

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İÇME SUYU TESİSLERİNDEN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ
TRABZON ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisi Sadık DERTLİ

MART 2020
TRABZON



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**İÇME SUYU TESİSLERİNDEN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ
TRABZON ÖRNEĞİ**

Elektrik-Elektronik Mühendisi Sadık DERTLİ

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“ELEKTRONİK YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15.02.2020
Tezin Savunma Tarihi : 13.03.2020**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ

Trabzon 2020

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması ile içme suyu tesislerinden elektrik enerjisi üretimi alanında akademik bir çalışma yapmakla birlikte belediyelerin potansiyelleri hakkında farkındalık yaratmak da amaçlanmıştır.

Sınırlı enerji kaynaklarının paylaşımı, yarattıkları çevresel etkiler ve artan fiyatlar nedeniyle çeşitli sorunlar yaşanmaya başlanmıştır. Dünya genelinde kullanılan toplam enerjinin % 7 si su için harcanmaktadır. Bu sebeple enerji; su idarelerinin de belediyelerin de en temel gider kalemlerindedir. Bu çalışma sayesinde belediyelerin elektrik giderlerinde oluşacak azalma TİSKİ Genel Müdürlüğünce Trabzon'da yapılan örnek iki içme suyu HES tesisleriyle incelenecektir.

Uzun soluklu bu tez kapsamında çalışma fırsatını yakaladığım, çalışmalarım boyunca yardımını ve kıymetli vaktini ayırırken hoşgörü ile samimiyetini esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ'a saygı ve sevgilerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince hiçbir konuda yardımını esirgemeyen, metanet ve destekleriyle hep yanımda olan Doç. Dr. Cihan TOPÇU ve Şennur TOPÇU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Onüç yıl aradan sonra tez çalışmama tekrar başlamam, en sıkıntılı anlarda bile desteğini hoşgörü ve yardımlarını esirgemeyen, manevi katkıları ile beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan, çalışmalarım süresince sabır ve anlayışından taviz vermeyen eşim Hanife'ye neşe kaynaklarım Merve, Mete, Mina ve Mustafa'ya minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Hayatım boyunca destekleri ile yürüdüğüm, varlıkları ile bana güç veren ve hep yanımda olan anneme ve kardeşlerime en kalbi şükranlarımı sunarım.

Bu tez çalışmasını aileme ithaf ediyorum.

Sadık DERTLİ
Trabzon, 2020

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “İçme Suyu Tesislerinden Elektrik Enerjisi Üretimi - Trabzon Örneği” başlıklı bu çalışmayı, baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ’un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabal ettiğimi beyan ederim.

13/03/2020

Sadık DERTLİ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Taraması	6
1.2. Tez Çalışmasının Amacı	10
1.3. İçme Suyu Üretimi ile HES Enerji Üretimi Çelişikliği.....	11
1.4. HES'lerin Genel Yapısı ve İçme Suyu HES'leri.....	13
1.5. HES Güç Hesabı.....	14
1.6. Hidrolik Türbinler	16
1.6.1. Kaplan Türbini	18
1.6.2. Francis Türbini	19
1.6.3. Pelton Türbini.....	20
1.6.4. PaT Türbini (Pump as Turbine).....	22
1.6.5. Karşı Akışlı (Cross-Flow) Türbinler	23
1.7. Su Kalitesi	24
1.7.1. Kirlilik durumuna göre suyun sınıflandırılması	25
2. ESİROĞLU İÇME SUYU HİROELEKTRİK SANTRALİ TESİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ.....	26
2.1. Esiroğlu Hidroelektrik Santrali Saha Konumu ve Yerleşim Planı	26
2.2. Esiroğlu Hidroelektrik Santrali Hidrolik Beslemesi	27
2.2.1. Su Alma Yapısı Karakteristikleri	29
2.2.2. Cebri Boru	31
2.2.3. Regülatör ve Pantolon Yapısı.....	31
2.2.4. Santral Branşman Yapısı	32
2.3. Santral Binası Genel Yapısı	32

