

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



İSALE HATLARI ÜZERİNE MİKRO HES KURULARAK
ENERJİ ÜRETİMİ: BOLU İLİ ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BURAK KUDAL

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. NUSRET KARAKAYA

BOLU, MAYIS - 2022

KABUL VE ONAY SAYFASI

BURAK KUDAL tarafından hazırlanan “**İSALE HATLARI ÜZERİNE MİKRO HES KURULARAK ENERJİ ÜRETİMİ: BOLU İLİ ÖRNEĞİ**” adlı tez çalışması jürimiz tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir. 21/06/2022

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Nusret KARAKAYA
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye
Prof. Dr. Yalçın GÜNEŞ
Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

.....

Üye
Doç. Dr. Ahmet ÇELEBİ
Sakarya Üniversitesi

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. İbrahim KÜRTÜL
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim 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.

Teze ilişkin 03/08/2022 tarihinde Turnitin adlı intihal tespit programından enstitü müdürlüğünce belirlenen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan benzerlik raporuna göre, tezin benzerlik oranı % 13 olarak tespit edilmiştir.

.....
BURAK KUDAL

ÖZET

**İSALE HATLARI ÜZERİNE MİKRO HES KURULARAK ENERJİ
ÜRETİMİ: BOLU İLİ ÖRNEĞİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
BURAK KUDAL
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

(TEZ DANIŞMANI: Prof. Dr. NUSRET KARAKAYA)

**BOLU, MAYIS - 2022
XI + 53**

İnsanlık tarihi boyunca; siyasi, kültürel, askeri ve ekonomik alanlarda yaşanan gelişmeler insanlığı şekillendirmiştir. Günümüzde enerji alanındaki gelişmelerle bu süreç devam etmektedir. Yeşil enerjinin ve sürdürülebilir bir üretimin önem kazandığı günümüzde şüphesiz bu alanda yapılan, yapılmakta olan ve yapılacak olan çalışmaların tamamı dünyayı yeniden şekillendirecektir. Dijitalleşen dünyanın enerjiye bağımlılığı her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle; enerjinin aynı zamanda yaşam alanımız olan Dünyaya zarar vermeden, en verimli ve temiz şekilde üretimi insanlığın üstesinden gelmek için çaba sarf ettiği en önemli konulardan birisidir. Bu amaçla; bir noktadan bir başka noktaya su taşımak için kullanılan su isale hatlarında aynı zamanda enerji üretmek için de girişimler ve araştırmalar bulunmaktadır. Bu girişimlerden biri olarak; planlama çalışmaları devam eden Karadere Su Tüneli ile Bolu İçme Suyu Arıtma Tesisi arasında tesis edilecek olan su isale hattında enerji üretebilme olanakları bu tez kapsamında incelenmiştir. Bu amaçla gerekli veriler toplanmış, enerji üretimi için tribün tasarlanmış ve yapılan tasarımın ekonomik analiz yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde isale hattı üzerine 470 bin dolarlık ilk yatırım maliyeti ile inşa edilecek bir enerji tribünü aracılığıyla 366 ailenin yıllık elektrik ihtiyacının karşılanabileceği, yılda yaklaşık 740 ton karbon emisyonlarının engellenebileceği hesaplanmıştır.

ANAHTAR KELİMELE: Sürdürülebilirlik, Yeşil Enerji, Hidroelektrik Santral, HES Türbinleri, Mikro HES

ABSTRACT

ENERGY PRODUCTION WITH MICRO HEP ON WATER SUPPLY PIPELINE: BOLU CITY CASE

MSC THESIS

BURAK KUDAL

BOLU ABANT IZZET BAYSAL UNIVERSITY

INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

DEPARTMENT OF ENVIROMENTAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: Prof. Dr. NUSRET KARAKAYA)

BOLU, MAY 2022

XI +53

Throughout human history, developments in political, cultural, military and economic fields have shaped humanity. Today, this process continues with the developments in the field of energy. In today's world, where green energy and sustainable production gain importance, all the work done, being done and to be done in this field will reshape the world. The dependence of the digitalized world on energy is increasing day by day. The production of energy in the most efficient and cleanest way without harming the Earth, our living space, is one of the most important issues that humanity strives to overcome. For this purpose; There are also initiatives and researches to generate energy in water supply pipelines used to carry water from one point to another. As one of these initiatives, the possibilities of generating energy in the water supply pipeline to be established between the Karadere Water Tunnel and Bolu Drinking Water Treatment Plant are examined within the scope of this thesis. For this purpose, necessary data were collected, a tribune was designed for energy production and an economic analysis of the design was conducted. As a result of the analyses performed, it was estimated that the annual electricity needs of 366 families can be met, and approximately 740 tons of carbon emissions per year can be prevented through an energy tribune to be built on the transfer line with an initial investment cost of 470 thousand dollars.

KEYWORDS: Sustainability, Green Energy, Hydroelectric Power Plant, Hydroelectric Power Plant Turbine, Micro Hydroelectric Power Plant

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL VE ONAY SAYFASI	ii
ETİK BEYAN.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
TABLO LİSTESİ	viii
FOTOĞRAF LİSTESİ	ix
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	x
TEŞEKKÜR	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	7
2.1 Çalışma Prensibi ve Güçlü-Zayıf Yönleri	8
2.2 Türbin Çeşitleri	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM	18
3.1 Tasarım	26
3.2 Seçilen Tasarıma Ait Açıklamalar ve Kurulacak Tesisler.....	26
3.2.1 Kurulu Gücün Belirlenmesi ve İşletme Politikası	26
3.2.2 Mevcut Cebri Boru Hatları	28
3.2.3 Santral Binası ve Türbin Seçimi	28
3.2.4 Diğer Bileşenler	31
3.3 Boru İçi Türbin ile Tasarım	33
4. BULGULAR	35
4.1 Geleneksel Türbin.....	35
4.2 Boru İçi Türbin	40
5. TARTIŞMA	42
5.1 Geleneksel Türbinler	42
5.2 Boru İçi Türbin ile Geleneksel Türbin Karşılaştırması	47
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	49
7. KAYNAKLAR.....	52

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Hidroelektrik Enerji Üretimi Akım Şeması	4
Şekil 2.1. Su Değirmeni Çalışma Prensibi	7
Şekil 2.2. Tipik Mikro HES Genel Görünümü	10
Şekil 2.3. Helezonik Salyangoz Yapısı	12
Şekil 2.4. Banki Türbin Parçaları	14
Şekil 2.5. Banki Türbin Parçaları	15
Şekil 2.6. Pelton Türbin Parçaları	16
Şekil 2.7. Pelton Türbin Parçaları	16
Şekil 2.8. Kaplan Tipi Türbin Parçaları	17
Şekil 2.9. Francis Tipi Türbin Parçaları	17
Şekil 3.1. Bolu İçmesuyu Arıtma Tesisi Girişi HES Şematik Çizim	18
Şekil 3.2. Proje Genel Vaziyet Planı	19
Şekil 3.3. Proje Alanı Uygu Görüntüsü.	19
Şekil 3.4. 2007 TDY Sismik Haritası	20
Şekil 3.5. 2018 TDY Sismik Haritası	20
Şekil 3.6. Proje Alanı Öngörülen Deprem İvmesi	21
Şekil 3.7. Bolu İli Ortalama Yağış ve Sıcaklık Tablosu	22
Şekil 3.8. Proje Alanı Meteoroloji İstasyonları Haritası	23
Şekil 3.9. Aylık ve Yıllık Bazda AGİ Verileri Grafiği	24
Şekil 3.10. Aylık ve Yıllık Bazda Proje Alanı AGİ Verileri Grafiği	25
Şekil 3.11. Karadere Regülatörü Debi-Süreklilik Grafiği	27
Şekil 3.12. Santral Binası Krokisi	29
Şekil 3.13. Türbin Seçim Grafiği	30
Şekil 3.14. Cross-Flow Türbin Şeması	31
Şekil 5.1. Türbin Tipleri İçin Debi-Düşü Grafiği	47
Şekil 5.2. Türbin Tipleri İçin Özgül Hız-Düşü Grafiği.	48

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1. Dünyada Hidroelektrik Enerji Potansiyeli.	3
Tablo 3.1. Aylık ve Yıllık Bazda AGİ Verileri Tablosu.	24
Tablo 3.2. Aylık ve Yıllık Bazda Proje Alanı AGİ Verileri Tablosu.....	25
Tablo 3.3. Boru İçerisinde Tasarım Sonuçları.....	34
Tablo 4.1. Tasarlanan Tesisin Özellikleri Tablosu.....	35
Tablo 4.2. Keşif Özeti.	36
Tablo 4.3. DSİ Birim Fiyatları İle İşletme ve Bakım Giderleri.	38
Tablo 4.4. Piyasa Fiyatları İle İşletme ve Bakım Giderleri.....	39

FOTOĞRAF LİSTESİ

Sayfa

Fotoğraf 3.1. Karadere Su İletim Tüneli Çıkış Ağızı.....	32
Fotoğraf 3.2. Karadere Su İletim Hattı Regülatörü Mansap	32
Fotoğraf 3.3. Karadere Su İletim Hattı Regülatörü Memba	33



KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

HES	: Hidroelektrik Santral
TDY	: Türkiye Deprem Yönetmeliği
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
DSİ	: Devlet Su İşleri
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
BKZ	: Bakınız
AGİ	: Araştırma Gözlem İstasyonu

TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanması sürecinde verileri elde etmeme kaynak sağlayan kurumlardan Devlet Su İşleri'ne, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ve T.C. Bolu Belediyesi'ne katkılarından dolayı teşekkür ederim. Ayrıca, bu süreçte çalışmama yön veren Prof. Dr. Nusret KARAKAYA'ya yardımlarından ve tezin amacına ulaşmasında mentorluğundan dolayı teşekkür ederim. Tezin yazımı sırasında ülkemizde bu alanda çalışma yapan ve yapmakta olan bütün araştırmacı, mühendis, girişimci, akademisyen ve sayamadığım bütün emekçilere çalışmalarından dolayı şükranlarımı sunarım. Bu alanda verilen emekler ile geleceğin inşasına ve insanlığın bir sonra ki aşamaya geçmesine katkı sağlayan büyük veya küçük bütün girişimleri saygı ile selamlarım. Son olarak bu süreçte yanımda olan ve benim bu çalışmaya zaman ayırmamı mümkün kılan sevgili eşim Fatma Beyza KUDAL'a sonsuz teşekkürler.

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi boyunca insanın doğa ile olan mücadelesi sürmekle beraber bu mücadele içinde insanlık bir çok yıkım, felaket, kıtlık gibi olgularla mücadele etmiş ve neticesinde hastalık, göç, açlık gibi sonuçlar ile karşılaşmıştır. M.S 350-800 yılları arasında yaşanan Kavimler Göçü gibi bir insan hareketi günümüz de de yaşanmaktadır. İnsanlık, yaşama güdüsünün etkisi ile seçimlerini bilinçaltında gerçekleştirmekte ve yaşamak için ne gerekliyse onu yapmak için hareket etmektedir. Geçmişte açlık ve kıtlık ile verilen mücadeleler sonucunda insanlar toplu yer değiştirmeler yapmıştır. Günümüzde ise temelde yine aynı sebepler ile hareket etmekle beraber, bu nedenlerin oluşmasına sebep olan küresel iklim değişikliği ve sonucunda kuraklık, susuzluk, kıtlık ile insanlık her gün yüzleşmektedir.

Hızla artan dünya nüfusu ile birlikte, bu nüfusun ihtiyaçları da artmaktadır. İnsan nüfusunun artması ile birlikte daha fazla üretim ihtiyacı doğmaktadır. Günümüzde üretim enerjiye doğrudan bağlıdır. Kısacası insan miktarının artması, üretime olan talebi arttırmakta, bunun neticesinde de enerji ihtiyacını ve dolayısı ile enerji tüketimini arttırmaktadır. Enerji ihtiyacımızın çoğunu karbon kaynaklı maddelerden elde etmekteyiz. Bunun neticesinde içinde bulunduğumuz küre günden güne ısınmakta ve bunun sonucu olarak da iklim değişikliği, kıtlık, kuraklık olmaktadır.

İklim değişikliğinin önlenmesi yada durdurulması için öncelikle iklim değişikliğine sebep olan karbon kaynaklı yakıtların kullanımının azaltılması yada tamamen bırakılması herkes tarafından bilinen bir gerçektir. Bu amaç için ulusal ve uluslararası kuruluşlarca tedbirler alınmakta, eylem planları yapılmakta ve insanlık için yeni bir yol haritası oluşturulmaya çalışılmaktadır. Avrupa Birliği tarafından “Ufuk 2020 Programı Yeşil Mutakabat (Green New Deal)” çağrısı yaparak 10 alanda 20 konu başlığını destekleyeceğini açıklayarak 2050 yılına kadar Avrupa Kıtasını iklim nötr hale getirmeyi hedeflemektedir. Ülkemizde Paris İklim Anlaşmasını onaylayarak iklim krizi için gerekenleri yapmak üzere 197 ülke ile birlikte ortak hareket edeceğini bildirmiştir.

İhtiyaçlar ve yapılması gerekenler kümelerinin kesişiminde bulunan ve söz konusu kriz ile mücadele edilmesini sağlayacak olan en önemli araç yeşil enerji konsepti olarak göze çarpmaktadır. Yeşil enerji diğer bir deyişle yenilenebilir enerji karbon emisyonunun olmadığı ve kaynağı itibarıyla tükenmeyen, kendini sürekli olarak yenileyen enerji türlerinin tamamına verilen isimdir.

Sürdürülebilir enerji kaynakları güneş, rüzgar, su, gel-git, dalga gibi doğal kaynaklar ile bu kaynakların ürettiği enerjinin depolanması, aktarılması veya yönlendirilmesi için gerekli ekipman ile enerjinin insanlığın hizmetine sunulması faaliyetlerinin tamamıdır. Ülkemizde ve dünya da günden güne temiz enerji yatırımları artmakta ve söz konusu enerji kaynakları ile yeni teknolojilerin birlikte çalıştırılması sonucu enerji üretimi sağlanmaktadır.

Ülkemizin yeşil enerji üretimi ile ilgili durumu;

“Türkiye’nin Ağustos sonu itibarıyla 52 bin 353 MW kapasiteye ulaşan yenilenebilir enerji sektöründe yatırımların ekonomik büyüklüğü 66 milyar doları buldu.

Türkiye Elektrik İletim AŞ (TEİAŞ) verilerine göre, Türkiye’nin elektrik kurulu gücü ağustos sonu itibarıyla 98 bin 493 MW’a, toplam elektrik üretim santrali sayısı ise 10 bin 101’e ulaştı.

Bu kapasitenin 31 bin 441 MW’ını hidroelektrik, 10 bin 14 MW’ını rüzgâr enerjisi, 7 bin 435 MW’ını güneş enerjisi ve 1650 MW’ını jeotermal enerji santralleri oluşturdu. Biyokütle (atık ısı dâhil) santrallerinin kapasitesi ise Ağustos sonu itibarıyla 1813 MW oldu.

Böylece, elektrik kurulu gücünün yüzde 32’sini hidroelektrik, yüzde 10,2’sini rüzgâr enerjisi, yüzde 7,5’ini güneş enerjisi, yüzde 1,7’sini jeotermal ve yüzde 1,8’ini biyokütle santralleri oluşturdu.”[1]

Olarak özetlenebilir. Söz konusu veriler incelendiğinde ülkemizde temiz enerjinin en önemli bölümünün hidroelektrik kaynakları ile elde edildiği görülmektedir.

Dünyada hidroelektrik enerji potansiyelinin durumu DSI verilerine göre Tablo 1.1’de [2] görülmektedir.

