,9	-1,7662	104,899
9	6,425	15	10	20	0,902	146473,8	-0,89587	103,3152
10	6,425	20	0,3	22,5	0,914	4995,132	-0,78108	73,97094
11	7,09	1	5,15	30	0,568	131957,9	-4,91303	102,4087
12	7,09	5	7,575	20	0,777	122333,8	-2,19158	101,7509
13	7,09	10	10	22,5	0,742	183780,8	-2,59192	105,286
14	7,09	15	0,3	25	0,872	6196,969	-1,18967	75,84359
15	7,09	20	2,725	27,5	0,888	62770,92	-1,03174	95,95517
16	7,755	1	7,575	22,5	0,583	152300,8	-4,68663	103,654

Çizelge 5.1.(devamı) S/N oranlarına göre parametreler tablosu

17	7,755	5	10	25	0,735	226283,3	-2,67425	107,093
18	7,755	10	0,3	27,5	0,807	7579,08	-1,86253	77,59233
19	7,755	15	2,725	30	0,841	76502,05	-1,50408	97,67346
20	7,755	20	5,15	20	0,91	90907,66	-0,81917	99,17201
21	8,42	1	10	27,5	0,564	274356,7	-4,97442	108,7663
22	8,42	5	0,3	30	0,699	9126,445	-3,11046	79,20603
23	8,42	10	2,725	20	0,838	52195,38	-1,53512	94,35264
24	8,42	15	5,15	22,5	0,867	112667,5	-1,23962	101,036
25	8,42	20	7,575	25	0,883	185871,5	-1,08079	105,3843

Çizelge 5.2’de verim için varyans analizi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.2. Verim için varyans analizi

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Vida uzunluğu	4	0,005332	0,001333	2,5	0,126
Sarmal sayısı	4	0,314729	0,078682	147,59	0
Hız	4	0,001531	0,000383	0,72	0,603
Eğim açısı	4	0,00544	0,00136	2,55	0,121
Error	8	0,004265	0,000533		
Total	24	0,331297			

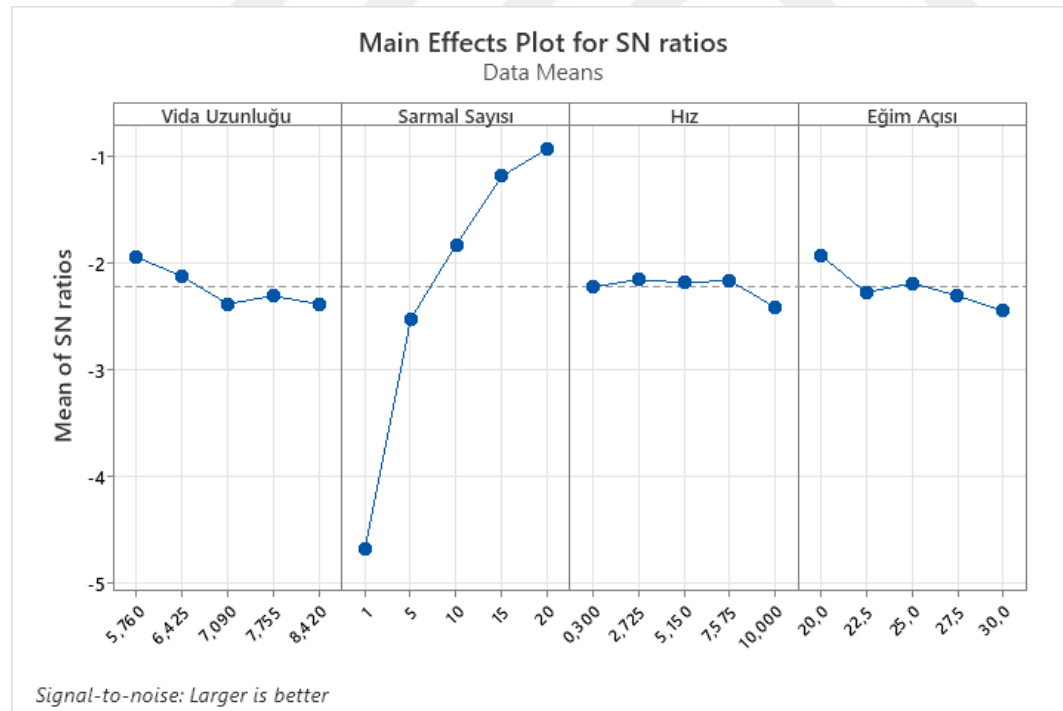
Çizelge 5.2. incelendiği zaman sarmal sayısı parametresinin verim açısından anlamlı olduğu görülmektedir. Çizelge 5.3’te belirtilen parametrelerin verime etki sırası verilmiştir.