2.3.1.	Esiroğlu HES Türbini.....	35
2.3.2.	Esiroğlu HES Jeneratörü (Alternatör).....	37
2.3.3.	Esiroğlu HES Ana Trafo ve Yardımcı Trafolar.....	37
2.3.4.	Esiroğlu HES Dizel Jeneratörü.....	38
2.3.5.	Esiroğlu HES İğne (Plunger) Vanalar.....	39
2.3.6.	Esiroğlu HES Basınç Tahliye (relief) Vanası.....	39
2.3.7.	Esiroğlu HES Enerji Nakil Hatları.....	40
3.	KARAKAYA (AğILLI) İÇME SUYU HİROELEKTRİK SANTRALİ TESİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ (PaT UYGULAMASI).....	43
3.1.	TİSKİ Karakaya Mikro HES Yapısı ve Yerleşim Yeri.....	43
3.2.	Asenkron Makineler.....	45
3.3.	Asenkron Jeneratörlerin Avantajları (PaT Sistemler İçin).....	46
3.4.	Pompaların Trbın Olarak Kullanılmasında (PaT) Genel zelikler.....	47
3.5.	Trbınler ile PaT Karşılaştırılması.....	48
3.7.	Karakaya HES Scada ve Otomasyon Sistemi.....	50
4.	YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR.....	53
4.1.	Karakaya Mikro HES Ortalama Güç.....	53
4.2.	Karakaya Pat Tipi Mikro HES Tesisinin Basınç Değişimine Göre Debi, Sistem Verimi ve üretilen Elektrik Enerjisi Test Çalışmaları.....	53
4.3.	Karakaya Mikro HES Finansal Analiz.....	60
4.4.	İçme Suyu HES'lerinin Su Tahsisleri Açısından İncelenmesi.....	63
4.6.	İçme Suyu HES'lerinin Çıkış Basınçları.....	64
4.7.	İçme Suyu HES'lerinin Gerilim Düşümü, Kapasite Kullanım Oranları ve İletim Avantajları.....	64
4.8.	Esiroğlu HES Finansal Analiz.....	66
4.9.	TİSKİ Elektrik Tüketimi ve Elektrik retimi.....	70
4.10.	HES'lerin Su Kalitesine Etkisi.....	73
4.10.1.	Eser Miktar Parametreleri.....	74
4.10.2.	Fiziki Parametreler.....	75
4.10.3.	Temel Analiz Sonuçlarına Göre HES'lerin Su Kalitesine Etkisi.....	80
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	92
6.	KAYNAKLAR.....	95
8.	EKLER.....	99
	ZGEÇMİş	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

İÇME SUYU TESİSLERİNDEN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ-TRABZON ÖRNEĞİ

Sadık DERTLİ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ
2020, 98 Sayfa, 5 Sayfa Ek

Bu tez çalışmasında, geniş bir uygulama alanının yanı sıra yüksek karlılık oranına sahip ve ülkemizde farklı endişelerle de pek uygulanmayan içme suyu tesislerinden elektrik enerjisi üretilmesi üzerine odaklanılmıştır. İçme suyu debileri genellikle mansab kaynaklı yüksek değişkenlik gösterdiğinden sistem tasarımlarında bu durum özellikle göz önüne alınmıştır. Santral tip ve türbin seçimlerinde gece geç saatleri ile sabah erken saatleri arasındaki birkaç katlık debi değişkenliğide dikkate alınarak tasarımlar yapılmıştır. Ayrıca Trabzon İçme suyu ve Kanalizasyon İdaresinin (TİSKİ) 2026 vizyonuna göre çalışma yapılacak tesislerden birinin ortalama debisi %40 oranında azalacağı öngörüsü de bir santralin dizaynında dikkate alınmıştır. İdarenin en yüksek debiye sahip Esiroğlu arıtma sahasında 5 inkjete sahip Pelton tip türbinli tasarlanan sistemin seçim kriterleri ve işletme kolaylıkları üzerine araştırmalar yapılmıştır. Enerji nakil hattı hesapları ve enerji sistem tasarımları santral çalışmasa dahi sistemi etkilemeyecek şekilde dizayn edilmiş ve bilgisayar destekli hesaplamaları yapılmıştır. Sabit debili içme suyu tesisleri için çok ekonomik çözüm olan PaT sistemler üzerine de bir çalışma yapılmış ve devreye alınmıştır. Pompa türbinli ve asenkron motorlu bu sistemlerin ekonomik analizlerinin yanı sıra kimyasal etkileri de detaylı bir şekilde incelenmiştir. Aynı şekilde Esiroğlu HES'in de finansal analizi yapılmıştır. Sistemlerin otomasyon-scada sistemleri kullanılarak üretici firmaların beyan ettiği katalog verileri sahada elde edilen verilerle karşılaştırılmış, eşitlikleri çıkarılmıştır. Ayrıca türbinlerin su kalitesine etkisi analiz edilmiştir. Kullanılan suyun kimyasal analizleri detaylı bir şekilde gerçekleştirilmiş ve farklı tip türbin ve santral çeşitlerinin içme suyu kalitesine etkileri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Hidroelektrik Santraller, İçme Suyundan Elektrik Üretimi, Elektrik Enerjisi Üretimi, Pelton Türbin, PaT, Pumps as Turbin, Sıfır Karbon Salınımı, Ekonomik ve Çevre Dostu Elektrik Üretimi, HES, Su-Kanal İdareleri, Su Kalitesi, HES'lerin su kalitesine etkisi, Elektrik Üretimi, Belediye, Yatırım, İçme Suyu.