Tablo 1.1. Dünyada Hidroelektrik Enerji Potansiyeli [2]

Bölge	Brüt Hidroelektrik Enerji Potansiyeli (GWh/yıl)	Teknik Hidroelektrik Enerji Potansiyeli (GWh/yıl)	Teknik ve Ekonomik Hidroelektrik Enerji Potansiyeli (GWh/yıl)
Afrika	4000000,00	1665000,00	1000000,00
Asya	19000000,00	6800000,00	3600000,00
Avustralya/ Okyanusya	600000,00	270000,00	105000,00
Avrupa	3150000,00	1225000,00	800000,00
Kuzey ve Orta Amerika	6000000,00	1500000,00	1100000,00
Güney Amerika	7400000,00	2600000,00	2300000,00
Dünya	40150000,00	14060000,00	8905000,00
Türkiye	433000,00	216000,00	127820,00
Türkiye/Dünya (%)	1,07	1,54	1,84

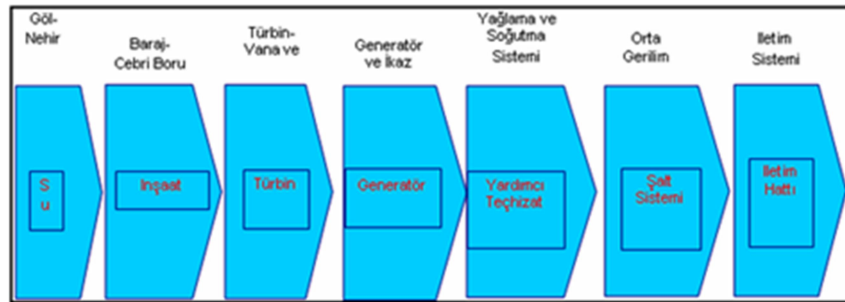
Yine DSI verilerine göre oluşturulan tablo incelendiğinde Dünyanın yaklaşık yüzde 1’lik hidroelektrik enerji potansiyesiyle ülkemizde bulunmaktadır. Bu oran küçük gibi görülsede, karşılığı olan enerji miktarı ile birlikte değerlendirildiğinde ülkemizin hidroelektrik enerji potansiyeli açısından oldukça zengin bir ülke olduğu görülmektedir. Hidroelektrik potansiyelin bileşenlerinden biri olan su kaynakları potansiyeli ülkemizde;

“Türkiye’nin yağış rejimi, mevsimlere ve bölgelere göre büyük farklılıklar göstermektedir. Türkiye’de yıllık ortalama yağış 643 mm olup, bu miktar yılda ortalama 501 milyar m³ suya karşılık gelmektedir. Bu suyun 274 milyar m³’ü toprak ve su yüzeyleri ile bitkilerden olan buharlaşmalar yoluyla atmosfere geri dönmekte, 69 milyar m³’lük kısmı sızmalarla yer altı suyunu beslemekte, 158 milyar m³’lük kısmı ise akışa geçerek çeşitli büyüklükteki akarsular vasıtasıyla denizlere ve kapalı havzalardaki göllere boşalmaktadır. Yer altı suyunu besleyen 69 milyar m³’lük suyun 28 milyar m³’ü pınarlar vasıtasıyla yerüstü suyuna tekrar katılmaktadır. Ayrıca komşu ülkelerden ülkemize gelen yılda ortalama 7 milyar m³ su bulunmaktadır. Böylece ülkemizin brüt yerüstü su potansiyeli 193 milyar m³ olmaktadır. Sızmalarla yer altı suyunu besleyen 41 milyar m³ su dikkate alındığında, ülkemizin toplam yenilenebilir su

potansiyeli brüt 234 milyar m^3 olarak hesaplanmış bulunmaktadır. Teknik ve ekonomik manada tüketilebilecek yüzey ve yer altı suyu miktarının 110 milyar m^3 olduğu belirlenmiştir. Bu miktarın 95 milyar m^3 'ünün yurt içinden doğan akarsulardan, 3 milyar m^3 'ünün yurt dışından ülkemize ulaşan akarsulardan, 12 milyar m^3 'ünün ise yer altı suyundan sağlanabileceği kabul edilmiştir.”[2]

Olarak özetlenmektedir. Toplam su potansiyeli içinde bu suyun ne kadarının hidroelektrik potansiyel arz ettiği hususu incelendiğinde “Ülkemizdeki 26 adet hidrolojik havzasında bulunan irili ufaklı çok sayıdaki nehrin yıllık ortalama akımları toplamı olan 193 (186 + 7) milyar m^3 yüzey suyunun hidroelektrik enerji potansiyelinin belirlenmesinde “teorik potansiyel”, “teknik yapılabilir potansiyel” ve “ekonomik yapılabilir potansiyel” olmak üzere üç farklı şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.”[3]

Hidroelektrik enerji temel olarak akarsu tipi, depo tipi, gel-git tipi, depresiyon tipi santraller ile üretilmektedir. Mevcut santral tipleri farklı mühendislik yorumları ile temelde aynı prensip üzerine farklı ekipman ile farklı sistemler ile üretilmektedir. Hidroelektrik santrallerde enerjinin üretimi suyun yüksekten alçak noktaya akması ve bu akış sırasında düşü farkından kaynaklanan potansiyeli türbinler vasıtasıyla kinetik hale dönüştürmesi ile enerjinin türbinlerden transformatörler ve sonrasında enerjiyi depolama yapısı ile birlikte çalışması prensibine dayanmaktadır. Enerji üretimi basit şekilde Şekil 1.1’de [4] şematik halde görülmektedir.



Şekil 1.1. Hidroelektrik Enerji Üretimi Akım Şeması [4]

Hidroelektrik santral (HES) teknolojisi ülkemizin bulunduğu coğrafya için yeni bir konu değildir. Özellikle HES yapılarının büyük çaplı olanlarında kullanılan suyu toplama yapıları, diğer bir deyişle barajlar, yüzyıllardır ülkemizde

tarım veya içme amaçlı su depolamak için kullanılmaktadır. Anadolu'da ilk baraj Hititler tarafından M.Ö.1300 yılında inşa edilmiştir. M.Ö.1000 yılında Urartular tarafından Van İlinde yapılmış olan 2 adet hidrolik yapı olmakla beraber, bu yapıların bazı bölümleri günümüzde kullanılmaya devam edilmektedir. Osmanlı İmparatorluğu zamanında da İstanbulun kullanma suyunu depolamak amaçlı su kemerleri inşa edilmiştir. Cumhuriyet döneminin ilk barajı Çubuk-1 barajıdır. Bu baraj 1930-36 yılları arasında yapılarak Ankara İli'nin su teminini sağlamıştır. 2.Dünya Savaşına kadar baraj yapımı ile ilgili ciddi girişimler gözlemlenmemiştir [2].

İlk hidroelektrik üretim 1902 yılında Tarsus'ta yapılmıştır. Tarsus'ta kurulan bu yapı küçük ölçekli olmakla beraber, ilk büyük ölçekli santral 1913 yılında İstanbul da inşa edilmiştir. 1933 yılında ilk elektrik ve aydınlatma şebekesi hidroelektrik ile çalışan system Ödemiş'te kurulmuştur. Cumhuriyetin ilk yıllarında kurulu güç kapasitesi 29,66MW ve bu kurulu güce bağlı üretim 45GWh seviyesinde bulunmaktaydı. 1950 yıllarında ise kurulu kapasite 408MW'a ulaşmış ve 18MW kapasiteli hidroelektrik kurulu gücü olan tesis oranı %4,4 olarak tespit edilmiş idi. DSİ'nin kurulmasının ardından bu oran %34 seviyelerine yükselmiştir [2].

2000'li yılların başlarında yapılan kanuni düzenlemeler ve yenilenebilir enerji teşvikleriyle lisanssız olarak mini ve mikro HES'lerin yapımları ülkemizde hız kazanmıştır. [2]

Türkiye de baraj çıkışı su isale hatları üzerine HES kurulumu ilk olarak Sakarya Büyükşehir Belediyesi tarafından yapılmıştır. Amasya Belediyesi tarafından da bu alanda yapılan HES mevcuttur. Türkiye de yerel yönetimler eli ile bir çok ilde bu alanda çalışmalar sürdürülmektedir.

Toplam kurulu gücü 10MW altında olan, bir veya birden fazla türbin ve jeneratör içeren sistemlere küçük santral tanımlaması yapılmaktadır. Ülkemizde Birleşmiş Milletler Endüstriyi Geliştirme Organizasyonu (United Nations Industrial Development Organization, UNIDO) tarafından yapılmış olan sınıflandırma sistemi kabul görmektedir. Bu sınıflandırmaya göre 1001-10000 KW güçleri arasında olanlar küçük, 101-1000 KW güçleri arasında olanlar mini, 100 KW gücü altında olanlar mikro HES olarak kabul edilmektedir [2].

Ülkemizde genel olarak geleneksel tip türbin uygulamaları oldukça yaygın olmakla beraber, tez içinde irdelenecek ve incelenecek olan boru içi türbinler çok yaygınlaşmamıştır. Bursa İlinde BUSKİ HES projesi boru içi türbin uygulamasına örnektir [10].

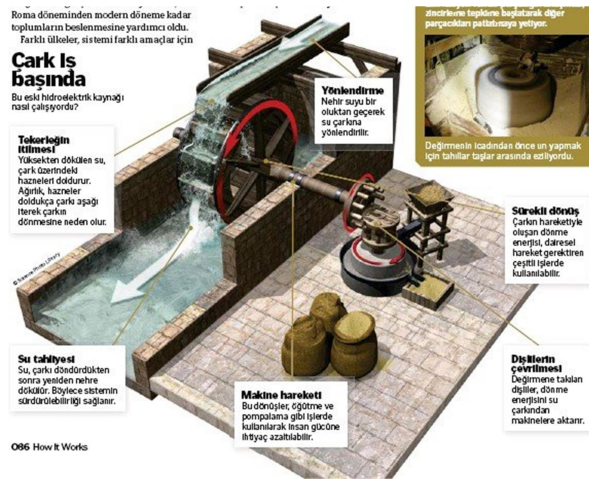
Bu tez ile Bolu İlinde kurulması planlanan HES yapısının teknik ve mali analizleri ortaya koyulacak ve geleneksel tip türbinler ile boru içi türbinlerin verimlilikleri ve yatırım maliyetleri karşılaştırılarak hangisinin daha iyi bir çözüm sunduğu tartışılacaktır. Sonucunda ise mevcut durumu ile ilgili öneriler ve tespitlerde bulunulacaktır.



2. GENEL BİLGİLER

HES'ler gerek yapım sürecinin uzun olması, gerek maliyetinin yüksek olması ve gerekse yapılacağı alanda gerekli su gücünün ciddi miktarlarda olması sebebi ile her kurum, kuruluş ya da kişilerce kolayca yapılamamaktadır. Günümüzde bu sebeplerden dolayı mikro ya da küçük HES'lere yönelim günden güne artmaktadır. Bu artış trendinin sebepleri arasında, enerji ihtiyacının artması ve yenilenebilir enerjinin her geçen gün daha önem kazanmasının haricinde yapılabilirliğinin günden güne teknolojinin ilerlemesi ile kolaylaşması ve aynı şekilde teknolojik imkanlarının artması ile daha verimli türbin ya da sistemlerin ortaya çıkmasına da bağlıdır. Küçük ve mikro HES'ler ile özellikle zaten mevcutta belli bir enerji ile akan su hatları üzerinde kurularak mevcutta var oluş amacı suyu sadece iletmek olan sistemlere ek bir özellik katarak elimizde ki mevcut sistemleri daha faydalı hale getirmesi sebebi ile oldukça tercih edilebilir duruma getirmektedir.

Dünya da ve ülkemiz de kurulan ve mikro HES mantığı ile çalışan ilk yapılar su değirmenleridir. Akarsu üzerine kurulan ve akan suyun enerjisi ile çarkını döndürerek buğdayı öğütürerek un haline dönüştüren bu yapılar yüz yıllarca insanlar tarafından kullanılmıştır. Çalışma prensibi Şekil 2.1'de sunulmuştur.



Şekil 2.1. Su Değirmeni Çalışma Prensibi [5]

Özellikle sanayi devriminden sonra enerjiye duyulan ihtiyacın artması ile HES'lere ilgi artmış ve neticesinden buğday öğütme amacı ile kullanımı başlayan türbinlerin elektrik üretmeye uzanan evrim süreci hızlanmıştır. Dünyada mikro HES kurulu gücü bakımında ilk 5 ülke 2008 yılının sonunda ISES(international

sun energy society) tarafından yayınlanmış olan “Yenilenebilir Enerji Durum Raporu”na göre Çin, Japonya, ABD, Brezilya, İtalya’dır [6].

Toplam hidroelektrik enerji potansiyelinin yaklaşık %10 kadarının mikro HES’ler tarafından üretilebileceği ön görülmektedir. Ülkemizde mikro HES yatırımları hakkında net bir bilgi bulunmamakla beraber TEMSAN A.Ş. tarafından yaklaşık 20 adet ülkenin farklı yerlerinde yapılarak teslim edilmiştir. Özel girişimler ve belediyelerce de mikro HES yatırımları devam etmektedir. Türkiye Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından “ Doğu Karadeniz Bölgesi Mikro HES Projesi” hazırlanarak toplamda 118 adet santralin yapımı planlanmıştır [7].

2.1 Çalışma Prensibi ve Güçlü-Zayıf Yönleri

Çalışma prensibi HES’ler ile aynı temel hususlara dayanmaktadır. Suyun kaynak ile türbin arasındaki düşü farkının potansiyelinin neticesinde türbinün dönmesi ve türbinle beraber sistemi oluşturan diğer elemanların çalışması ile elektrik enerjisi üretilmektedir. Formül ile ifade etmek gerekirse;

$$P = e \times h \times Q \times g \text{ (denklem 1)}$$

$$P = \text{Elektrik gücü değeri(kW),}$$

$$e = \text{Elektrik verimlilik aralığı (0.75-0.88) veya (\% 75-\%88),}$$

$$h = \text{Net düşü(metre)}$$

$$Q = \text{Dizayn debisi(m}^3\text{/sn),}$$

$$g = \text{Yerçekimi ivmesi(9.81m/s}^2\text{)}$$

Olarak matematikleştirilmektedir. Formülün bileşenleri incelendiğinde verimlilik, net düşü, tasarım debisi teknik olarak tasarımı yapan tarafından kontrol edilebilir parametrelerdir. Verimlilik, sistemin türbin teknolojisi, türbin çeşidi, sistem içinde bulunan iletkenlerden kaynaklı kayıplar, suyun düşü sırasında boru içinde bulunan sürtünmeden kaynaklı enerji kaybına bağlı olarak %75 ile %88 arasında bir değere ulaşmaktadır. Teknolojinin ilerlemesi ile tekniğin imkanları bu verimliliği daha yüksek mertebelere çıkartacaktır.

Net düşü tamamen coğrafyaya bağlı olmaktadır. Bundan dolayı tesisin kurulacağı yerin seçimi büyük önem arz etmektedir.

Dizayn debisi sisteme girecek suyun miktarı ve suyun içinden geçmiş olduğu borunun kesit alanı ile kontrol edilmektedir. Debi miktarı özellikle türbin seçimi açısından çok önemlidir. Debinin miktarının işletme sırasında sabit ya da belirli aralıklar ile artması ve azalması durumu iyi analiz edilmelidir. Buna bağlı olarak tasarım debisi ya da debilerine göre sisteme ait olan boru, türbin gibi bileşenler dizayna yerleştirilmelidir. Debiyi önemli ölçüde kontrol eden bir diğer faktörde bölgenin yağış rejimidir. Yapılacak olan bölgenin yağış rejimi yıllık olarak raporlanarak, mevsimsel ve toplam su miktarı ön görülebilmektedir. Tabi burada yapılacak olan sistemde suyun direk kaynaktan gelmesi veya suyun öncelikle bir rezervuarda toplanması ve sonrasında türbinlere iletilmesi debinin değişkenliğini ya da sabitliğini belirlemektedir.

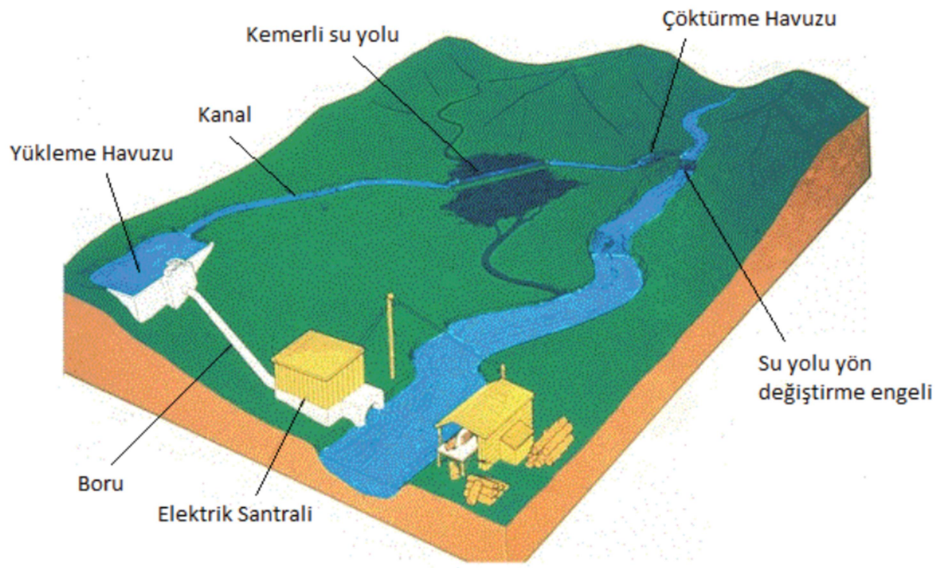
Mikro HES yapılarının temel bileşenleri [7];

- 1- Çökeltim havuzu, su kanalı, yükleme havuzu, cebri boru, santral odası gibi inşaat yapıları
- 2- Giriş vanası ve türbin
- 3- Uyarı sistemi ve Jeneratör
- 4- Kontrol, kumanda, ölçme sistemi, trafolar gibi elektrik sistemleri

olarak listelenebilmektedir. Daha detaylı bir sistem tanımlaması ile bileşenleri daha açık şekilde anlamak gerekirse;

- 1- Yükleme havuzu
- 2- Cebri boru
- 3- Kelebek vana
- 4- Türbin (Uskur, Kaplan, Pelton, Francis, Banki)
 - a. Salyangoz
 - b. Ayar kanatları
- 5- Jeneratör
 - a. Rotor
 - b. Stator
- 6- Emme Borusu
- 7- Hız kontrol ünitesi
 - a. Bağlantı sistemi
 - b. Governör

- 8- Kontrol kumanda sistemi
 - a. Besleme panosu
 - b. Uyarı panosu
 - c. İkincil uyarı panosu
- 9- Santral binası
- 10- Kuvvet tüneli
- 11- Güç trafosu, şalteri ve kesicisi
- 12- Enerji iletim hattı



Şekil 2.2. Tipik Mikro HES Genel Görünümü [7]

Mikro HES'lerin de her sistem gibi güçlü ve zayıf yönleri bulunmaktadır. Güçlü yada avantajlı olduğu en önemli husus enerjinin yenilenebilir ve tamamen yeşil enerji olmasıdır. Bunun haricinde, kırsalda enerji ihtiyaçlarını gidermek açısından çok kolay bir yöntemdir. Kırsal alanlara enerjiyi nakil etmek büyük maliyetler ortaya çıkarmaktadır. Mikro HES'ler ile bu iletim maliyeti ortadan kaldırılmakla beraber iletim sırasında oluşan enerji kayıpları da minimize edilmektedir. Bakım ve işletme maliyeti HES'lere göre çok ucuzdur. Özellikle su isale hatları gibi sistemlerin üzerine kurulması durumunda mevcutta sistemden akmakta olan suyun enerjisinin ziyan olmasını engellemekte ve insana katmaktadır. Yine aynı şekilde isale hatlarının üstüne kurularak hatta bulunan suyun enerjisinin türbinler vasıtasıyla sönmülmesi sonucunda isale hattından arıtma tesisine veya dağıtım tesisine giren suyun giriş yapısında zaman içinde oluşturacağı hasarlar suyun enerjisi sönmüldüğünden dolayı azalmakta ve

böylece ikincil bir fayda ile işletme maliyetini azaltmaktadır. Mikro HES'lerin yaygınlaşması ile elektrik maliyetleri düşecek ve böylece ısınma için daha çok elektrik tercih edilmesi ile özellikle kırsal alanda odun veya kömür gibi fosil yakıtların tüketilmesi azalacaktır, böylece ormanlar ve çevre daha iyi korunmuş olacaktır.