Çizelge 5.3. Verim için S/N cevap tablosu

Level	Vida uzunluğu	Sarmal sayısı	Hız	Eğim açısı
1	-1,9435	-4,6762	-2,2276	-1,9272
2	-2,1248	-2,5273	-2,155	-2,2782
3	-2,3836	-1,8286	-2,1855	-2,1889
4	-2,3093	-1,1859	-2,1651	-2,3075
5	-2,3881	-0,9314	-2,4161	-2,4476
Delta	0,4446	3,7448	0,2611	0,5204
Rank	3	1	4	2

Çizelge 5.3'e göre sarmal sayısı verimi en fazla ve hızın ise verimi en az etkileyen parametre olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5.6'da verime etki eden parametrelerin S/N oranlarına göre seviyeleri gösterilmektedir.



Şekil 5.6. Verim için en büyük en iyi S/N oranına göre faktör seviyelerinin grafiği

Şekil 5.6. incelendiğinde vida uzunluğunun 1. Seviyesinin (5,76), sarmal sayısının 5. Seviyesinin (20), hızın 2. Seviyesinin (2,275) ve eğim açısının 1. Seviyesinin (20) optimum değerler olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen bu optimum değerler ile Taguchi yönteminde tahmini verim değerleri hesaplanmış ve Çizelge 5.4.'da verilmiştir.

Çizelge 5.4. Verim için optimum parametre değerleri ve tahmini verim

Optimum parametre değerleri				Elde edilen
Vida uzunluğu	Sarmal sayısı	Hız	Eğim açısı	tahmini verim
5,76	20	2,275	20	0,953

Çizelge 5.6'te elde edilen 0,953'lük tahmini verim oranı Çizelge 5.1'teki en yüksek verim oranı (0,914) ile kıyaslandığında optimum parametre değerleri ile verimin %4 arttığı tespit edilmiştir.

Çizelge 5.5'de hidrolik güç için varyans analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.5.Hidrolik güç için varyans analizi

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Vida uzunluğu	4	3242701636	810675409	1,81	0,22
Sarmal sayısı	4	2148290380	537072595	1,2	0,382
Hız	4	1,26E+11	31490672254	70,31	0
Eğim açısı	4	4844584766	1211146191	2,7	0,108
Error	8	3582874398	447859300		
Total	24	1,40E+11			

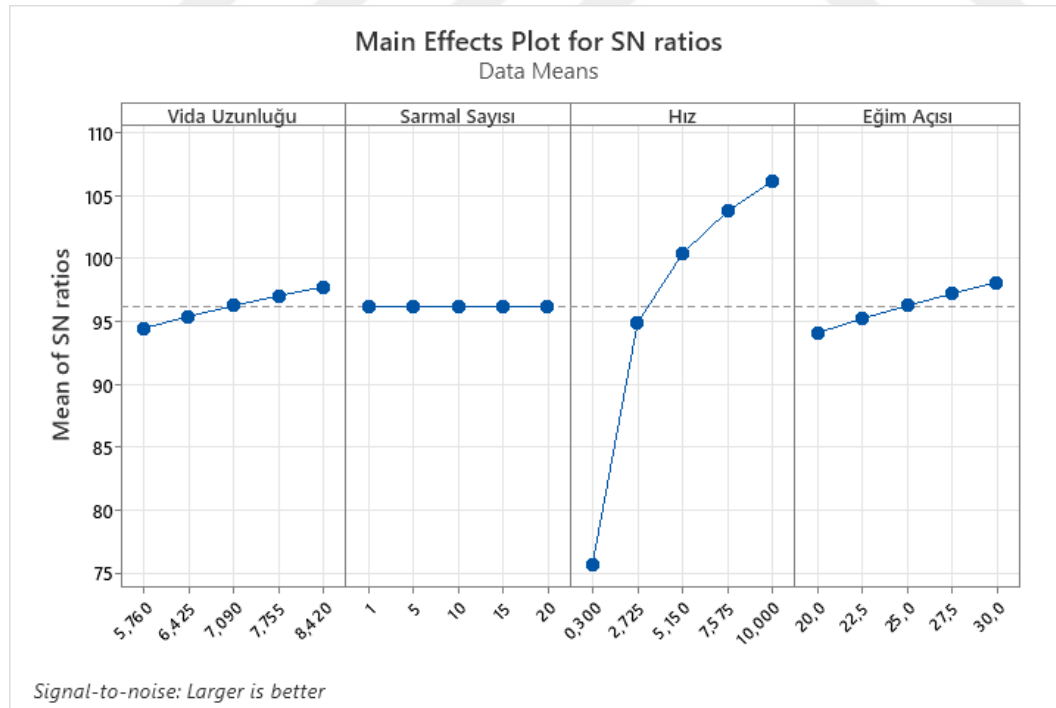
Çizelge 5.5. incelendiği zaman hız parametresinin hidrolik güç açısından anlamlı olduğu görülmektedir. Çizelge 5.6'de belirtilen parametrelerin hidrolik güce etki sırası verilmiştir.