Master Thesis

SUMMARY

ELECTRICITY PRODUCTION FROM DRINKING WATER PLANTS-CASE OF TRABZON

Sadık DERTLİ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electric-Electronic Engineering Program
Supervisor: Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ
2020, 98 Pages, 5 Pages Appendix

In this thesis, we are focused on generation of electricity from drinking water plants which have a high application rate as well as a wide application area and are not applied with different concerns in our country. As drinking water flows generally show high variability from downstream, this condition is particularly taken into account in system designs. In the power plant type and turbine selections, the design has been designed by considering several flow variations between late night and early morning hours. In addition, according to the 2026 vision of Trabzon Drinking Water and Sewerage Administration (TİSKİ), the prediction that the average flow rate of one of the facilities to be operated will decrease by 40%. In the Esiroğlu treatment area, which has the highest flow rate of the administration, researches were made on the selection criteria and operational facilities of the system designed with Pelton type turbine with 5 inkjet. Energy transmission line calculations and energy system designs have been designed so as not to affect the system even if the plant is not working and computer aided calculations have been made. A study was also carried out and commissioned on PaT systems, which is a very economical solution for fixed flow drinking water plants. In addition to the economic analysis of these systems with pump turbines and asynchronous motors, their chemical effects are also examined in detail. Likewise, financial analysis of Esiroğlu HES was made. The catalog data declared by the manufacturers are compared with the data obtained in the field by using the automation-scada systems of the systems. In addition, the effect of turbines on water quality was analyzed. Chemical analysis of the water used was carried out in detail and the effects of different types of turbines and power plants on drinking water quality were investigated.

Key Words: Renewable Energy Sources, Hydroelectric Power Plants, Electricity Generation from Drinking Water, Electric Power Generation, Pelton Turbine, PaT Turbine, Zero Carbon Emission, Economic and Environmentally Friendly Electricity Generation. HEPP, Water-Channel Administrations, Water Quality, Impact of HEPPs on water quality, Electricity Production, Municipality, Investment, Drinking Wate.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	2019 yılı elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı	5
Şekil 2.	Santrallerin enerji kaynağı türlerine göre 24 saatlik elektrik üretimi	11
Şekil 3.	Enerji HES genel yapısı	13
Şekil 4.	İçme suyu tipi HES genel şeması	14
Şekil 5.	Debi ve basınça göre türbin çalışma bölgeleri.....	17
Şekil 6.	Hidrolik türbinlerin kısmi yükler göre verim değişimi.....	18
Şekil 7.	Kaplan türbin çarkı	19
Şekil 8.	Francis türbin çarkı	20
Şekil 9.	Pelton türbin çarkı.....	21
Şekil 10.	Pelton türbin çarkı (a), Kepçe kesit görünüşü (b).....	22
Şekil 11.	Karakaya (Ağıllı) mikro HES' inde kullanılan PaT sistemi.....	23
Şekil 12.	Karşı akışlı (cross-flow / banki) türbin.....	24
Şekil 13.	Esiroğlu içme suyu arıtma tesisi şematize gösterimi.....	26
Şekil 14.	Esiroğlu içme suyu arıtma tesisinin konumu.....	27
Şekil 15.	Esiroğlu Hidroelektrik Santrali'nin hidrolik beslemesi projesi ve şematik gösterimi.....	28
Şekil 16.	Esiroğlu Hidroelektrik Santrali'nin hidrolik beslemesi konum gösterimi	28
Şekil 17.	Baraj yüzeyi dubalı su alma yapısı	30
Şekil 18.	Regülatör ve pantolon yapısı	31
Şekil 19.	Santral branşman yapısı	32
Şekil 20.	Santral binasının genel yerleşimi.....	33
Şekil 21.	Santral binası cephe görünümü.....	34
Şekil 22.	Esiroğlu HES 5 inkjetli dikey tip pelton türbin çarkı	36
Şekil 23.	Alternatör (jeneratör)	37
Şekil 24.	Esiroğlu kuru tip trafo.....	38
Şekil 25.	Dizel tip jeneratör	38
Şekil 26.	Esiroğlu iğne (plunger) tip vana	39
Şekil 27.	Y tipi basınç tahliye (relief) vanası.....	40
Şekil 28.	Esiroğlu HES enerji hatları	41
Şekil 29.	Enerji nakil hatları ve OG sistemi	42
Şekil 30.	Karakaya içme suyu grubu mikro HES yerleşim planı	44