Zayıf veya dezavantajlı olduğu yönleri ise özellikle inşaat aşamasında çevreye verilen zarardan kaynaklanmaktadır. İnşaat maliyetlerini azaltmak amacı ile çevreye zararlar verilmektedir, çevreye verilen zararın minimuma indirilmesi için çevre etki analizleri yapılarak inşaat aşamasının çok iyi planlanması gerekmektedir. Özellikle akarsu üzerine kurulan tesislerde akarsu yatağının değiştirilmesi canlı yaşama büyük zararlar vermektedir. Bundan dolayı akarsu yataklarında bulunan suyun tamamı sisteme alınmadan mevcutta bulunan akarsu içi ekosistem dengesinin korunması gerekmektedir.

MikroHES sistemini değerlendirirken türbin yapısının sistemin hangi bölgesinde ne şekilde konumlandırıldığı da değerlendirme açısından önem kazanmaktadır. Sistemde türbin ayrı bir santral binasında suyun bypass edilmesi yöntemi ile türbinden geçirilebilir ya da direk boru hattı içine konumlandırılarak sistemde bulunan enerji direk alınabilir. İki yönteminde kendine göre güçlü ve zayıf yönlerini ayrıca değerlendirmek gerekmektedir. Türbinden bypass edilen sistemlerde, suyun debisinin değişkenliği türbinin minimumlarına ve maksimumlarına uyduğu sürece ayar kanatları ve yapımı karmaşık olan salyangoz vasıtasıyla elektrik üretimi için gerekli su debi optimizasyonu sağlanabilir ve türbin verimli şekilde çalıştırılabilir. Her ne kadar salyangoz yapısı (Bkz: Şekil 2.3) [8] ve ayar kanatları sistemde ki debiyi optimize etmeye yarasa da, her debide akışı eşit şekilde ayarlayamamaktadır. Boru içi türbin tiplerinde akışkan debisinin tamamı direk sistemden geçmektedir. Bundan dolayı daha geniş debi aralıklarında verimli sonuçlar vermesi mümkündür. Bu amaç ile salyangoz yapısı sistemden çıkartılarak debinin tamamının eşit koşullarda boru içinde çarka girmesi hedeflenmektedir. Bu noktada anlatılanların daha iyi anlaşılabilmesi için salyangoz yapısının daha detaylı açıklanması gerekmektedir. Salyangoz yapısının hidrolik kayıpları minimize ederek düzgün ve eşit şekilde türbin kanatlarına iletmelidir. Hidrolik kayıpların az olması için hidrolik tasarımına ve saha da tasarıma uygun şekilde montajının gerçekleştirilmesine dikkat edilmelidir. Helezonik ve direk akışlı olmak üzere iki tip salyangoz yapısı bulunmaktadır.

Salyangoz yapıları betonarme veya çelik olarak imal edilebilmektedir. Türbinlerin en büyük parçaları salyangozlardır, bu sebeple imal edilmesi, nakledilmesi ve montajı ciddi miktarda vakit ve yatırım maliyeti oluşturmaktadır. Montajı uygun şekilde gerçekleştirilmeyen salyangoz yapısının neticesinde ciddi hidrolik kayıplar oluşturmaktadır. Akışkanın eşit şekilde türbin çarklarına dağıtılamaması sebebi ile akışkanın fazla iletildiği kanatlarda yüksek hızdan kaynaklı bölgesel negatif basınçlar oluşmakta ve bu da kavitasyona sebep vermektedir. Kaviteasyon sonucunda sistemde oluşacak hasarların bakımı oldukça maliyetli olmakla beraber, bu süreçte sistemin çalışmamasından kaynaklı olarak üretimde kayıp oluşmaktadır. Dengeli bir akış sağlanmadığından türbin yataklarına tasarımın üstünde bir kuvvet yüklenmekte, buda yataklara zarar vermekte yada kullanım ömrünü azaltmaktadır. Ayrıca, dengesiz şekilde yüklenen türbin çarklarında zaman içinde titreşim oluşmaktadır, bu da enerji üretim verimini ciddi şekilde düşürmektedir. Bütün bu sebeplerden dolayı salyangoz yapısının tasarım, üretim ve sahada montajı ciddi bir çalışma gerektirmektedir.



Şekil 2.3. Helezonik Salyangoz Yapısı [8]

Güçlü ve zayıf yönleri birlikte değerlendirildiğinde mikro HES'lerin tasarım ve projelendirme sürecinin çok farklı açılardan ele alınması ve çevreye etkisi en az olan ayrıca en verimli sistemlerin kurulması gerekmektedir. Sistemin çok yüksek verimle çalışması tasarım sürecinde yeterli gibi görünse de işletme aşamasında çevreye olumsuz etkilerinin verimliliğinin önüne geçmemesine dikkat edilmelidir.

2.2 Türbin Çeşitleri

HES'lerin en önemli ekipmanı olan türbinler suyun akış enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmeye yarayan ana ekipmandır. Türbin, kendisine bağlı olan bir mili çevirir, mil ise bağlı olduğu alternatörün rotorunu çevirir, bu döngü ile elektrik enerjisi üretilir. Suyun debisine ve düşüye göre türbinler farklı çeşitlerde üretilir.

Türbinler prensip olarak itici kuvvet etkili (impulse) ve reaksiyon etkili(aksi tesir) olmak üzere iki ana başlık altında toplanmaktadır [7].

İtici kuvvet etkili türbinler prensip olarak yüksek düşü ve düşük debili sistemlerde tercih edilmektedir. Türbin suyun hızından yararlanarak çarkında bulunan kovalara suyun dolması ile dönmektedir. Pelton ve Banki (Cross-Flow) türbinler bu tipin temsilcileridir [7].

Reaksiyon etkili türbinler suyun hareketinde kaynaklanan basınç ile türbinin dönmesi prensibi ile çalışmaktadır. Düşük düşü ve yüksek debili sistemlerde daha verimli çalışmaktadır. Bu tip türbinlerin temsilcileri Francis ve Kaplan tipi türbinlerdir [7].

Cross-Flow(Banki) tipi türbinler iki ana parçadan oluşmaktadır. Bu parçalar su püskürtme ağız ve türbin çarkıdır. Ayar kanatları aracılığı ile suyun debisi ayarlanabilmektedir. Sisteme giren su çarkları iki noktada keser, böylece çark kanatlarına çarpan su ikinci defa çark kanatlarına çarparak kuyruğa gider. Diğer türbin tiplerine göre daha kararlı bir yük eğrisi bulunmaktadır. Banki tipi türbin parçaları Şekil 2.5'de görülmektedir [7].

Pelton tipi türbinler suyun düşü miktarının çok olduğu yerlerde kullanılmaktadır. İğne ve saptırıcı sistemi ile suyun debisini ayarlamaktadır. Türbinin dönmelerini sağlayan kepçeleri özel olarak imal edilmektedir. Özgül hızı en düşük olan türbin çeşididir. Şekil 2.6 ve Şekil 2.7'de türbine ait parçalar görülmektedir [7].

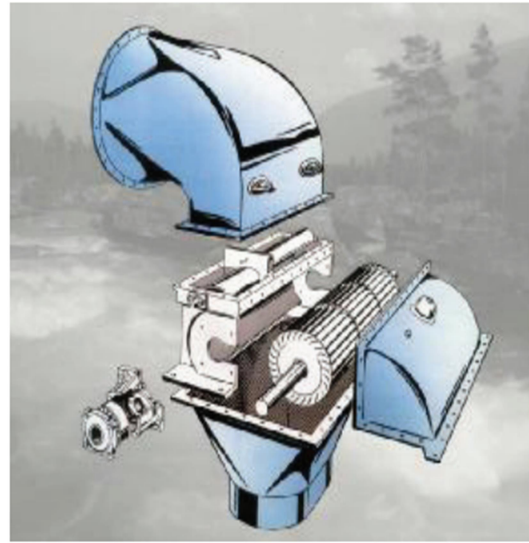
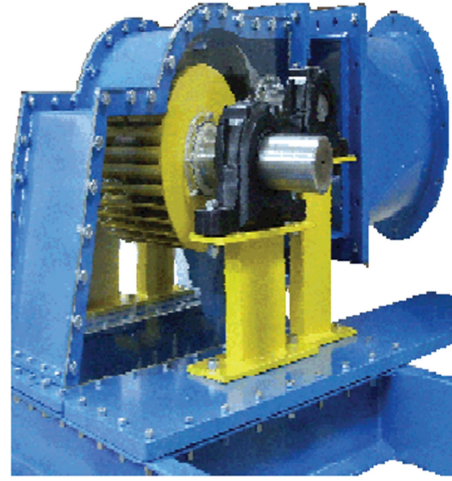
Kaplan tipi türbinlerde net düşü etkisinin debiye göre daha az olduğu sistemlerde tercih edilir. Kanatları ile su miktarı ayarlanabilir, ayrıca kanatları sabit olan tipi(Uskur Türbin) mevcuttur. Yatay ve düşey eksenli olarak imal edilebilmektedir. Diğer türbinlere göre yapım maliyeti yüksektir. Şekil 2.8'de parçaları görülmektedir [7].

Francis tipi türbinlerde suyun girişı ile çıkışı arasındaki hız farkından yararlanarak enerji üretimi gerçekleşir. Ayar kanatları bulunmaktadır. Verimliliği yüksek tipte bir türbindir. Düşey veya yatay eksenli olarak kullanılabilir. Şekil 2.9’da türbine ait parçalar görülmektedir [7].

En yaygın şekilde kullanılan türbin tipi Francis tipi türbinlerdir fakat türbine ait salyangoz yapısının açıklanan sebeplerden dolayı ortaya çıkarmakta olduğu sorunlardan dolayı kullanıcılar problemler yaşamaktadır. Bu problemi azaltmak amacı ile sistemden salyangoz yapısı çıkartılarak boru içi türbin haline dönüştürölme çalışmaları yapılmıştır. Silindirik boru içerisinde türbin tasarımı (Bkz: Şekil 2.4 [9]), salyangoz kullanılmadığı için tasarımı basite indirgenmiş bir yapıdadır [9]. Salyangoz yapısının sistemden çıkartılması ve türbine ait bileşenlerin çoğunun boru içine montajının yapılmasından dolayı santral binasının küçölmesine sebep olmaktadır. Ayrıca, jeneratöre dönme enerjisini aktaran şaft direkt olarak jeneratöre bağlandığından dolayı, bu arada oluşabilecek enerji kayıplarının önüne geçilmektedir. Parça sayısının azalması, bakım ve onarım maliyetlerini işletme sürecinde azaltmaktadır. Tanaka Hydropower, boru içerisinde türbin tasarımını küçük ölçekli hidroelektrik santraller için uygulamaktadır [9]. Tanaka Hydropower’ın boru içerisinde türbin uygulamalarını 80 m düşü ve 0,5 m³/s debi değerlerine kadar gerçekleştirmektedir [9].



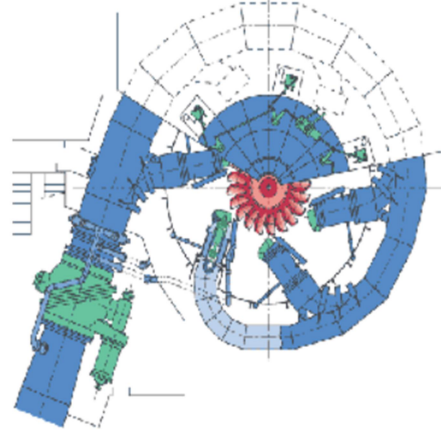
Şekil 2.4. Boru İçi Türbin [9]



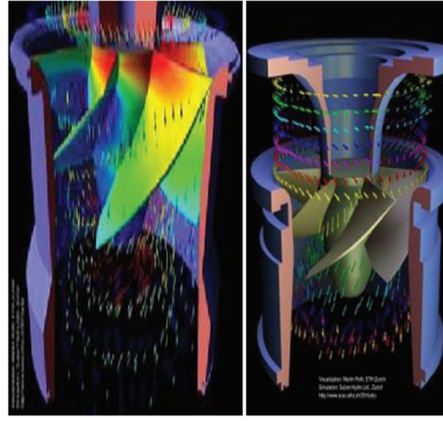
Şekil 2.5. Banki Türbin Parçaları [7]



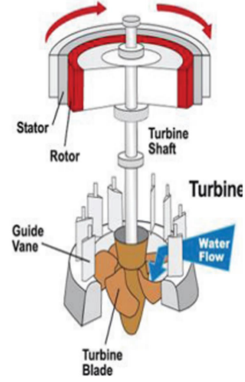
Şekil 2.6. Pelton Türbin Parçaları [7]



Şekil 2.7. Pelton Türbin Parçalar [7]



Axco Generator



Şekil 2.8. Kaplan Tipi Türbin Parçaları [7]



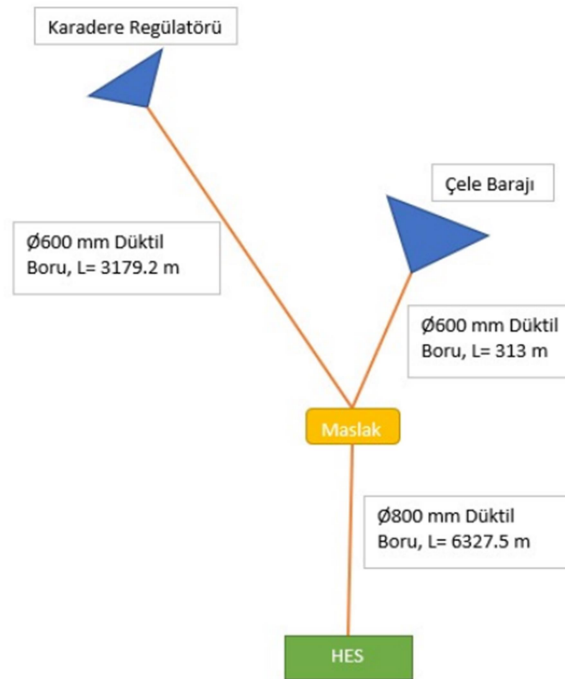
Şekil 2.9. Francis Tipi Türbin Parçaları [7]

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bolu İlinde T.C. Bolu Belediyesince yapılan “Karadere Su Tüneli” projesinin tamamlanmasının ardından DSİ tarafından sürdürülen ve su tüneli çıkışından Bolu İli İçmesuyu Arıtma Tesisi’ne kadar ulaşan su isale hattının bulunduğu alan, malzeme bilgileri, düşü miktarı, debi miktarı gibi hususların analizi ve incelemesi gerçekleştirilerek tasarım ile ilgili bir sonuca varılacaktır.

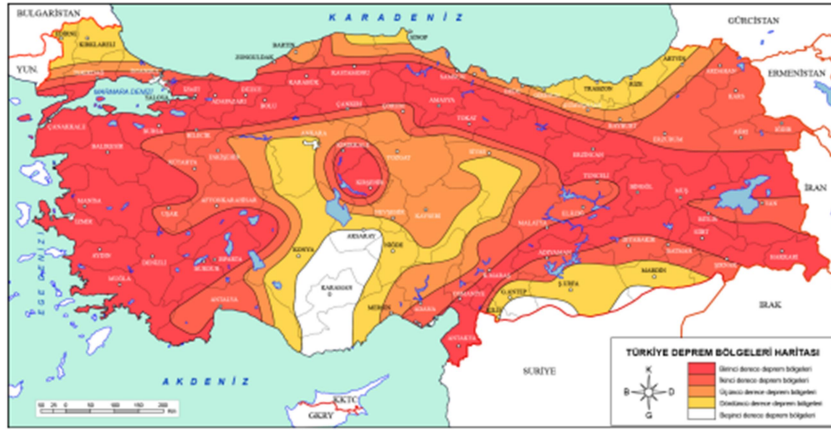
Mikro HES teknolojisinin sahaya uygulanması sürecinde uygulanacak alanın iyi şekilde incelenmesi ve coğrafyanın verilerinin iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Mevcut veriler sahadan toplandıktan sonra teori ile birleştirilerek optimum tasarım ortaya koyulmalıdır.

Projenin gerçekleştirilmesi planlandığı alan Bolu İçmesuyu Arıtma Tesisi Girişi HES Projesi, Bolu ili Merkez ilçesinde, Bolu İçmesuyu Arıtma Tesisi yanında, Bolu G27-a4 numaralı 1/25000 ölçekli haritada (ED50 6°) 381 000 ~ 381 000 doğu boylamları ile 4 513 000 ~ 4 514 000 kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Karadere Regülatörü ve Çele Barajı’ndan içmesuyu arıtma tesisine aktarılan suyun 6357,50 m’lik boru ile taşınması ve oluşan hidrolik potansiyelin değerlendirilmesiyle elektrik üretilecek olup, elektrik üretiminde kullanılan su içmesuyu arıtma tesisine verilecektir. Şekil 3.1’de projeye ait şematik çizim verilmiştir.