Çizelge 5.6. Hidrolik güç için S/N cevap tablosu

Level	Vida uzunluğu	Sarmal sayısı	Hız	Eğim açısı
1	94,45	96,18	75,7	94,1
2	95,4	96,18	94,87	95,23
3	96,25	96,17	100,4	96,24
4	97,04	96,18	103,75	97,21
5	97,75	96,17	106,16	98,11
Delta	3,3	0,02	30,46	4,01
Rank	3	4	1	2

Çizelge 5.6'ya göre hızın hidrolik gücü en fazla ve sarmal sayısının ise hidrolik gücü en az etkileyen parametre olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5.7'de hidrolik güce etki eden parametrelerin S/N oranlarına göre seviyeleri gösterilmektedir.



Şekil 5.7. Hidrolik güç için en büyük en iyi S/N oranına göre faktör seviyelerinin grafiği

Şekil 5.7 incelendiğinde vida uzunluğunun 5. Seviyesinin (8,42), hızın 5. Seviyesinin (10), eğim açısının 5. Seviyesinin (30) optimum değerler olduğu tespit edilmiştir. Sarmal sayısının ise hidrolik güç için etken bir parametre olmadığı görülmüş olup tüm parametreleri optimum kabul edilmiştir.

Elde edilen bu optimum değerler ile Taguchi yönteminde tahmini hidrolik güç değerleri hesaplanmış ve Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Hidrolik güç için optimum parametre değerleri

Vida uzunluğu	Optimum parametre değerleri			Elde edilen tahmini hidrolik güç
	Sarmal sayısı	Hız	Eğim açısı	
8,42	1,5,10,15,20	10	30	245976

Çizelge 5.7’de elde edilen 245976’lük tahmini hidrolik güç Çizelge 5.1’teki en yüksek hidrolik güç (226283,3) ile kıyaslandığında optimum parametre değerleri ile hidrolik gücün %8,7 arttığı tespit edilmiştir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada Taguchi metodu kullanılarak Arşimet burgusunun verim ve hidrolik gücünü etkileyen parametrelerin optimizasyonu yapılmıştır. Çalışmanın amacı Arşimet tipli hidroelektrik santrallerinin enerji üretim kapasitelerinde enerji üretmedikleri ve enerji üretiminde, enerji kayıplarına sebebiyet veren nedenler incelenmiştir. Enerji kayıplarının giderilmesi için kurulum parametreleri incelenmiş, verim ve hidrolik gücü arttıran parametreler aranmıştır.

Çalışmada Amasya ili Yeşilırmak Nehri üzerinde bulunan ve çalışmakta olan Arşimet tipli hidroelektrik santrali seçilmiştir. Bu deneyler için 4 farklı girdi (vida uzunluğu, sarmal sayısı, su giriş hızı ve eğim açısı) 5 seviyede incelenmiştir. Verimi ve hidrolik gücü arttıran parametreler aranmıştır. Çizelge 4.2’de Amasya modelindeki parametreler kullanılarak teorik verim ve teorik güç formül hesapları yapılmış ve şekil 5.5’da teorik verim %74, gerçek verim %70 ve teorik güç %62, gerçek güç %99 olarak bulunarak matematiksel model doğrulanmıştır. Taguchi yöntemi ile L25 adet deney yapılarak verim ve hidrolik güç çıktıları