Şekil 31.	Karakaya içme suyu grubu mikro HES santral binası	44
Şekil 32.	Karakaya içme suyu grubu mikro HES hidromekanik bağlantılar	45
Şekil 33.	Asenkron makine	46
Şekil 34.	PaT türbin olarak kullanılan farklı türde pompaların çalışma aralıkları.....	48
Şekil 35.	PaT türbin jeneratör genel görünüşü.....	50
Şekil 36.	PaT santral ve scada ekran görüntüsü.....	51
Şekil 37.	Karakaya mikro HES otomasyon panosu, PLC ve scada program ara yüzü.....	52
Şekil 38.	Karakaya mikro HES Üretici verilerinin saha ölçümleri ile karşılaştırılması (a) Debiye göre basınç değişimi (b)Debiye göre verimlilik (c)Debiye göre üretilen güç değişimi.....	55
Şekil 39.	Tablo grafikleri ile polinom grafiklerinin karşılaştırılması	58
Şekil 40.	PaT sisteminde asenkron makinenin çalışma bölgesi.....	59
Şekil 41.	Karakaya HES nakit akışı.....	62
Şekil 42.	4 Farklı bölgenin gün içi içme suyu tüketim debileri.....	65
Şekil 43.	Esiroğlu İçme Suyu Arıtma Tesisi geri yıkama pompaları	66
Şekil 44.	Esiroğlu HES nakit akış grafiği	69
Şekil 45.	TİSKİ Tonya Veli Tepesi içme suyu arıtma tesisi.....	71
Şekil 46.	TİSKİ aylık elektrik enerjisi tüketim miktarı ve tutarı grafiği	72
Şekil 47.	Fiziksel parametrelere göre santral giriş çıkış suyu değişim grafikleri (a) Bulanıklık, (b)Askıda katı madde, (c) Renk, (d) Sıcaklık.....	78
Şekil 48.	Temel analiz sonuçlarına göre HES'lerin giriş-çıkış parametrelerinin karşılaştırılması a)pH b)İletkenlik c)Alüminyum (Al) d)Demir (Fe) e)Mangan (Mn) f)Florür (F) g) Fosfat (PO ₄) h)Kalsiyum g)(Ca ⁺²) i)Magnezyum (Mg) j)Nitrat (NO ₃) k)Nitrit (NO ₂) l)Toplam Alkalinite m)Toplam Org. Karbon n)Toplam Sertlik (CaCO ₃) o)Klorür (Cl) p)Potasyum (K) r)Sodyum (Na) s)Sülfat (SO ₄).....	83

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Kaynaklarına göre Türkiye aylık elektrik üretimi (2018-2019 ilk 8 ay)	2
Tablo 2. Enerji amaçlı HES ve içme suyu HES öncelikleri.....	12
Tablo 3. Karakaya mikro HES PaT sistemi üretici verileri (Standart Pompa)	54
Tablo 4. Karakaya mikro HES saha deneysel ölçüm sonuçları	54
Tablo 5. Tesis maliyeti özet tablosu.....	60
Tablo 6. Yıllık faydalar	60
Tablo 7. Yıllık giderler (Amortisman Süresi 5 yıl alınmıştır).	61
Tablo 8. Karakaya HES nakit akışı.....	61
Tablo 9. Finansal tanım ve varsayımlar	67
Tablo 10. Esiroğlu HES nakit akışı ve borçlu karşılama oranı	68
Tablo 11. Finansal sonuç tablosu	70
Tablo 12. TİSKİ aylık elektrik enerjisi tüketimleri.....	72
Tablo 13. Tüm analizlerde eser miktarda (çok düşük) çıkan parametreler.....	74
Tablo 14. HES giriş ve çıkış suyu bulanıklık, sıcaklık, askıda katı madde ve renk analizleri	77
Tablo 15. HES'lerin giriş ve çıkış su analizleri karşılaştırması	81