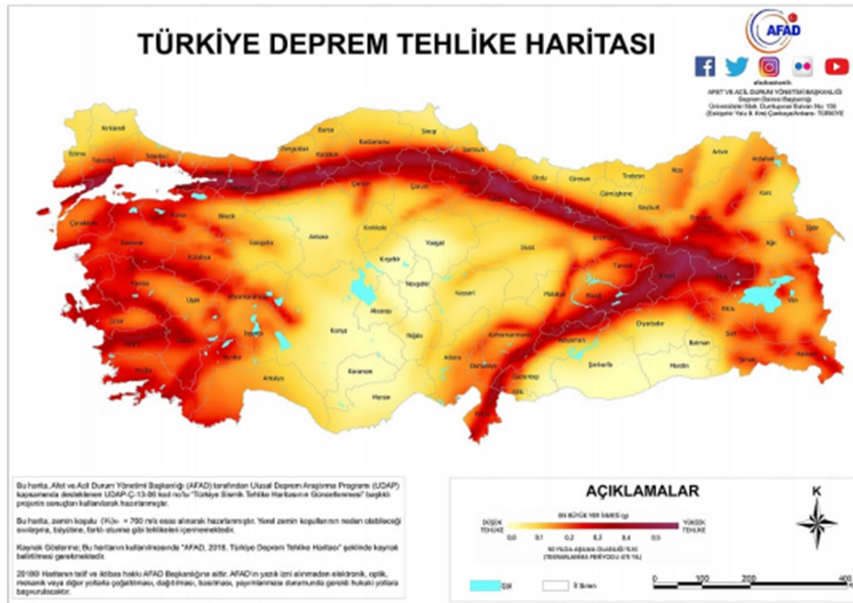


Şekil 3.1. Bolu İçmesuyu Arıtma Tesisi Girişi HES Şematik Çizim

Projenin uygulanması planlanan alanda yapıların depremsel etkilere karşı analizi yapılarak, olası bir deprem sırasında yatırımın en az hasarla veya hasarsız şekilde servise devam edebilmesi özellikle enerji gibi kritik, stratejik bir tesiste büyük önem arz etmektedir. Deprem Araştırma Dairesi tarafından hazırlanan deprem bölgeleri eski haritasında göre Bolu 1. derece deprem bölgesi içerisinde yer almaktadır. 2007 Türkiye Deprem Yönetmeliği (TDY)'ye göre yayınlanmış olan sismik harita (Bkz: Şekil 3.4) ve 2018 yılında güncellenen TDY'ye göre yayınlanmış olan sismik harita (Bkz: Şekil 3.5) birlikte incelendiğinde Bolu İli'nin depremsel açıdan aktif bir bölge olduğu görülmektedir.



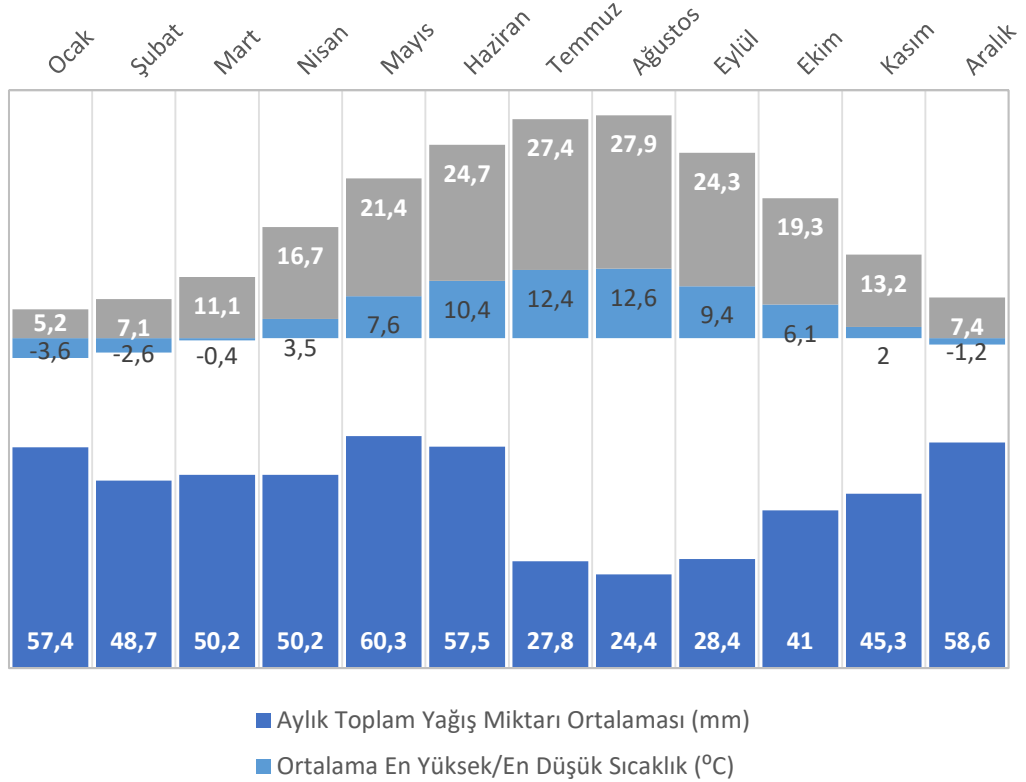
Şekil 3.4. 2007 TDY Sismik Haritası [10]



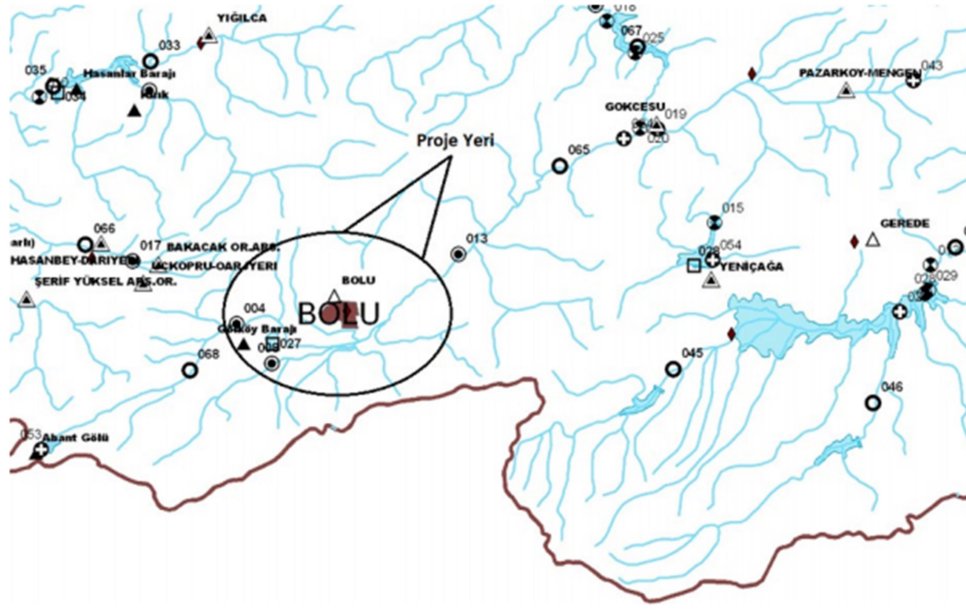
Şekil 3.5. 2018 TDY Sismik Haritası [11]

doğru, yükselti nedeni ile karasallaştığı görülmektedir. Bu geçiş özelliği, yörenin kuzey kesiminde serin yazlara, ılık kışlara ve mevsimlere oldukça eşit dağılan yağışlara yol açar. Güneye inildikçe yükselti artar ve yağışların dağılımı değişir; yazlar kuraklaşır, daha sert iklim özellikleri belirir. Bolu ve çevresinde hakim rüzgar lodostur. Seben’de ise, kuzeyindeki dağların kuzey rüzgarlarını tutması sonucunda, daha çok güney-güneybatı rüzgarlarının etkisi görülür. Denizlerden karaya doğru gelen hava kitlelerinin getirdiği bol nem ve sıcaklığın ılımlı oluşu nem açısından zenginliğe neden olmaktadır. Şekil 3.7’de Bolu İli’ne ait 1929-2020 yılları arasında ki verilerin ortalama yağış ve sıcaklık verileri görülmektedir.

Şekil 3.7. Bolu İli Ortalama Yağış ve Sıcaklık Tablosu [12]



Proje sahasının çevresinde Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nce işletilen 743 m kotunda Bolu Meteoroloji İstasyonu bulunmaktadır. Bölgeye yakın istasyonların yerleri Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Proje Alanı Meteoroloji İstasyonları Haritası

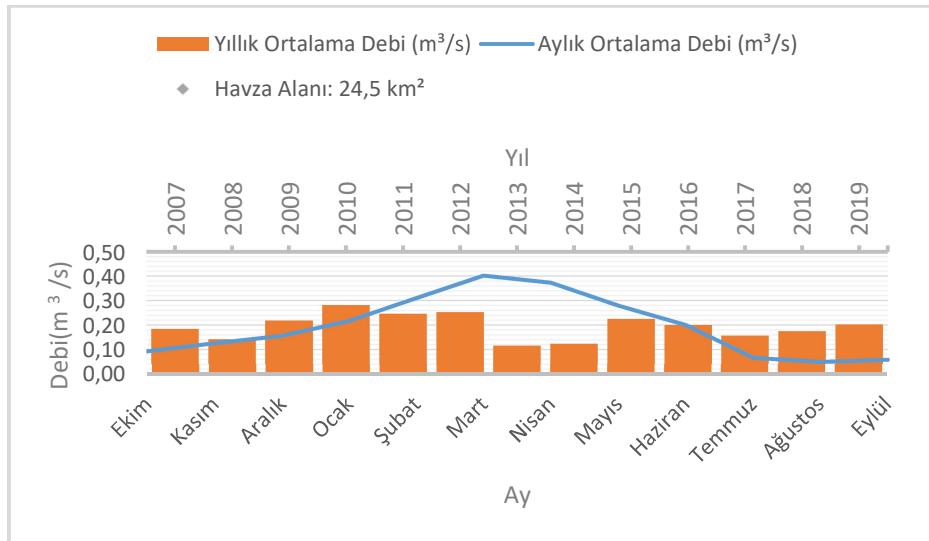
Mevcut iklim şartlarının neticesinde havza da ki suyu toplayıp Karadere Su Tüneline ve sonrasın da da HES yapısına gelen iki önemli yer üstü su kaynağı bulunmaktadır. Karadere Regülatörü ve Çele Barajı havzalarında toplanan sular projenin iki ana kaynağını oluşturmaktadır. Karadere Regülatörü'nden derive edilecek olan sular ile Çele Barajından derive edilecek sular maslakta buluştuktan sonra yaklaşık 6327,5 m uzunluğunda 800 mm düktil boru ile HES tesisine aktarılacaktır. Karadere Regülatöründen isale hattına derive edilecek su miktarı değişken olup, havzadan gelen sular regülatör yapısında can suyu düşüldükten sonra isale hattına aktarılacaktır. Regülatörün su alma kapasitesinin üzerinde gelen sular ise aynı yapıdan savaklanarak dereye aktarılacaktır. Çele Barajı'nın devreye girmesiyle birlikte içme suyu arıtma tesisine düzenli olarak 450 lt/s debi aktarılacaktır. Mevcut durumda içme suyunun su kaynağı Gölköy Barajı olmakla birlikte, yıllık aktarılan su miktarı 12614400 m³'tür. Gölköy Barajı'nın aynı zamanda merkez ilçelerine sulama suyu da sağlamaktadır.

Havza alanının büyüklüğü, bakı durumu, yüzey örtüsü gibi durumlar dikkate alındığında proje yerinin akımlarını hesaplamak için en uygun akım gözlem istasyonunun Hızar Deresi üzerinde yaklaşık 900 m talveg kotunda bulunan D13A070 Hızar Deresi Bayramışlar Köprüsü AGİ'si olduğu sonucuna varılmıştır. Bu AGİ'nin havza alanı yaklaşık olarak 24,45 km² olarak ölçülmüştür. Gözlem süresi 2007-2019 yılları arası olup, 13 yıllık günlük ortalama akım değerleri

mevcuttur. AGİ’de ölçülen minimum akım değeri 0,014 m³/s iken, maksimum ölçülen akım değeri 2,80 m³/s olarak tespit edilmiştir. Gözlem süresince ortalama akım değeri ise 0,206 m³/s olarak hesaplanmıştır. Daha düşük kollarda daha büyük havza alanına sahip AGİ’ler bulunmaktadır. Fakat havza alanı ve kot bilgileri Regülatör yeri ile kıyaslandığında buradaki akım verilerinin regülatör yerine taşınması proje yeri akım değerlerinin doğru bir şekilde tahmin edilmesini engelleyebilir. Bu yüzden benzer özelliklere sahip bir AGİ’nin kullanılması daha yerinde olacaktır. Su potansiyelinin hesaplanmasında kullanılacak olan D13A070 AGİ’sinin günlük ortalama akım verilerinden oluşturulan aylık ve yıllık bazda veriler Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Aylık ve Yıllık Bazda AGİ Verileri Tablosu

Yıl	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
2007	0,113	0,182	0,155	0,282	0,362	0,392	0,302	0,220	0,131	0,019	0,017	0,034
2008	0,057	0,111	0,131	0,103	0,143	0,570	0,262	0,194	0,080	0,009	0,005	0,035
2009	0,048	0,060	0,104	0,251	0,263	0,855	0,407	0,271	0,112	0,102	0,045	0,107
2010	0,127	0,147	0,196	0,184	0,800	0,645	0,460	0,358	0,230	0,139	0,050	0,054
2011	0,205	0,144	0,144	0,203	0,220	0,302	0,831	0,372	0,308	0,110	0,061	0,060
2012	0,091	0,170	0,191	0,206	0,224	0,641	0,950	0,293	0,113	0,053	0,051	0,054
2013	0,056	0,116	0,146	0,178	0,178	0,200	0,262	0,170	0,048	0,008	0,005	0,017
2014	0,075	0,081	0,102	0,137	0,122	0,187	0,190	0,265	0,198	0,040	0,030	0,058
2015	0,100	0,130	0,186	0,356	0,584	0,273	0,294	0,273	0,276	0,072	0,077	0,083
2016	0,102	0,120	0,149	0,466	0,632	0,228	0,182	0,227	0,125	0,050	0,050	0,065
2017	0,076	0,089	0,102	0,125	0,159	0,190	0,216	0,261	0,541	0,032	0,049	0,050
2018	0,081	0,129	0,178	0,182	0,222	0,520	0,172	0,194	0,137	0,101	0,098	0,081
2019	0,102	0,216	0,254	0,212	0,188	0,224	0,260	0,486	0,254	0,094	0,082	0,055
Ort.	0,093	0,126	0,157	0,217	0,311	0,403	0,374	0,280	0,202	0,067	0,050	0,060

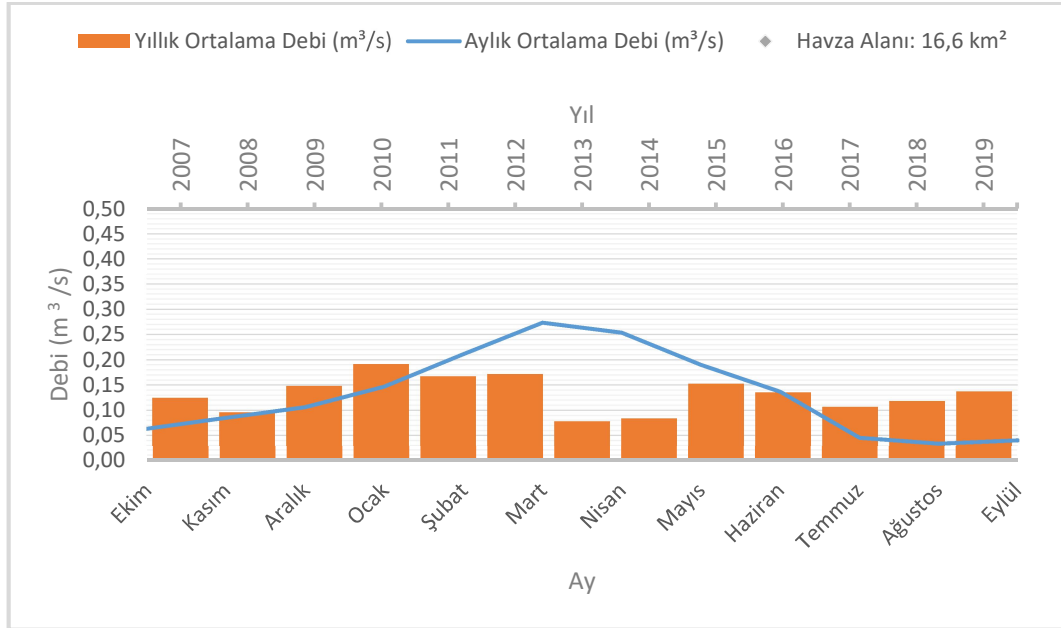


Şekil 3.9 Aylık ve Yıllık Bazda AGİ Verileri Grafiği

AGİ yerine ait akım verileri alan oranıyla proje yerine taşınacaktır. D13A070 AGİ'sinin havza alanı 24,45 km² iken, regülatör yeri havza alanı ise 16,59 km² olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla proje yeri ve AGİ'ye ait havza alanlarının oranı yaklaşık olarak 0,678 olarak hesaplanmıştır. Proje yeri günlük ortalama akım verileri ile oluşturulan aylık ve yıllık bazda ki veriler Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Aylık ve Yıllık Bazda Proje Alanı AGİ Verileri Tablo

Yıl	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
2007	0,077	0,124	0,105	0,191	0,245	0,266	0,205	0,149	0,089	0,013	0,011	0,023
2008	0,039	0,075	0,089	0,070	0,097	0,387	0,178	0,132	0,054	0,006	0,003	0,023
2009	0,033	0,041	0,070	0,170	0,179	0,580	0,276	0,184	0,076	0,069	0,030	0,073
2010	0,086	0,099	0,133	0,125	0,543	0,437	0,312	0,243	0,156	0,095	0,034	0,037
2011	0,139	0,098	0,098	0,138	0,149	0,205	0,564	0,252	0,209	0,075	0,041	0,040
2012	0,062	0,115	0,130	0,140	0,152	0,435	0,645	0,199	0,077	0,036	0,035	0,036
2013	0,038	0,079	0,099	0,121	0,121	0,136	0,178	0,115	0,032	0,005	0,004	0,012
2014	0,051	0,055	0,069	0,093	0,083	0,127	0,129	0,180	0,134	0,027	0,021	0,040
2015	0,068	0,088	0,126	0,242	0,396	0,185	0,200	0,185	0,187	0,049	0,052	0,057
2016	0,069	0,081	0,101	0,317	0,429	0,155	0,123	0,154	0,085	0,034	0,034	0,044
2017	0,052	0,060	0,069	0,085	0,108	0,129	0,147	0,177	0,367	0,021	0,033	0,034
2018	0,055	0,087	0,121	0,123	0,150	0,353	0,117	0,132	0,093	0,068	0,067	0,055
2019	0,069	0,147	0,173	0,144	0,127	0,152	0,176	0,329	0,172	0,064	0,055	0,037
Ort.	0,063	0,085	0,107	0,147	0,211	0,273	0,254	0,190	0,137	0,046	0,034	0,041



Şekil 3.10. Aylık ve Yıllık Bazda Proje Alanı AGİ Verileri Grafiği

Kurulması gereken tesisler ve seçilmesi gereken türbin için mevcut su verileri ile tesise girecek olan debi miktarı tespit edilerek yapılacak olan tesisin bileşenleri tespit edilmektedir.