bulunmuştur. Sinyal gürültü oranları da dikkate alınarak verim grafiğinde verimi en çok etkileyen parametrenin şekil 5.6’de görüldüğü gibi bıçak sayısı olduğu gözlenmektedir. Sistem Hidrolik güç açısından incelendiğinde ise su giriş hızının şekil 5.7’de görüldüğü gibi hidrolik gücü etkileyen en önemli parametre olduğu Taguchi yöntemi ile belirlenmiştir. Diğer hidroelektrik santralleri yüksek güç çıktılarını elde edilirken Arşimet tipli hidroelektrik santrallerinde 500 kw gibi çok yüksek olmayan güçler elde edilir. Paralel olarak kurulan birden fazla Arşimet türbinlerinde güç artırılabilir. Bu yöntem kurulum maliyetlerinin arttırmaktadır. Arşimet türbinlerde sarmal sayısının artırılması çarkların et kalınlığının azaltılarak sarmalların daha dayanımlı bir malzemeden yapılabilmesi, gelişen teknoloji ve maliyetlerdeki azalma ile mümkün olabilecektir. Bu sayede daha sık sarmal konumlandırılarak daha yüksek verim eldesi mümkün olabilecektir.

Hidrolik gücün artırılması daha yüksek debili kaynakların yakalanması ve Arşimet hidroelektrik santrallerinde giriş hızı hesaplarının doğru yapılması ile mümkündür. Bu sayede bir adet hidroelektrik santralinden yüksek güç üretilerek daha verimli tesisler, tesis maliyetlerinde azalma ve daha yüksek enerji eldesi ve yakalanmış olacaktır. Yapılan bu çalışmada Türkiyede çok az sayıda çalışabilir durumda Arşimet tipli hidroelektrik santrali bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesinde Amasyada enerji üretmektedir. Bu çalışma bir adet tesis incelenerek gerçekleştirilmiş olup farklı tesisler ve parametreler ile verim ve hidrolik güç için daha optimum sonuçlar elde etmek mümkün olacaktır. Düşük kot seviyelerinden akan sular ile Arşimet hidroelektrik santralleri geliştirilerek yüksek enerji çıktıları elde etmek mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

- Alişer, B., Yıldız, S., Arıcı, E. ve Keleştemur, O. (2015). Cam Lif ve Mermer Tozu Takviyeli Çimento Harçlarının Sülfat Direncinin Taguchi Metodu ile Analizi 2. *International Sustainable Buildings Symposium*, 117-122.
- Bard, N. (2007). River dart hydro performance assessment by Nick Bard hydro services for Mannpower, Consulting Ltd. *Nick Bard Hydro Services*, 44 (0).
- Brada, K. (1999). Wasserkraftschnecke ermöglicht stromerzeugung über kleinkraftwerke, *MM. Maschinenmarkt*, 105 (14), 52-56.
- Brada, K. and Radlik, K. (1996). Water screw motor for micropower plant. *6th Intl. Paper presented at the Symp.*, Heat exchange and renewable energy sources.
- Bulgaria, Serbia IPA Cross-border Programme. (2011). Comparative study of small hydropower stations. Bulgaria: Bulgaria, Serbia IPA.
- Bull, S. R. (2001). Renewable energy today and tomorrow. *Proceedings of the IEEE*, 89 (8), 1216-1226.
- Box, G. E. and Bisgaard, S. (1987). *The scientific context of quality improvement* (pp. 54-61). Center for Quality and Productivity Improvement, University of Wisconsin--Madison.
- Dalley, S. and Oleson, J.P. Sennacherib, Ar.chimedes, and the Water Screw: The Context of Invention in the Ancient The Context of Invention in the Ancient World. *Technol. Cult.* 2003, 44, 1–26.
- Hamzaçebi, C. ve Kutay, F. (2003). Taguchi Metodu, Bir Uygulama. *Teknoloji Dergisi*, 6 (3-4), 7-17.
- İnternet: http://www.aktracon/enerji/hidrodinamikburgu/#NASILCALISIR_HDB.
Son Erişim Tarihi: 13.03.2022
- Kantert, P. J. (2011). *Praxishandbuch Schneckenpumpe, Ratgeber und Entscheidungshilfe für Planer, Bauherren und Betreiber*, Hirthammer, F.
- Kamal, K., Robin, T., Sunil, K. and Raj, K. (2020). *International Journal of Renewable Energy Research* Vol.10, No.3, 1451-1463
- Kleemann, J. and Hellmann, D. (2003). Gutachten zur Wirkungsgradbestimmung an einer Wasserkraftschnecke Fabrikat RITZ-ATRO. *Technische Universität Kaiserslautern–Fachbereich für Maschinenbau und Verfahrenstechnik*.
- Keskin, F. Ş. ve Yıldırım, S. T. (2016). Taguchi Metoduyla Deneysel Tasarım Kullanarak Yalıtımlı Harç için Perlit ve Taban Külü Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *El-CezeriJournal of Science and Engineering*, 3 (1).