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

S	: Kükürt
SO₂	: Kükürtdioksit
SO₃	: Kükürttrioksit
TWh	: Terawatt saat
L	: Litre
GWh	: Gigawatt saat
YEKDEM	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması
g	: Yer çekimi ivmesi
h	: Saat
HES	: Hidro elektrik santrali
PaT	: Pompa sürücülü türbin (Pumps as turbine)
s	: Saniye
TİSKİ	: Trabzon İçmesuyu ve Kanalizasyon İdaresi
kV	: Kilovolt
KÖK	: Kesici Ölçü Kabini
kWe	: Kilowatt elektrik
DC	: Doğru akım
kVA	: Kilovolt amper
EDAŞ	: Elektrik dağıtım anonim şirketi
ENH	: Enerji nakil hattı
MVA	: Megavolt amper
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
CFCU	: Merkezi Finans ve İhale Birimi
AB	: Avrupa Birliği
İTASHY	: İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik

1. GİRİŞ

Dünya üzerindeki ülkelerin sosyal ve ekonomik gelişiminde enerjinin büyük önemi vardır. Enerji ihtiyaçlarını kendi imkânları ile karşılayan ve hatta ihraç eden ülkeler gelişmiş ülke olarak sınıflandırılır. Ancak birkaç gelişmiş ülke haricindeki birçok ülke enerji ihtiyaçlarını kendi imkânları ile karşılayamamakta ve enerji üreten ülkelere temin etmektedir. Ülkemiz, enerji ihtiyacının bir kısmını kendi doğal kaynaklarını kullanarak üretmekte, kalanını ise enerji üreten ülkelere satın almaktadır.

Türkiye’de elektrik enerjisi doğalgaz, taş kömürü, linyit, ithal kömür ve motorin gibi fosil kaynaklı yakıtlardan ve güneş, biyogaz, hidroelektrik, rüzgâr ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmektedir [1].

Ülkemizde üretilen aylık elektrik enerjisi kaynaklarına göre ayrılarak Tablo 1’de verilmiştir [1].

Tablo 1. Kaynaklarına göre Türkiye aylık elektrik üretimi (2018-2019 ilk 8 ay)

AY	AKARSU	ASFALTİT KÖMÜR	ATIK ISI	HİDRO ELEKTRİK	BİYOKÜTLE	DOĞAL GAZ	FUEL OİL
Oca.19	2.186.761,82	168.206,64	56.436,33	5.457.724,04	254.118,11	5.402.001,89	136.501,90
Şub.19	2.135.045,16	159.951,98	50.452,18	5.030.812,94	232.037,45	3.564.381,58	116.343,30
Mar.19	2.626.384,65	132.127,67	52.652,48	5.077.427,84	261.195,98	4.255.006,87	140.683,30
Nis.19	3.495.639,63	189.145,50	57.893,26	6.473.604,55	261.268,00	3.118.247,02	108.035,80
May.19	3.950.717,18	193.360,07	60.762,55	7.638.108,80	272.254,19	2.929.341,75	136.717,90
Haz.19	2.416.970,63	159.897,07	53.251,26	7.184.775,55	254.413,08	2.983.887,36	126.192,26
Tem.19	1.506.345,73	189.717,76	38.112,37	6.122.945,25	265.938,12	6.004.313,73	25.868,60
Ağu.19	1.131.777,30	218.883,02	50.354,59	5.816.563,03	262.871,31	5.251.413,31	26.981,70
TOPLAM	18.317.864,80	1.192.406,69	369.560,43	42.985.398,97	1.801.224,93	28.257.180,20	790.343,06
AY	GÜNEŞ	İTHAL KÖMÜR	JEOTERMAL	LİNYİT	RÜZGAR	TAŞ KÖMÜR	TOPLAM
Oca.19	7.007,02	5.119.743,84	715.160,39	3.561.409,08	2.188.996,53	224.075,00	25.478.142,59
Şub.19	9.807,58	5.325.844,49	659.529,49	3.403.311,15	1.868.266,63	220.416,00	22.776.199,93
Mar.19	12.998,51	4.424.806,38	711.949,24	3.752.697,33	2.103.954,98	247.040,50	23.798.925,73
Nis.19	13.652,17	3.158.868,86	685.274,38	3.488.619,43	1.480.347,89	253.450,00	22.784.046,49
May.19	17.241,10	2.914.153,98	671.923,33	3.596.315,15	1.154.290,72	241.487,25	23.776.673,97
Haz.19	16.421,43	3.737.311,73	610.665,28	3.562.550,58	1.705.370,21	224.052,50	23.035.758,94
Tem.19	18.064,54	5.822.957,43	615.512,50	4.472.076,49	1.951.147,22	364.353,48	27.397.353,22
Ağu.19	19.190,24	5.749.350,68	598.989,30	4.310.660,50	2.641.024,76	326.191,36	26.404.251,10
TOPLAM	95.192,35	30.503.686,71	4.670.014,61	25.836.979,21	12.452.374,18	1.774.874,73	195.451.351,97