3.1 Tasarım

Bolu İçme Suyu Arıtma Tesis Girişi HES Projesi kapsamında mevcutta inşaatı devam eden Karadere Regülatörü'nden ve proje aşaması tamamlanan ve yakın zamanda yatırım programına alınması beklenen Çele Barajı'ndan temin edilecek sular 950,68 m kotunda tesis edilecek maslak yapısında birleştirildikten sonra 800 mm çapında 6327,5 m uzunluğundaki düktil boru ile arıtma tesisine aktarılacaktır. Burada oluşacak olan yaklaşık 66 m düşü farkı kullanılarak teşkil edilecek santral binasında enerji üretimi planlanmaktadır. Santral binası kapsamında planlanacak olan yapılar aşağıda listelenmiştir.

- Uzunluğu 16,50 m, genişliği 16,25 m, yüksekliği 8,50 m olan santral binası,
- Bir adet ana hat kesme vanası, bir adet branşman, bir adet debi ölçer ve iki adet hat kesme vanası, bir adet pislik tutucu, bir adet basınç kırıcı vana,
- Kurulu gücü 209,27 kWe/222,51 kWm olan bir adet cross-flow tipi türbin.

Geleneksel yaklaşım ile yapılan tasarıma ek olarak boru içi türbin sistemi ile de tasarım değerlendirilecektir.

3.2 Seçilen Tasarıma Ait Açıklamalar ve Kurulacak Tesisler

3.2.1 Kurulu Gücün Belirlenmesi ve İşletme Politikası

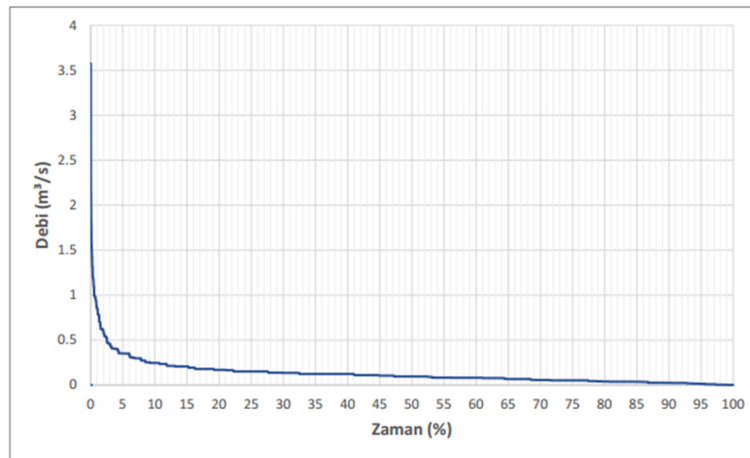
Karadere Regülatörü'nün tamamlanmasıyla birlikte buradan derive edilecek sular ile belirli bir süre (Çele Barajı tamamlanana kadar) kısmi enerji üretimi yapılabilecektir. Çele Barajı'nın tamamlanmasının ardından ise sistem düzenli olarak ve tam kapasite ile enerji üretebilecektir. Çele Barajı'nın 5 yıl içerisinde uygulamaya geçmesi öngörülmektedir. Çele Barajı'nın daha erken hizmete girmesi tesisin karlılığını artıracaktır. Bolu İçmesuyu Arıtma Tesis Girişi HES'in kurulu gücü Çele Barajı'nın devreye girmesiyle birlikte sabit olarak içme suyu arıtma tesisine aktarılması planlanan 450 lt/s debi değeri dikkate alınarak belirlenmelidir. Böylelikle tam verim ve kapasitede düzenli enerji üretimi yapılabilecektir. 450 lt/s debi değerinin proje debisi olarak seçilmesi ile tesisin

ekonomik ömrü de dikkate alındığında HES tesisi için optimum kurulu güç seçimin yapıldığı düşünülmektedir.

Kurulu gücün belirlenmesinin ardından enerji üretiminin belirlenmesi için iki farklı işletme çalışması yapılmalıdır. Çele Barajı devreye girene kadar sadece Karadere Regülatörü'nden derive edilecek sular dikkate alınmalıdır.

HES tesisinin işletmesinde aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurulmuştur:

- HES'e ait işletme çalışması hesaplamalarında, cebri boru boyunca (isale hattı) oluşacak sürtünme kayıpları ve yerel kayıplar da dikkate alınacaktır. Boru boyunca oluşacak olan kayıplar borunun aktardığı debi değeri dikkate alınarak yapılacaktır.
- Regülatör yapısı ve isale hattının taşıyabileceği maksimum debi miktarları dikkate alınacak, isale hattından fazla suyun derive edilmesi durumunda kayıpların çok fazla olması dikkate alınarak enerji üretiminin durdurulacağı varsayılacaktır.
- Türbinlere sadece 450 lt/s su aktarıldığı, üzerinde gelen debilerin ise fazla olan kısımlarının branşman yardımıyla üzerinde basınç kırıcı vana bulunan kola verileceği planlanmıştır.
- İlk beş sene sonunda düzenli debi değeri olan 450 lt/s ile üretim öngörülmüştür.
- Her debiye uygun türbin verimlilik değerleri kullanılmıştır.



Şekil 3.11. Karadere Regülatörü Debi-Süreklilik Grafiği

Yapılan işletme çalışmaları neticesinde ilk beş yıl için yıllık ortalama enerji üretimi 343,513 kWh olarak belirlenmiştir. Yıllık ortalama çalışma saati ise (kurulu güce göre) ilk beş yıl için yaklaşık 1640 saat olarak hesaplanmıştır.

Çele Barajı'nın da devreye girmesiyle birlikte düzenli ve tam kapasite olarak işletmede olacak HES tesisindeki üretimin yıllık 8000 saat civarında olması beklenmektedir. Gerikalan zamanlar (yaklaşık 760 saat) tesisin işletme, bakım süresi ve tesise gelen debinin bazı zamanlar daha az olması durumu dikkate alınarak ayrılmıştır. Kurulu güç değeri ve çalışma zamanı dikkate alındığında tesis öngörülen beş yıl sonunda 1674160 kWh enerji üretebilecektir. Ekonomik analizlerde tesisin ilk beş yılı için elde edilen ortalama enerji üretim değeri kullanılacak, ekonomik ömrün geri kalan kısımlarında ise düzenli üretim ile elde edilecek enerji geliri dikkate alınacaktır.

3.2.2 Mevcut Cebri Boru Hatları

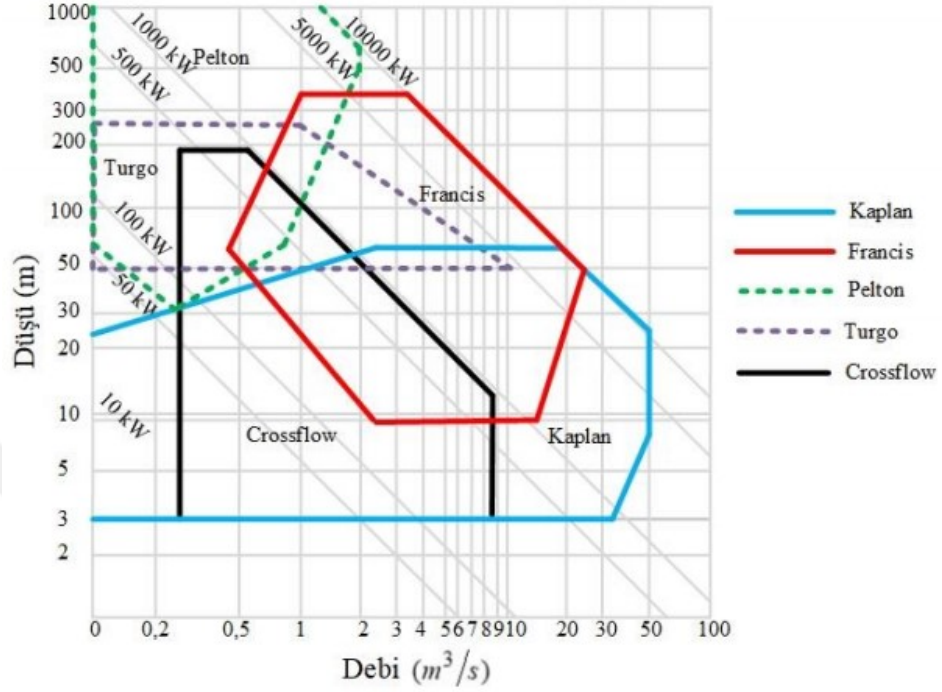
Karadere Regülatörü ve Çele Barajı'ndan gelen debileri taşıyacak olan borular 600 mm çapında düktil boru olup sırasıyla uzunlukları 3179,2 m ve 313 m'dir. Her iki isale hattı 950,68 m boru giriş kotu olan 10 m³ hacimli maslak yapısında birleşerek atmosfere açılmaktadır. Maslak yapısında enerjisi kırılan debiler tekrar basınca geçerek HES tesisine kadar suyu aktaracaktır. Maslak yapısından sonra tesis edilecek isale hattı 800 mm çapında düktil boru olup, uzunluğu 6327,50 m'dir. Boru et kalınlıkları iç ve dış basıncı taşıyabilecek kapasitede 600 mm borular için 6,7 mm, 800 mm boru için 8,9 mm olarak tasarlanmıştır.

3.2.3 Santral Binası ve Türbin Seçimi

Tesis edilecek olan santral binası (Bkz: Şekil 3.12) uzunluğu 16,50 m, genişliği 16,25 m, yüksekliği ise 8,50 m olarak belirlenmiştir. Katı proje aşamasında içerisinde bulunan yapılar ve işleyişe göre santral binası ebatları değiştirilebilir.

Santral binasından gerekli durumlarda işletme bakım için ana isale hattı üzerinde hat kesme vanası tesis edilecektir. Aynı şekilde branşmandan sonra da her iki kolda hat kesme vanası tesis edilmesi arıtma tesisine kesintisiz su aktarımını sağlayacaktır. İsale hattı üzerinde ayrıca debi ölçer konularak gelen debiye göre türbine giden su miktarları ayarlanabilecektir. Branşman yapısı ile

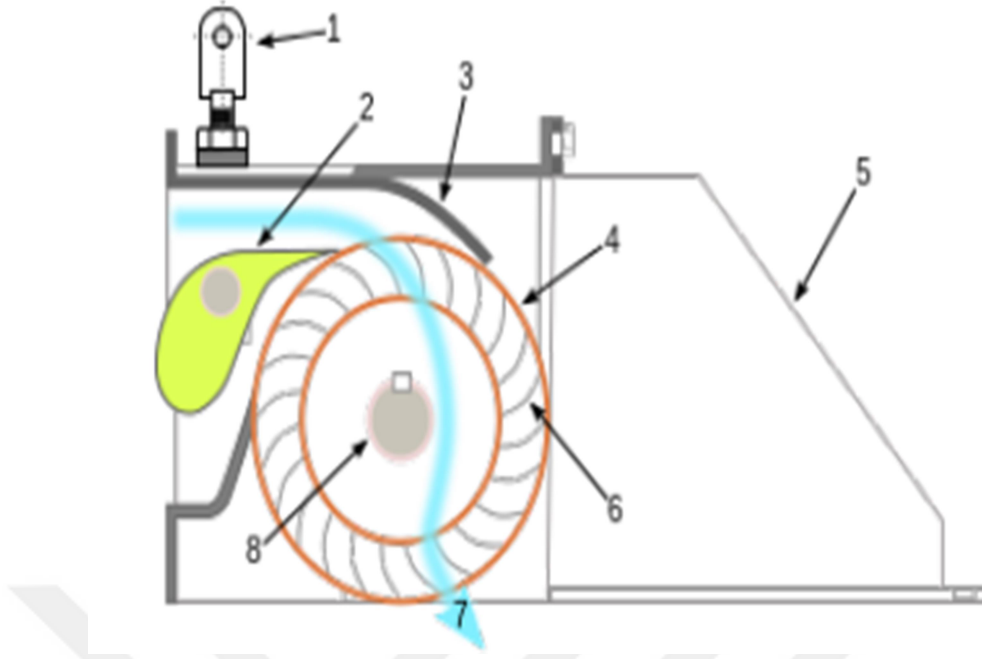
yukarıda belirtilen avantajlar göz önünde bulundurulduğunda Cross-Flow türbin tipinin daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Cross Flow türbinin parçaları Şekil 3.14’de verilmiştir.



Şekil 3.13 Türbin Seçim Grafiği [13]

Şekil 3.14’de belirtilen parçalar aşağıda listelenmiştir.

1. Hava Giriş Vanası (Vantuz)
2. Kılavuz Kanadı ve Dağıtıcı
3. Boru Kılıfı (Yönlendirici)
4. Çark
5. Arka Aks Muhafazası
6. Kanat Takımı
7. Su Akışı
8. Şaft



Şekil 3.14. Cross-Flow Türbin Şeması

3.2.4 Diğer Bileşenler

Şalt sahası santral binası içerisinde yer alacaktır. Enerji iletim hattı, içme suyu arıtma tesise ait trafoya bağlanacak olup yaklaşık uzunluk 1 km civarında belirlenmiştir. Regülatör yapısı, iletim kanalı ve santral binasının yakınına kadar ulaşım sağlanabilmektedir. Fakat proje sahasının diğer kısımlarına da ulaşmak için ek ulaşım yolları ihtiyacı olabilir. Yamaç moloz parça döküntülerine karşı önlem alınmalıdır. Proje'nin bulunduğu Bolu İli, Karadeniz Bölgesinde yer almakta olup, kara yolu ulaşımı açısından herhangi bir engel bulunmamaktadır.



Fotoğraf 3.1. Karadere Su İletim Tüneli Çıkış Ağızı



Fotoğraf 3.2. Karadere Su İletim Hattı Regülatörü Mansap



Fotoğraf 3.3. Karadere Su İletim Hattı Regülatörü Memba

3.3 Boru İçi Türbin ile Tasarım

Tasarım sırasında türbin bileşenleri üzerinde farklı düşü ve debi değerleri kullanılarak verimlilikleri değerlendirilerek tasarımın optimize edilmesi mümkün olacaktır. Tasarım noktasında TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı “Boru İçerisinde Francis Tipi Türbin Tasarımı” başlıklı ve Hüseyin Çetintürk tarafından Nisan 2016’da yayınlanan yüksek lisans tezinde bulunan veriler kullanılarak Bolu İli Örneği test edilecektir. Gerek mevcutta bulunan yüksek lisans tezinde elde edilen verilen genel sonuçlara varmış olması ve tekrar hesaplanması durumunda aynı sonuçlara varılacak olması, gerekse Bolu İli Örneği için gerçekleştirilen yüksek lisans tezinin anabilim branş dalı açısından tasarımın nasıl yapıldığından ziyade sonuçları ile ilgilenmesinden dolayı mevcut verilen kullanılmasının daha sağlıklı olacağı sonucuna varılarak “Boru İçi Türbin ile Tasarım” bölümü gerçekleştirilmiştir.