- Koetsier, T. and Blauwendraat, H. The Archimedean Screw-Pump: A Note on Its *Invention and the Development of the Theory*. In International Symposium on History of Machines and Mechanisms; Springer, Dordrecht, The Netherlands, 2004; pp. 181–194.
- Lashofer, A., Hawle, W. and Pelikan, B. (2012). State of technology and design guidelines for the Archimedes screw turbine. *Proceedings of the Hydro*.
- Öktem, H. (2012). Optimum process conditions on shrinkage of an injected-molded part of DVD-ROM cover using Taguchi robust method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 61 (5-8), 519-528.
- Platonov, D., Minakov, A., Dekterev, D., Dekterev, A., Dekterev, A. A. and Lobasov, A. (2019). *Numerical study of the screw rotors for small scale hydropower*, Paper presented at the Journal of Physics, Conference Series.
- Peace, G.S. (1992). *Taguchi Methods, A Hands-On Approach*. Addison-Wesley Publishing Company, inc. ISBN 0-201-56311-8.
- Raza, A., Mian, M. S. and Saleem, Y. (2013). Modeling of archimedes turbine for low head hydro power plant in simulink MATLAB. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2 (7), 2471-2477.
- Rohmer, J., Knittel, D., Sturtzer, G., Flieller, D. and Renaud, J. (2016). Modeling and experimental results of an Archimedes screw turbine. *Renewable energy*, 94, 136-146.
- Saroinsong, T., Soenoko, R., Wahyudi, S. and Sasongko, M. N. (2016). Performance of three-bladed Archimedes screw turbine. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Science*, 11 (15), 9491-9495.
- Shahverdi, K., Loni, R., Maestre, J. and Najafi, G. (2021). CFD numerical simulation of Archimedes screw turbine with power output analysis. *Ocean Engineering*, 231, 108718.
- Saat, M. (2000). Kalite denetiminde Taguchi yaklaşımı. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2 (3).
- Soylak, M. (2000). Kalite Geliştirmede Deneysel Tasarım ve Taguchi Yöntemi. *Erciyes Üniv. Fen Bil. Ens. YL Tezi, Kayseri*.
- Simmons, S. and Lubitz, W. (2017). *Archimedes screw generators for sustainable energy development*. Paper presented at the 2017 IEEE Canada International Humanitarian Technology Conference (IHTC).
- Stergiopoulou, A. and Kalkani, E. (2013). Investigating the hydrodynamic behavior of innovative archimedean hydropower turbines. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, 17 (1), 87-96.

- Stergiopoulou, A. and Stergiopoulos, V. (2010). *The paradox of coastal cross flow in Cephalonia island*. Paper presented at the Proceedings of the 6th International Symposium on Environmental Hydraulics, Athens.
- Yoosef Doost, A. and Lubitz, W. D. (2020). Archimedes screw turbines: A sustainable development solution for green and renewable energy generation A review of potential and design procedures. *Sustainability*, 12 (18), 7352.
- Yoosef Doost, A. and Lubitz, W. D. (2021). Development of an Equation for the Volume of Flow Passing Through an Archimedes Screw Turbine. In *Sustaining Tomorrow* (pp. 17-37) Springer.



ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Büşra ÖZEL

Bilimsel Faaliyetler (Yayınlar, Bildiriler, Katıldığı Projeler):

1-) **Özel B**, Uğur L., Kurşun B. (2022). Arsimet Vidali Turbinlerde Verim Ve Hidrolik Güç Performansinin Taguchi Yöntemi İle Optimizasyonu. 9TH International Istanbul Scientific Research Congress MAY 14-15, 2022

Eğitim:

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Yozgat Bozok Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği	2018
Lise	Mustafa Hakan Güvençer Fen Lisesi (Ankara)	2012

İş Deneyimleri:

Yıl	Kurum	Görevi
2019-Halen	Amasya Belediyesi	Kontrol Mühendisliği
2018-2019	B.L.Harbert International	Kontrol Mühendisliği

Yabancı Dil:

İngilizce