Bahsi geçen yüksek lisans tezinde Bursa İlinde bulunan 1,4 MW kapasiteli yatay eksenli, 78 metre düşü değeri ve $2 \text{ m}^3/\text{s}$ debiye sahip olan HES üzerine HAD analizi yapılarak tasarım gerçekleştirilmiştir. Tasarım sırasında türbin bileşenlerine etkiyen kuvvetler ve bu kuvvetler altında verimlilikler, türbin açısı,

türbin çarklarından geçen suyun debisi gibi farklı faktörler ayrı ayrı incelenerek sonuçlar birleştirilmiş ve tablo haline getirilerek tümevarım gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.3. Boru içerisinde tasarım sonuçları [14]

Net Santral Düşüsü [m]	Ayar Kanadı Açıklığı [°]	Debi [m ³ /s]	Türbin Çarkı Düşü [m]	Güç [MW]	Verim [%]					
					Salyangoz	Sabit Kanat	Ayar Kanadı	Çark	Emme Borusu	Türbin
50	15	0.65	38.93	0.203	99.98	99.94	97.82	81.69	98.20	78.40
	20	0.96	43.72	0.368	99.97	99.87	98.53	89.75	97.79	86.34
	25	1.26	46.02	0.518	99.95	99.78	98.74	91.64	97.62	88.10
	31	1.63	47.66	0.697	99.93	99.62	99.08	91.49	98.31	88.72
	35	1.77	47.80	0.751	99.92	99.55	99.22	90.65	98.49	88.12
	40	1.97	47.56	0.813	99.93	99.43	99.16	88.71	98.67	86.24
60	15	0.75	50.54	0.332	99.98	99.93	97.61	89.52	98.32	85.84
	20	1.10	54.43	0.559	99.97	99.86	98.44	95.31	98.66	92.41
	25	1.44	56.81	0.767	99.96	99.77	98.64	95.90	98.60	93.02
	31	1.85	57.76	0.994	99.93	99.60	99.07	95.21	98.64	92.61
	35	2.00	57.57	1.063	99.92	99.53	99.19	94.58	98.70	92.10
	40	2.22	56.89	1.149	99.90	99.40	99.11	93.09	98.76	90.47
70	15	0.84	61.23	0.462	99.98	99.93	97.47	91.98	98.51	88.24
	20	1.23	64.98	0.753	99.97	99.86	98.35	96.12	98.74	93.18
	25	1.60	67.20	1.015	99.95	99.76	98.58	96.48	98.74	93.64
	31	2.04	67.50	1.293	99.93	99.59	99.05	95.98	98.89	93.56
	35	2.20	67.12	1.379	99.92	99.52	99.17	95.50	98.92	93.16
	40	2.44	66.18	1.490	99.90	99.39	99.06	94.33	99.02	91.87
78	15	0.91	69.89	0.577	99.98	99.93	97.37	92.93	98.62	89.16
	20	1.33	73.50	0.921	99.97	99.85	98.28	96.09	98.82	93.15
	25	1.72	75.35	1.223	99.95	99.75	98.55	96.43	98.92	93.72
	31	2.19	75.03	1.539	99.93	99.58	99.03	95.93	98.98	93.56
	35	2.35	74.50	1.637	99.91	99.51	99.14	95.49	99.01	93.20
	40	2.61	73.44	1.769	99.90	99.38	99.02	94.47	99.22	92.14
80	15	0.92	72.04	0.605	99.98	99.93	97.35	92.91	98.62	89.11
	20	1.36	75.63	0.964	99.97	99.85	98.26	96.00	98.83	93.06
	25	1.75	77.37	1.277	99.95	99.75	98.54	96.37	98.95	93.69
	31	2.22	76.90	1.603	99.93	99.58	99.02	95.88	99.01	93.53
	35	2.39	76.35	1.705	99.91	99.51	99.13	95.45	99.06	93.20
	40	2.65	75.20	1.840	99.90	99.38	99.01	94.46	99.20	92.10
90	15	1.00	82.46	0.746	99.98	99.93	97.25	92.22	98.67	88.41
	20	1.47	86.15	1.177	99.97	99.85	98.20	94.82	98.85	91.86
	25	1.89	87.31	1.548	99.95	99.74	98.50	95.72	99.07	93.13
	31	2.40	86.16	1.931	99.92	99.57	98.99	95.54	99.13	93.27
	35	2.58	85.52	2.053	99.91	99.50	99.10	95.16	99.31	93.10
	40	2.85	83.80	2.199	99.89	99.36	98.96	94.29	98.86	91.57
100	15	1.08	92.75	0.892	99.98	99.92	97.16	91.08	98.48	87.07
	20	1.58	96.54	1.388	99.96	99.84	98.14	93.15	98.99	90.32
	25	2.02	97.03	1.815	99.95	99.74	98.47	94.51	99.15	92.00
	31	2.57	95.39	2.275	99.92	99.56	98.96	94.99	99.33	92.89
	35	2.76	94.47	2.415	99.91	99.49	99.06	94.71	99.32	92.62
	40	3.03	92.08	2.567	99.89	99.36	98.92	93.99	98.41	90.80
110	15	1.15	102.89	1.039	99.98	99.92	97.09	89.82	98.06	85.44
	20	1.68	106.55	1.598	99.97	99.84	98.11	91.57	99.04	88.81
	25	2.14	106.52	2.077	99.95	99.74	98.45	93.01	99.26	90.61
	31	2.73	104.45	2.626	99.92	99.55	98.93	94.20	99.39	92.14
	35	2.93	103.11	2.780	99.91	99.48	99.03	94.14	99.04	91.77
	40	3.21	100.18	2.944	99.89	99.35	98.87	93.53	98.08	90.01

Geleneksel HES’ler ile boru içi türbin tipi tasarlanan HES’lerin verim üzerinden karşılaştırılması ile Bolu İli Örneğinde hangi tasarımın daha verimli ve optimum bir sonuç ortaya koyacağı değerlendirilecektir.

Bolu İli örneği için boru içi türbin formunda yeni bir türbin tasarımına geçilmeden önce, ön dizayn, yaklaşık değerler ve tasarım karakteristikleri üzerinden hangi tip türbinin daha uygun olduğu tartışılacaktır.

4. BULGULAR

4.1 Geleneksek Türbin

Kurulması planlanan tesisin çevresel getirilerinin yanında ekonomik getirileride bulunmaktadır. Bir önce ki bölümde tasarıma dahil olan elemanların yapım maliyetleri ve işletme sırasında ortaya çıkması ön görülen maliyetler değerlendirilerek tasarımın sadece mühendislik açısından optimize etmekle kalınmayarak ekonomik açıdan da optimize etmek gerekmektedir. Yapılan incelemeler ve toplanan verilerin ışığında kurulması planlanan tesise ait özellikler Tablo 4.1de gösterilmektedir.

Tablo 4.1. Tasarlanan Tesisin Özellikleri Tablosu

Açıklamalar		
1.	1/25.000'lik Harita Adı	: G27-a4
2.	Santral Koordinatları (ED 50 6°)	: D 381 953 – K 4 513 665
3.	İli	: BOLU
4.	İlçesi	: MERKEZ
5.	Havza Adı	: BATI KARADENİZ HAVZASI
6.	DSİ Bölgesi	: 5- ANKARA DSİ BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ
7.	Kullanılan AGİ No	: D13A070
8.	Ortalama Debi (m ³ /sn)	: 3,20
9.	Cebri Boru Boyu (m)	: 6327,50
10.	Türbin Tipi	: Cross-flow Türbin
11.	Ünite Adedi	: 1
12.	Bara Gerilimi (kV)	: 34,5
13.	Enerji Nakil Hattı Kesiti	: 3 AWG Swallow
14.	Enerji Nakil Hattı Uzunluğu (km)	: 1.00
15.	Brüt Düşü (m)	: 66,00
16.	Net Düşü (m) (Proje Debisinde)	: 61,47
17.	Proje Debisi (m ³ /s)	: 0,45
18.	Kurulu Güç (kWe/kWm)	: 209,27 kWe/222,51 kWm
19.	Toplam Enerji (GWh)	: 0,343 (Çele Barajı Devreye Alınmadan Önce) 1,674 (Çele Barajı Devreye Alındıktan Sonra)
20.	Proje Bedeli (₺) (DSİ / Güncel)	: 3743887 / 3570233
21.	Yıllık Gelir (₺) (55,2276 krş/kWh)	: 189714 (Çele Barajı Devreye Alınmadan Önce) 924598 (Çele Barajı Devreye Alındıktan Sonra)
22.	Yıllık Gider (₺) (DSİ / Güncel Piyasa)	: 427547 / 407906
23.	Net Fayda (₺) (DSİ / Güncel Piyasa)	: -237,833 / -218,192 (Çele Barajı Devreye Alınmadan Önce) 497,051 / 516,692 (Çele Barajı Devreye Alındıktan Sonra)
24.	Rantabilite (B/C) (DSİ / Güncel Piyasa)	: 1,50 / 1,58
25.	İnşaat Süresi (Yıl)	: 1,0
26.	\$ Kuru (TL)	: 8,3410

Bolu İçmesuyu Arıtma Tesisi Girişi HES Projesi'nde yer alan tesislerin keşif bedelleri, önerilen tesisler için öngörülen maliyetler ile yaklaşık olarak çıkarılmıştır. Katı proje aşamasında fiyatlar detay çizimlerin belirlenmesinin ardından daha net olarak hesaplanacaktır. Elektromekanik teçhizat yurtdışından temin edileceği için bu teçhizatın keşfi, fizibilite aşamasında yurtdışı firmalardan

alınan fiyatlar göz önünde bulundurularak hazırlanmıştır. Yurtiçinden sağlanabilecek bedeller ise yurtiçi piyasa fiyatları düşünülerek değerlendirilmiştir. Enerji nakil hattı keşfi kati proje aşamasında net olarak hesaplanacak olup, bu aşamada tahmini bir bedel öngörülmüştür. Keşiflerin hazırlanmasında, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nün, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın, Karayolları Genel Müdürlüğü'nün 2020 yılı rayiç ve birim fiyatları kullanılmıştır. ABD Doları olarak hesaplanan maliyetlerin Türk Lirası cinsine çevrilebilmesi için 1 \$ = 8,3410 TL, 1 € = 9,7917 TL (Merkez Bankası 30.03.2021 kuru) olarak esas alınmıştır. Şantiye tesisleri ve ulaşım yolları maliyetleri fizibilite aşamasında geçmiş tecrübelerle dayanarak oluşturulmuştur. Gereken betonarme demiri ve diğer profiller proje alanına 142 km uzaklıkta olan Karabük Demir Çelik fabrikalarından temin edilecektir.

Proje keşif özeti, yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda çıkarılmış; hidroelektrik santrale ait tesislerde oluşabilecek maliyetler göz önüne alınmıştır. Tesislerle ilgili olarak hazırlanmış olan piyasa fiyatları ve kurum fiyatları ile karşılaştırmalı olarak hazırlanan keşif özeti Tablo 4.2 de verilmiştir.

Tablo 4.2. Keşif Özeti

* 1\$ = 8,3410 TL		Birim Fiyatlar (2020)		Piyasa Fiyatları	
Sıra	İşin Tarifi	Pursantaj (%)	Tutar (₺)	Tutar (\$)	Tutar (₺)
1	Santral Binası	12,05	400.250	47.986	360.225
2	Elektromekanik Ekipman (209.27 kWe)	52,56	1.745.521	209.270	1.745.521
3	Mekanik Ekipman	14,30	475.000	56.948	427.500
4	Enerji Nakil Hattı (1.0 km)	3,01	100.000	11.989	90.000
5	Ulaşım Yolları ve Yol Rölekasyonu	1,51	50.000	5.994	45.000
6	Şantiye Tesisleri	1,51	50.000	5.994	45.000
Toplam Keşif Bedeli			2.820.771	338.181	2.713.246
Öngörülemeyen ve Hesabı İhmal Edilen Giderler (%15)			423.116	50.727	406.987
Toplam Tesis Bedeli			3.243.887	388.909	3.120.233
Kamulaştırma (maktuen)		0,00	0	0	0
Etüt, Proje, Müşavirlik ve Mühendislik Giderleri		15,06	500.000	59.945	450.000
Toplam Proje Bedeli			3.743.887	448.853	3.570.233
Toplam Yatırım Bedeli			4.099.556	491.495	3.909.405
					468.697

Bolu İçmesuyu Arıtma Tesisi Girişi HES Projesi'ne ait keşif bedeline, inşaat işlerinde %10 oranında öngörülemeyen ve hesabı ihmal edilen gider eklenmiş ve proje bedeli bulunmuştur. Bulunan bu değere inşaat süresi için hesap edilen yatırım dönemi enflasyon bedeli ile işletme sermayesi de eklenerek toplam yatırım tutarı bulunmuştur.

Bolu İçmesuyu Arıtma Tesisi HES Projesi için hazırlanmış olan fizibilite raporunun DSİ tarafından kabul görmesi ve Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'ndan Üretim Lisansı'nın alınmasını takiben kesin projelerin ve ihale dokümanlarının hazırlanmasına başlanacaktır. Proje kapsamında yapılması düşünülen tesislerin inşaat ve montaj işlerinin 12 ay içerisinde ikmal edilmesi ve tesislerin işletmeye alınması öngörülmektedir.

Projenin uzun vadeli getirilerini, yatırımın geri dönüş sürecini ve işletme süreçlerini açıklamak için ekonomik analize yeni parametreler eklenmesi gerekmektedir. Yatırımın geri dönüşü ekonomik optimizasyon için büyük önem arz etmektedir.

Projenin ekonomi yönünden değerlendirilmesinde yaklaşık piyasa fiyatları kullanılacaktır. Buna göre;

- Yatırım bedeli hesabında inşaat süresi 12 ay olarak alınmıştır.
- Projenin ekonomik ömrü, inşaatından sonraki 50 yıl olarak alınmıştır.
- Tesisin işletmeye girmesinden 35 yıl sonra 3327610 TL elektromekanik ekipman yenileme masrafı olacağı öngörülmüştür.
- Sosyal iskonto oranı %9,5 olarak alınmıştır.
- Projenin giderleri; işletme ve bakım giderleri, yenileme giderleri ve amortisman giderlerinden oluşmaktadır.
- Projenin rantabilitesi hem Yıllık Gider, Yıllık Gelir Yöntemi'ne göre, hem de Bugünkü Değer Yöntemi'ne göre bulunmuştur.
- Enerji birim faydasının 55,2276 krş/kWh olarak alınması uygun görülmüştür.

Proje kapsamındaki birimlerin keşif ve yatırım bedelleri Tablo 4.4.de verilmiştir. Keşif bedeline öngörülemeyen giderler eklenerek projenin tesis bedeli; projenin tesis bedeline etüt proje ve kontrollük hizmetleri bedelleri eklenerek

proje bedeli bulunmuştur.Yıllık giderler; işletme ve bakım gideri, yenileme gideri ve amortisman giderinden oluşmaktadır. Proje birimlerinin işletme bakım gideri faktörleri ile tesis bedelleri çarpılarak işletme ve bakım gideri; yenileme gideri faktörleri ile çarpılarak yenileme gideri bulunmuştur.Projenin işletme bakım giderleri DSİ birim fiyatları ile Tablo 4.4’de verilmektedir. Projenin işletme ve bakım giderleri toplamı 33,878 TL / 4,062 \$’dır.Projenin işletme bakım giderleri güncel piyasa fiyatları ile Tablo 4.5’te verilmektedir. Projenin işletme ve bakım giderleri toplamı 32,497 TL / 3,896 \$’dır.

Tablo 4.3. DSİ Birim Fiyatları İle İşletme ve Bakım Giderler

Sıra	İnşaat İşleri				Keşif Bedeli	Bilinmeyen Giderler (%10)	Proje Bedeli	İşletme Bakım	
								Oran (%)	Gider
1	Santral Binası				₺400.250	₺60.038	₺460.288	1,50	₺6.904
2	Elektromekanik Ekipman (1,024 kWe)				₺1.745.521	₺261.828	₺2.007.349	1,00	₺20.073
3	Mekanik Ekipman				₺475.000	₺71.250	₺546.250	1,00	₺5.463
4	Enerji Nakil Hattı (2.5 km)				₺100.000	₺15.000	₺115.000	1,00	₺1.150
5	Ulaşım Yolları ve Yol Rölekasyonu				₺50.000	₺7.500	₺57.500	0,50	₺288
6	Şantiye Tesisleri				₺50.000	₺7.500	₺57.500	0,00	₺0
7	Etüd, Proje, Kontrol, Müh. Giderleri						₺500.000	0,00	₺0
				₺	2.820.771	423.116	3.743.887	-	33.878
				\$	338.181	50.727	448.853	-	4.062
Çele Barajı Devreye Girmeden Önce									
	\$/₺	8,34	E _{üret}	0,34	GWh		Yıllık gelir (₺)		₺189.714
Kurulu Güç (kWe)		1024,00							
Çele Barajı Devreye Girdikten Sonra									
	\$/₺	8,34	E _{üret}	1,67	GWh		Yıllık gelir (₺)		₺924.598
Kurulu Güç (kWe)		1024,00							

Tablo 4.4. Piyasa Fiyatları İle İşletme ve Bakım Giderleri

Sıra	İnşaat İşleri				Keşif Bedeli	Bilinmeyen Giderler (%10)	Proje Bedeli	İşletme Bakım	
								Oran (%)	Gider
1	Santral Binası				₺360.225	₺54.034	₺414.259	1,50	₺6.214
2	Elektromekanik Ekipman (1,024 kWe)				₺1.745.521	₺261.828	₺2.007.349	1,00	₺20.073
3	Mekanik Ekipman				₺427.500	₺64.125	₺491.625	1,00	₺4.916
4	Enerji Nakil Hattı (2,5 km)				₺90.000	₺13.500	₺103.500	1,00	₺1.035
5	Ulaşım Yolları ve Yol Rölekasyonu				₺45.000	₺6.750	₺51.750	0,50	₺259
6	Şantiye Tesisleri				₺45.000	₺6.750	₺51.750	0,00	₺0
7	Etüd, Proje, Kontrol, Müh. Giderleri						₺450.000	0,00	₺0
				₺	2.713.246	406.987	3.570.233	-	32.497
				\$	325.290	48.794	428.034	-	3.896
Çele Barajı Devreye Girmeden Önce									
		\$/₺	8,34	E _{ürt}	0,34	GWh		Yıllık gelir (₺)	₺189.714
	Kurulu Güç (kWe)		1024,00						
Çele Barajı Devreye Girdikten Sonra									
		\$/₺	8,34	E _{ürt}	1,67	GWh		Yıllık gelir (₺)	₺924.598
	Kurulu Güç (kWe)		1024,00						

Projenin geliri hesaplanırken; enerji birim fiyatı, piyasa kriterlerine göre güvenilir ve sekonder enerji için 55,2276 kuruş/kWh alınarak hesaplanmıştır. Çele Barajı'nın devreye girmesinden önce ve sonra iki ayrı gelir hesabı yapılmıştır. Projenin enerji üretimleri ve gelirleri şöyledir:

- Çele Barajı Devreye Girmeden Önce Toplam Enerji = 0,34 GWh
- Çele Barajı Devreye Girdikten Sonra Toplam Enerji = 1,67 GWh

Çele Barajı Devreye Girmeden Önce Yıllık Enerji Geliri 55,2276 kuruş/kWh enerji birim fiyatı için= 189,714 TL'dir. Çele Barajı Devreye Girdikten Sonra Yıllık Enerji Geliri 55,2276 kuruş/kWh enerji birim fiyatı için= 924598 TL'dir.

Projenin yapım maliyeti hesaplanırken, DSİ birim fiyatları dikkate alındığında elde edilen proje rantabilitesi aşağıdaki gibidir.

- DSİ Birim fiyatları dikkate alındığında (Enerji Birim Fiyatı: 55,2276 kuruş/kWh) rantabilite 1,50 bulunmuştur.

- DSİ Birim fiyatları dikkate alındığında (Enerji Birim Fiyatı: 55,2276 kuruş/kWh) iç karlılık oranı %13,29 bulunmuştur.

Güncel piyasa fiyatları dikkate alındığında elde edilen proje rantabilitesi aşağıdaki gibidir;

- Güncel piyasa fiyatları dikkate alındığında (Enerji Birim Fiyatı: 57,20 kuruş/kWh / 0,08 \$/kWh) rantabilite 1.58 bulunmuştur.
- Güncel piyasa fiyatları dikkate alındığında (Enerji Birim Fiyatı: 57,20 kuruş/kWh / 0,08 \$/kWh) iç karlılık oranı %13,78 bulunmuştur.

Ekonomik analiz verileri incelendiğinde söz konusu tesisin ekonomik açıdan optimum hale gelmesi için en önemli faktörün debi, dolayısı ile debiyi sağlayacak olan Çele Barajı'nın devreye girmesi olduğu göze çarpmaktadır. Ekonomik analizin ötesinde, günden güne enerjinin değerinin artacağı ön görülmektedir. Özellikle temiz enerjinin değeri ve öneminin artması ile projenin getirisi oldukça artacaktır. Ayrıca, bu alanda yatırım ne kadar erken yapılır ise uzun vadede getirisi her zaman daha fazla olacaktır. Bütün faktörlerin ötesinde, teze konu olan projenin en önemli getirisi, mevcutta akan bir suyun kullanılacak ve ek olarak çevreye hiç bir etkide bulunulmadan temiz enerji üretilmektedir.

4.2 Boru İçi Türbin

Boru içi turbine ait bulguları türbin elemanları düzeyinde sırayla inceleyerek verimliliği konusunda daha detaylı bir sonuç görmek mümkün olacaktır.

İlk olarak, ayar kanatlarının açıklığının arttırılması ile türbin içinden geçen debi miktarı artmaktadır. Bundan dolayı enerji verimliliği artmaktadır. Bu durum düzenli bir artış halinde değildir, türbin çapı, düşü miktarı gibi değişkenlere göre optimum bir verimlilik değeri olmaktadır. Kanat açıklıklarının proje karakteristiğine göre optimum düzeyde tutularak tasarımların gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Ayar kanatlarının açıklığının değişmesi ile boru içinden geçen debi miktarı değişmediğinden dolayı ayar kanadının değişimi boru içinde fark etmemektedir. Bu durum geleneksel türbin ile önemli bir fark yaratmaktadır.

Sabit kanatların üzerinden geçen debi miktarı ayar kanatlarının değişmesi ile değişmektedir. Ayar kanatlarının arasında ki açıklığın artması ile verim dūřmektedir.

ark verimi ise ayar kanatları ile aynı deseni izleyerek optimum bir dūzeyeye kadar artıř gōsterip sonra verimde dūřme gōzlemlenmektedir.

Emme borusunda, ayar kanadı açıklığı arttııka sabit bir şekilde verim artmaktadır.

Tūrbın kayıpları ayar kanatlarının açıklığı ile değişmekte olup, optimum bir dūzeyde tepe yapmaktadır. Tūrbın elemanlarının farklı ayar kanatlarında bulunan verimlilikleri birlikte optimize edilerek tasarımın gerçekleştirilmesi gerekmektedir.



5. TARTIŞMA

5.1 Geleneksel Türbinler

Tasarım hidrolik formüller ve parametreleri ile kontrol edilmektedir. Tasarım basit olarak iki nokta arasında yazılacak olan enerji denklemini temel almaktadır.

İki nokta arasında ki enerji denklemi;

$$z_1 + P_1/\gamma + V_1/2g = z_2 + P_2/\gamma + V_2/2g + h_f$$

- z_1, z_2 : suyun iletim hattına giriş ve çıkış kotları
- $P_1/\gamma, P_2/\gamma$: Suyun basınç etkisi (atmosfere açık alanlar arasında yazılan denklemlerde 0 kabul edilir.)
- V_1, V_2 : Suyun hızı
- g : yerçekimi ivmesi
- h_f : sürtünmeden kaynaklı enerji kaybı

Enerji denkleminde kotlar tamamen mevcut alan ile kontrol edilmektedir. Tasarımın yapılması planlanan alanda suyun giriş ve çıkış noktaları kontrol edilebilmesi durumunda, maksimum düşü farkının olacağı iki noktanın seçilmesi üretilen enerjiyi doğrudan etkileyecektir.

Basınç faktörü ve hız faktörü için suyun sisteme giriş yapacağı ve çıkış yapacağı noktalarda basınç ve hız faktörlerinin miktarı özellikle türbin seçimini etkilemektedir. Tasarımda tercih edilen cross-flow türbin basınçtan ziyade suyun hızından enerji üretmektedir. Bundan dolayı sistemin çıkış yaparak türbine giriş yapacağı alanda mümkün olduğunca basıncın olmadığı, atmosfere açık bir ortam tasarlanarak suyun sisteme girişi sağlanması enerji üretiminde teorik olarak artışın gerçekleşeceğini göstermektedir.

İletim hattı boyunca hidrolik yük kayıplarının en önemlisi sürtünmeden kaynaklı kayıplardır. Sürtünmeden kaynaklı yük kayıpları Darcy-Weisbach Denklemi ile hesaplanmaktadır.

Darcy-Weisbach Denklemi;

$$h_f = f \times (L/D) \times (V^2/2g)$$

- f : Darcy sürtünme faktörü
- L : boru boyu
- D : hidrolik çap

- V: hız

- g: yerçekimi ivmesi

Hidrolik yük kaybının parametrelerini yük kayıplarını minimuma indirecek şekilde kontrol etmek ve tasarımı ona göre gerçekleştirmek gerekmektedir.

Boru hattının boyunu en kısa mesafede tamamlamak yük kayıplarını azaltmakla beraber ekonomik açıdan da optimum bir çözüm olacaktır. Hidrolik çap iteratif bir süreç sonucunda boru çapı, debi, hız, hidrolik çap gibi faktörlerin tamamının birlikte değerlendirilerek optimum olacağı bir noktada seçilmesi gerekmektedir.

Darcy sürtünme faktörü suyun akış tipine göre belirlenmektedir. Suyun laminer, türbülent ve geçiş olmak üzere 3 akış tipi bulunmaktadır. Suyun akış tipi “Reynolds Sayısı” ile tespit edilmektedir.

$$Re = Vd/v$$

- V: Hız

- d: Çap

- v : Akışkanın kinematik viskozitesi(su için 10^{-6})

- $Re \leq 2000$ ise akış laminer
- $Re \geq 4000$ ise akış türbülent
- $4000 > Re > 2000$ ise geçiş akışı gerçekleşmektedir.

Teze konu olan tasarıma ait Reynolds sayısı 4000’den büyük olduğundan dolayı akış türbülent akıştır. Tasarımın Reynolds sayısı 1698513,8 olarak hesaplanmaktadır. Bu sayı aynı zamanda 5000’den büyük ve 10^8 ‘den küçük olduğundan dolayı sürtünme faktörünün hesaplanmasında “Swamee-Jain Formülü” kullanılabilmektedir.

Swamee-Jain Formülü;

$$f = 1,325 / [\ln((\epsilon/3,7D) + (5,74/Re^{0,9}))^2]$$

ile sürtünme faktörü hesaplanmaktadır.

Yük kaybına ait parametrelerin tamamı birlikte ve birbirini etkileyen çeşitli formüllerin içinde birlikte çalışarak enerji miktarını ve yük kaybını belirlemesinden dolayı parametrelerin tamamı iteratif şekilde birlikte çalıştırarak optimum sonuçlara ulaşmak mümkün olacaktır. Aksi durumda parametrelerde bir tanesinin minimize edilmesi başka noktalarda istenmeyen yük kayıplarına sebep olabilecektir.

Tasarımda kullanılacak olan iletim hattı boru çapı, hat uzunluğu, suyun giriş ve çıkış noktaları, debi gibi verilerin uygun şekilde ve coğrafi, fiziki ve teknik imkanların sınırları çerçevesinde uygun şekilde seçilerek bu seçimlere uygun bir türbin tipinin sisteme yerleştirilmesi ile tasarım tamamlanacaktır.

Mevcut tasarımda cross-flow türbin tipi seçilmiş olmakla beraber, diğer türbin tipleri ile birlikte mevcut seçimin karşılaştırılması ve böylece seçimin uygunluğunun kontrolü sağlanmalıdır.

Türbin tipinin seçimi önemli iki formül ve o iki formüle bağımlı olarak oluşan önemli iki tablo ile kontrol edilmektedir. Tasarımda seçilen türbin tipini bu iki formül ve tablo üzerinden değerlendirmek ve seçimin uygunluğu üzerine tartışmak ve karşılaştırmalar yapmak mümkün olacaktır. Tezde daha önce ki bölümlerde bahsedilen ve formül üzerinden değerlendirilen türbin gücü hususunun hesaplanmasına farklı bir formül yaklaşımı ile bakmakta mümkündür. Formülün farklı formu;

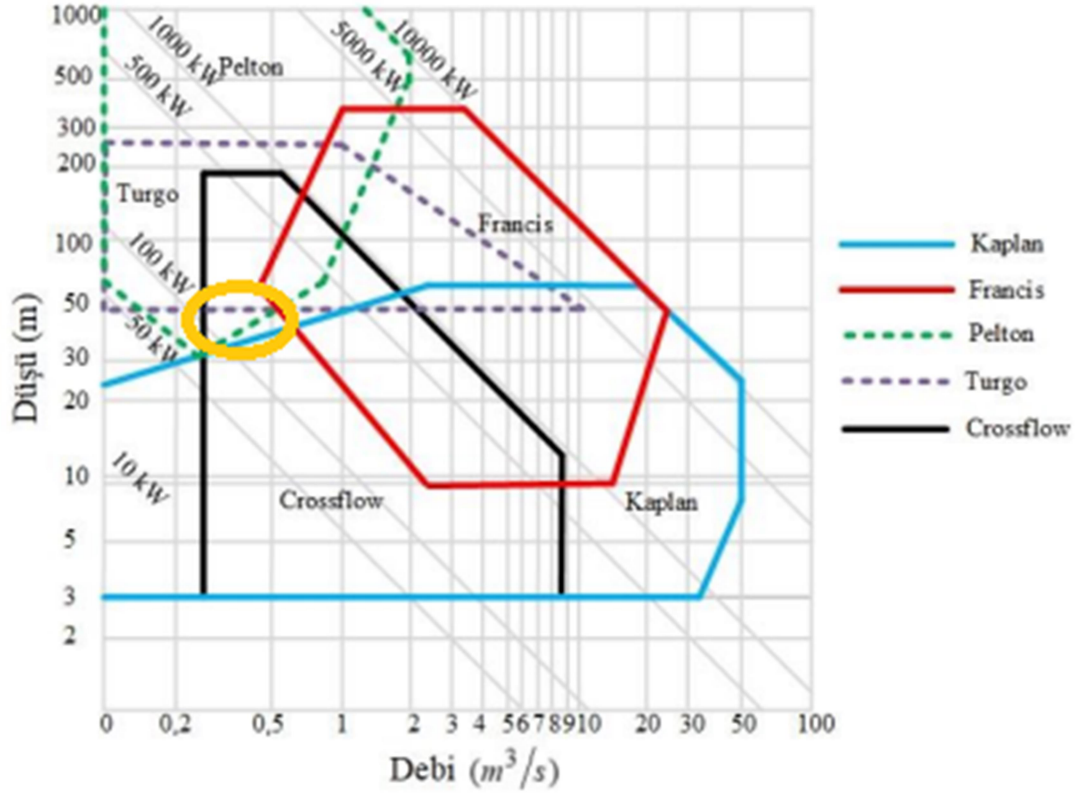
$$P=\eta.H.Q.\gamma$$

Olarak oluşturulmaktadır. Burada P türbin gücü(W), η toplam verim, H düşü (m), Q debi (m^3/s), γ suyun özgül ağırlığını temsil etmektedir. Türbin seçiminde sadece düşü ve debiye bakmak yeterli olmamaktadır. Türbini özgül hızı da bu konuda önemli bir belirleyicidir.

$$n_s = [n \times (1,358P)^{0,5}] / [H]^{5/4}$$

Formülü ile özgül hız hesaplanmaktadır. Formülde n türbinin anma hızını (d/d), P türbin gücü (kW), H düşü (m) 'yi temsil etmektedir. Formüllerin türbin seçimi noktasında değerlendirilmesini kolaylaştırmak amacı ile Şekil 5.1. ve Şekil 5.2. de grafikler olarak gösterilmektedir. Sistemin daha verimli olması için bu kriterler çerçevesinde seçim yapmak uygun olacaktır.

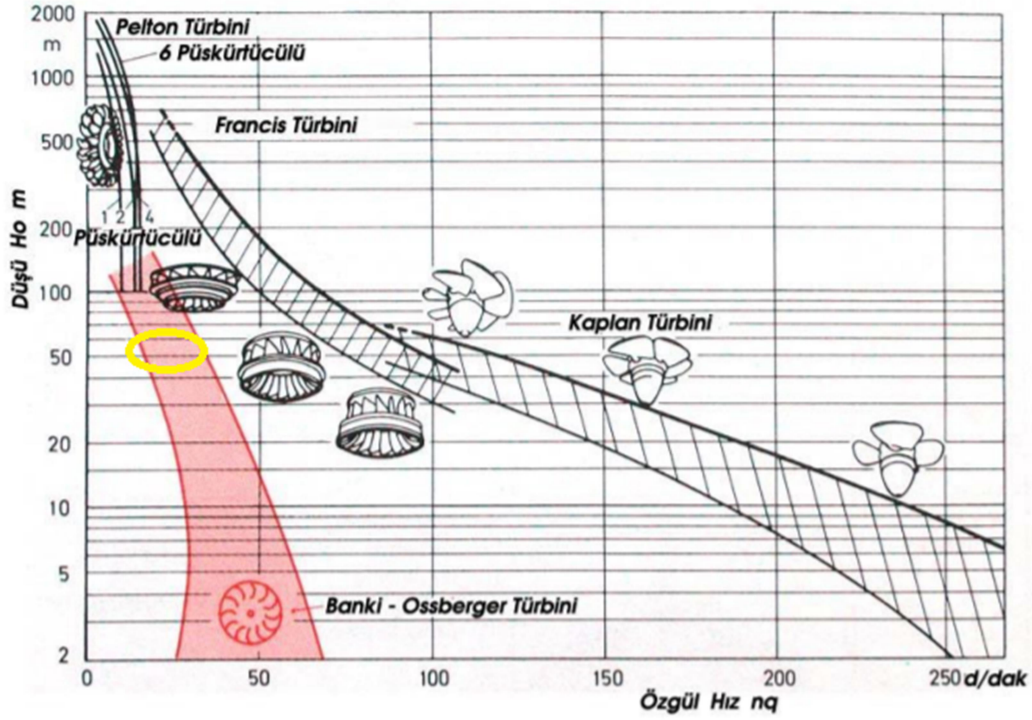
Öncelikle Şekil 5.1.e teze konu olan parametreler üzerinden bakmak ve değerlendirmek gerekmektedir. Projede net düşü 61,47m ve proje debisi $0,45m^3/sn$ olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.1. Türbin Tipleri İçin Debi-Düşü Grafiği [13]

Proje verilerinin denk geldiği bölge Şekil 5.1’de sarı elips ile işaretlenmiştir. Bu bölgede özellikle cross-flow tipi türbinlerin uygun olacağı açık olarak görülmektedir. Türbinlerin özgül hızı ile düşüsünü birlikte değerlendiren grafik Şekil 5.2’de gösterilmektedir. Banki-Ossberger türbin tipi cross-flow türbin tipinin bir diğer adıdır. Bu bölgede cross-flow türbinin bu düşü ve hesaplanan özgül hız değerleri sarı elips ile işaretlenmiştir. Cross-flow tipi türbin bu parametreye göre de uygun olmaktadır.

Sistemde dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise debinin sürekliliğidir. Özellikle akarsu tipi türbin sistemlerinde debide sabit bir miktar yerine belirli aralıklarda çalışma prensibi benimsenmektedir. Bolu İli Örneğinde ise su isale hattına bağlı olarak gelen suyun kaynağında bir regülatör olacağından dolayı debinin stabilitesi akarsu tipine göre daha mümkün olacaktır. Bu da sistemin kararlılığını ve verimini doğrudan doğruya etkileyecektir. Eğer bu kararlılık sağlanamamış olsa dahi, hesaplamaların tamamı yağış ve akış verileri ile maksimum ve minimum değerlerin tespiti üzerinden bu tespitlere uygun aralıkta bulunan türbin tipi seçimi yapılmıştır.



Şekil 5.2. Türbin Tipleri İçin Özgül Hız-Düşü Grafiği [15]

“Düşü, debi ve özgül hızın dışında türbinin verimlilik eğrisi de türbin seçiminde önemli bir kriterdir. Tepki tipi türbinler, düşük yükler için yüksek verimlilik, Pelton tipi türbinler ise geniş yük aralığında yüksek verimlilik sağlamaktadırlar. Francis ve kaplan türbinleri dar yük aralığında anma yükü ve üstünde yüksek verimlilik sağlamaktadırlar. Banki tipi türbinler, genel olarak en düşük verim değerini sergileyen türbinlerdir.” [16]

Her ne kadar Banki Tipi Türbinlerin en düşük verim değerlerini sergileyen tip olduğu iddia edilsede bu genelleme ile hareket edilmeden, coğrafya, topoğrafya gibi doğal verilere bağlı kalınarak yapılabilecek optimum çözüme odaklanmak ve seçimi yapmak gerekmektedir.

Türbin verimliliğini çalışma esnasında önemli derecede etkileyen diğer bir önemli husus ise kavitasyon problemidir. Akışkanların belirli bir hızdan sonra kaynama sıcaklığının düşmesi ve bunun sonucunda ortam sıcaklığı ile kaynama noktasının aynı olduğu anda akışkanda kaynama gerçekleşmesi sonucunda buharlaşan akışkanın baloncuklar halinde akışkan ortamında bulunmasıdır. Bu olayın sonucunda basıncın düşmesi eğer türbinin ayar kanadı ile çark arasında

gerçekleşirse bu bölgede suyun akış hızı artar ve debinin sabit olduğu varsayımı sonucunda akış alanı azalır, bu durum alanı düşürür yada alanın sabit kalması durumunda ise debi düşer. Her iki durumda da türbinden alınan güç azalır. Kavitelerin akışkan içinde birikmesi ve çökmesi durumunda türbinin dönüşü zorlanacağından dolayı verimi düşecektir. Kavitasyonun güce etkilerinin haricinde, malzemeleri deforme edici bir etkiside bulunmaktadır. Kavitasyonun aşındırıcı etkisi uzun vadede yapıların işletme-bakım maliyetlerini oldukça arttıracaktır. Kavitasyon sonucu akışın düzensiz hale gelmesi türbinde osilasyona neden olacağından dolayı ciddi anlamda verimde düşmeye ve osilasyondan kaynaklı sistemde bulunan malzemelerin yorulmasına sebep olacaktır. *“Kavitasyondan kaçınmak için türbin, kıyruk suyu seviyesinin aşağıda verilen formül ile hesaplanan değer kadar üstüne koyulması gerekmektedir.”[17]*

$$Z = H_{\text{atm}} - H_{\text{kaynama}} - \delta_T - H_n + (V_e^2 / 2g) + H_{DT}$$

H_{atm} : Atmosferik basınç yüksekliği(m)

H_{kaynama} : Akışkanın kaynama basıncı yüksekliği (m)

δ_T : Thoma Sigma Katsayısı

H_n : Net yükseklik farkı (m)

V_e : Akış borusu hızı (m/s)

H_{DT} : Akış borusu yüksekliği (m)

g : Yer çekimi ivmesi (m/s^2)

5.2 Boru İçi Türbin ile Geleneksel Türbin Karşılaştırması

Geleneksel türbin ile boru içi türbinlerin karşılaştırılması sırasında verimlilikleri, yatırım ve işletme maliyetlerini incelemek uygun bir yaklaşım olacaktır. Verimlilik, aynı düşü, debi ve boru çapı gibi değişkenlerin aynı yada yaklaşık olduğu sistemler arasında bakıldığında geleneksel türbinde yaklaşık 1,49 m^3/s ile 2,21 m^3/s aralığında ve 64,9 m ile 82,1 m düşü değerleri aralığında %92,9 verim ile çalıştığı görülmektedir. Boru içi türbin sistemlerinin verimliliklerine bakıldığında geleneksel türbinin maksimum verimlilik değeri olan %92,9 değerine yaklaşık 1,11 m^3/s ile 2,62 m^3/s debi aralığında ve 54,9 m ile 92,1 m düşü değerleri arasında ulaşabilmektedir. Bu durumda boru içi türbinler geleneksel

türbinlere kıyasla yaklaşık 2 katı kadar geniş bir debi ve düşü aralığında aynı verimlilikte çalışabilmektedir. Bu durum, boru içi türbinlerin çalışabileceği aralığı arttırarak çevresel değişkenlerden daha bağımsız bir şekilde enerji üretimini görece yüksek verimde gerçekleştirebilmektedir.

Yatırım maliyetleri incelendiğinde, gerek inşa süresini, gerek sistemlerin parçalarının kurulum ve üretim güçlüklerini alt maddelerde bakılarak sonuca varmak gerekmektedir. Geleneksel türbinlerin parçaları, özellikle salyangoz yapısı, daha yüksek maliyetler ile gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, inşa sürecinde geleneksel türbinler daha uzun süreçlere ihtiyaç duymaktadır. İnşa sürecinde oluşabilecek hataların tolerans payı çok az olmakla beraber, üretim güçlüğü bu toleransın düşüklüğü ile bakıldığında hem işin yapımını zorlaştırmakta ve süreci uzatmakta hem de maliyetleri her açıdan arttırmaktadır. Boru içi türbinlerde bu maliyetler azalmaktadır. Şöyle ki, geleneksel türbinin en maliyetli ve problemlili parçası olan salyangoz yapısını sistemde çıkartmakta ve böylece inşa sürecinin hata toleransını arttırmaktadır ve maliyetleri azaltmaktadır.

İşletme sürecinde gerekli bakım maliyetleri geleneksel türbinlerde ciddi bir husus olarak ortaya çıkmaktadır. Gerekli bakımların yapılmaması durumunda verimlilik ciddi miktarda düşmekte hatta sistemin zarar görerek kullanılamaz hale gelmesine sebep olabilmektedir. Bunun en önemli sebeplerinden biri, akışkanın türbin kanatlarına düzenli bir dağılım halinde gelmemesi ve bunun sistemde osilasyona, kavitasyona ve uzun vadede ciddi bir arızaya yol açan sürecin ana sebebi olarak görülmektedir. Boru içi türbinlerde kanatlara gelen akışkan daha düzenli bir akış halinde gelmesinden dolayı sistemde arıza olma ihtimali azalmaktadır. Bu durum bakım maliyetlerini azaltmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günden güne dijitalleşmenin arttığı dünyada elektrik enerjisinin önemi hayati seviyelere ulaşmaktadır. Elektriğin olmadığı bir dünyada insanlık kısa süre içinde taş devirene dönme ihtimali ile yüzleşecektir. Elektriğin olmadığı varsayımı üzerinden bir senaryo düşünmek gerekirse, elektrikli ev aletleri çalışmayı bırakacaklar, sosyal medya ve internet üzerinden yapılan her türlü işlem duracak, özellikle internet bankacığının yaygınlaştığı ve insanların mal varlıklarının veya yatırımların sanal bir ortam kayıt altında olması ve işlem görmesinden dolayı bu veriler kullanılamama veya kaybolma riski ile karşı karşıya gelecekler, doğal gaz enerjisi ile ısınan evlerin kombileri elektrik yoksunluğunda çalışmayacak, şarjlı aletler sadece şarjı bitene kadar çalışabilecek, uluslararası iletişim ve uydu teknolojisi çalışmayacak hale gelecek, buzdolapları çalışmayacak ve gıdalarda bozulmalar başlayacak, fabrikaların tamamında üretim duracak, hastanelerde hastalara müdahale mümkünsüz hale gelecek, kısacası insanlığın kullanmış olduğu aletlerin neredeyse tamamı çalışmaz hale gelecektir. Bu da toplumsal bir kaosu doğuracaktır. Elektriğin her zaman kolaylıkla ulaşılabilir olduğuna alışılan günümüz dünyasında, bu senaryo akıllara fazla gelmese de yada böyle bir duruma çok ihtimal verilmese de, insanlık enerji kaynağı olarak elektriğin önemini onun yokluğunu ve yokluğunun sonuçlarını hayal ederek anlayabilecektir.

Enerji kaynağının karbon temelli kaynakların yakılması veya işlenmesi sonucunda elde edilmesi sürdürülebilir bir seçenek olmamasından dolayı, temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağına yönelim önümüzde ki yıllarda artacaktır. Yeşil enerji adı ile anılan bu konseptin önemi ve değeri her geçen gün artmaktadır. Teze konu olan HES yapısının sürdürülebilir ve temiz bir enerji sunduğu açıktır.

Temiz enerji üretim kaynaklarından biri olan su enerjisi ile çalışan HES yapılarında şüphesiz su varlığı en önemli unsurdur, su olmadan HES yapılarının çalışması mümkün olmayacaktır. Dünya da ve Türkiye de su kaynaklarının azalması, HES yapılarının üretim kapasitesine etki edecektir. Ülkelerin su kaynaklarını planlama konusunda hızlı davranmalı ve suya gereken önemi hem suyun direk kullanımı hemde suyun enerji üretmek için dolaylı kullanımı sebebiyle vermelidir.

Su enerjisinin verimli şekillerde enerji transferinin gerçekleştirilmesi için enerji dönüştürücü olan türbinler, HES yapısının bulunacağı bölgenin verileri ve verilerle elde edilen parametreleri tekniğin verdiği imkanlar neticesinde değerlendirilerek doğru türbin seçimi yapılmalı ve böylece su ve enerji kaybı minimuma indirilmelidir. İtici kuvvet etkili türbinler prensip olarak yüksek düşü ve düşük debili sistemlerde tercih edilmektedir. Reaksiyon etkili türbinler düşü ve yüksek debili sistemlerde daha verimli çalışmaktadır. Türbinlerde ve HES sistemlerinde enerji kayıplarının azaltılması için daha iyi türbin tasarımları ve daha verimli sistemlerin yapılması için bu alanda çalışmalar yapılması gerekmektedir. Su isale hattı üzerine kurulan HES yapılarında özellikle suyun iletimi sırasında oluşan enerji kayıplarının azaltılması için mümkün olduğunca düz bir hat ile su iletmeli ve suyun iletim boruları içinde dönüş gibi bölgelerde enerjisinin bir miktarını bırakması engellenmelidir. İletim hattı olarak tercih edilen malzemeden kaynaklı sürtünme kayıplarında azaltılması için malzeme teknolojisi üzerine çalışmalar yapılarak daha az maliyetli, daha dayanıklı, sürtünme kaybına sebep olan pürüzlülük oranı daha düşük malzemelerin üretimi sağlanmalıdır.

Bolu İli Örneğin de üretilmesi ön görülen enerjinin miktarının daha iyi algılanması için kaç eve veya nasıl bir nüfusa bu enerjinin yeteceği konusunu irdelemek gerekmektedir. *“2011’de yapılan TEİAŞ araştırmasında, Türkiye’de iki çocuklu dört kişilik bir ailenin yıllık ortalama elektrik tüketimi 3036 kWh olarak bulunmuştur[18]”*. Geçen yıllar sürecinde evlerde kullanılan elektrikli alet miktarının artmış olması ve aynı zamanda kullanılan aletlerin daha verimli, daha az miktarda elektrik tüketen aletlerin gelişmiş olması gibi durumlar göz önünde bulundurularak mevcut veri tamamen varsayımsal olan %50’lik bir artış ile güncellendiğinde ise bu miktar yıllık 4554 kWh olmaktadır. Bolu İli Örneğinde Çele Barajı devreye girmeden önce 340000 kWh elektrik üretimi ön görülmektedir. Bu durumda 74 adet ailenin yıllık elektrik ihtiyacı karşılanmış olacaktır. Çele Barajının devreye girmesi ile ise 1670000 kWh elektrik üretimi ön görülmektedir. Bu durumda 366 ailenin yıllık elektrik ihtiyacı karşılanmış olacaktır.

Karbon ayak izi açısından konu değerlendirilecek olursa; *“Avrupa Birliği, elektrik enerji karmasının (kömür, doğalgaz, hidroelektrik ve nükleer gibi) kWh başına düşen CO₂ emisyonunu 0,443 kg olarak vermiştir. [19]*. Bu durumda Çele

Barajı devreye girmeden 150620 kg, Çele Barajının devreye girmesi ile ise 739810 kg karbon salınımının önüne geçilmiş olunacaktır.

Sistemin çalışmasının sürdürülebilirlik, temiz olması, işletme maliyetlerinin düşük olması ve önceki bölümlerde açıklanan ekonomik analizi gibi hususlar incelendiğinde ve bu şekilde değerlendirildiğinde üretilen enerjinin miktarının sayıların ötesinde bir değerinin olduğu anlaşılmaktadır. Yapılacak olan yatırımlara sadece ticari odaklı bakmamak ve nihayetinde kurulacak olan tesisin yatırımını, tesisin parametrelerine bağlı olarak, kısa vadede yada uzun vadede geri döndüreceği bilinmelidir.

Bunun gibi tesislerin başka alanlarda da uygulanması, benzer sistemlerin sayısının artması ve böylece elektrik ihtiyacına ait daha büyük bir oranın temiz enerji ile karşılanması her geçen gün daha büyük önem kazanacaktır. İçme suyu arıtma tesisi gibi tesislerin yanı sıra aynı prensiple çalışan atıksu arıtma tesislerinin deşarj noktalarına da bu tip tesislerin kurulması üzerine çalışmalar yapılmalıdır.

Boru içi türbinlere bir bakış atmak gerekirse, her açıdan daha avantajlı olan ve geleneksel türbinler kadar kullanılmayan bu yapıların yaygınlaştırılması ve teknolojisinin geliştirilmesi gerekmektedir. Alt yapı sistemlerimize entegre edilerek kullanılabilecek olan boru içi türbinleri daha kullanışlı ve uygulanabilir bir tasarım ile enerji üretimine geleneksel türbinlere göre daha verimli bir seçenek sunabilecektir.

7. KAYNAKLAR

Bu tez çalışmasında Vancouver atıf sistemi kullanılmıştır.

1. "Türkiyede Yeşil Enerjinin Payı Yüzde 53'e Yükseldi" [Internet]. [Alıntı yapıldı: 2021 Eylül 17]. Mevcut: <https://temizenerji.org/2021/09/17/turkiyede-yenilenebilir-enerjinin-payi-yuzde-53e-yukseldi/>
2. Murat Gökdemir, Murat İhsan Kömürcü, Taylan Ulaş Evcimen, Türkiye'de Hidroelektrik Enerji ve HES Uygulamalarına Genel Bakış; s.19 ; TMH-471, Ocak 2012
3. DSİ, 2004. Düünden Bugüne DSİ 1954-2004, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Etüt Plan Şube Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
4. "Hidroelektrik Enerjisi ve Santrallerin Çalışma Prensibi" [Internet]. [Alıntı Yapıldı: 2021 Haziran]. Mevcut: <https://www.tesisat.org/hidroelektrik-enerjisi-ve-santrallerin-calisma-prensibi.html>
5. "Su değirmeni" [Internet]. [Alıntı Yapıldı: 2021 Haziran 1].Mevcut: <https://www.pressreader.com/>
6. Dünya Enerji Konseyi Türkiye, 2021 Yenilenebilir Enerji Küresel Durum Raporu Özeti, Haziran 2021
7. Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı, Sektörel Analiz Raporu Mikro HES
8. [Internet] [Alıntı Yapıldı: 2021 Haziran]. Mevcut: <https://turkish.alibaba.com/product-detail/Easy-Operation-Micro-Water-Turbine-Generator-60514854260.html>
9. [Internet]. [alıntı yapıldı: 2022 Şubat 8] Mevcut: <http://www.tanakahydro.jp/products/>
10. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Mart 2007
11. T.C. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Mart 2018
12. "Resmi İstatistikler" [Internet]. [Alıntı Yapıldı: 2021 Haziran] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Mevcut: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=undefined&m=BOLU>
13. Mehmet Semih Özdemir, Adem Dalcı, Cemil Ocak, Akarsu Tipi Hidroelektrik Santraller ve Bu Santrallerde Kullanılan Türbin-Generatörler; s.69-75; Müh. Bil. Araş. Dergisi-2, 2020
14. Hüseyin Çetintürk, Boru İçerisinde Francis Tipi Türbin Tasarımı,Yükseklisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nisan 2016
15. "Hidrolik Akım Makineleri Ders Notları" [Internet] [Alıntı Yapıldı: 2021 Haziran] Mevcut: <https://avesis.ktu.edu.tr/>
16. V. Yıldız, "Numerical simulation model of run of river hydropower plants: concepts, numerical modeling, turbine system and selection, and design optimization", Yükseklikans Tezi, University of California, California, USA, 2015
17. B.A. Nasir, " Design of Micro-Hydro-Electric Power Station", International Journal of Engineering and Advanced Technology, ISSN: 2249 – 8958, Sayı:2 Bölüm:5, Haziran 2013
18. "Türkiye'de Hane Başına Düşen Ortalama Elektrik Tüketimi Ne Kadar?" [Internet]. [alıntı

yapıldı: 2021 Kasım 15]. Mevcut: <https://gazelektrik.com/faydali-bilgiler/elektrik-tuketimi>

19. "Enerji Verimliliği ve Karbon Ayak İzi" [Internet]. [alıntı yapıldı: 2021 Ağustos 29]. Mevcut: <https://www.dunya.com/gundem/enerji-verimliliği-ve-karbon-ayak-izi-haberi-255976>