Tablo 1'in devamı

AY	AKARSU	ASFALTİT KÖMÜR	ATIK ISI	HİDRO ELEKTRİK	BİYOKÜTLE	DOĞAL GAZ	FUEL OİL	GÜNEŞ
Oca.18	1.440.038,64	179.589,81	62.065,00	3.081.555,01	181.776,12	8.997.292,20	128.344,61	1.643,24
Şub.18	1.467.234,78	176.037,37	51.386,18	2.116.044,66	172.420,82	7.602.700,19	103.633,07	2.134,37
Mar.18	2.773.322,20	181.560,70	59.957,48	3.477.068,10	192.903,71	6.400.982,77	99.827,80	3.113,95
Nis.18	2.444.078,07	155.965,95	60.667,46	3.881.655,76	192.345,08	6.449.432,43	111.046,50	4.361,60
May.18	2.549.600,41	216.189,68	64.846,78	3.928.364,24	191.488,04	5.719.983,57	134.862,50	3.778,65
Haz.18	1.970.266,22	164.526,23	61.826,05	3.688.506,25	189.948,32	6.188.257,13	130.022,30	4.091,53
Tem.18	1.177.233,40	199.862,29	65.522,29	4.659.081,80	191.748,32	10.536.513,74	137.937,45	4.579,22
Ağu.18	961.037,02	245.600,72	65.011,02	4.608.852,03	180.991,49	7.741.403,41	130.366,75	4.602,18
TOPLAM	14.782.810,74	1.519.332,75	491.282,26	29.441.127,85	1.493.621,90	59.636.565,44	976.040,98	28.304,74

AY	İTHAL KÖMÜR	JEOTERMAL	LİNYİT	LNG	RÜZGAR	TAŞ KÖMÜR	TOPLAM
Oca.18	5.711.090,85	597.977,68	3.611.222,92	529,83	1.803.266,50	222256,00	26.018.648,41
Şub.18	5.284.536,87	527.372,30	3.511.818,38	332,92	1.664.185,63	182.477,00	22.862.314,54
Mar.18	4.447.398,56	580.308,51	3.781.637,26	0	2.035.774,54	197.640,25	24.231.495,83
Nis.18	3.788.503,54	553.879,12	3.629.942,40	0	1.158.085,10	194.123,00	22.624.086,01
May.18	4.471.643,53	542.775,34	3.790.456,63	0	1.209.808,17	217.026,50	23.040.824,04
Haz.18	4.963.141,03	535.309,14	3.716.588,61	20,8	1.246.856,87	207.887,50	23.067.247,94
Tem.18	5.301.294,75	521.681,14	3.861.405,13	0	1.422.551,65	217.634,50	28.297.045,68
Ağu.18	5.849.602,94	543.677,57	3.805.940,05	0	2.332.275,74	216.415,50	26.685.776,42
TOPLAM	39.817.212,07	4.402.980,80	29.709.011,38	883,51	12.872.804,20	1.655.460,25	196.827.438,87

Tablo 1'deki veriler incelendiğinde Türkiye'de günlük elektrik üretiminin toplam % 50'den fazlası ithal edilen fosil yakıtlardan sağlandığı görülmektedir. Bu durum üretilen elektriğin ekonomik anlamda oldukça maliyetli olduğunu göstermektedir. Ayrıca ithal edilen elektriğin üretim kaynağı fosil yakıtlar olduğu için çevre sağlığı açısından da bir o kadar zararlıdır. Çünkü fosil yakıtlar karbon (C) ve kükürt (S) içeren yakıtlardır ve yanmaları sonucu çevreye zararlı karbon monoksit (CO), karbondioksit (CO₂), kükürt dioksit (SO₂) ve kükürt trioksit (SO₃) gibi zehirli gazları açığa çıkarırlar. Bu gazların sebep olduğu küresel ısınma gibi problemler artık tüm dünyanın ortak problemi haline gelmiştir. Günümüzdeki teknolojik gelişmeler ve nüfus artışı elektrik enerji tüketiminin artmasına ve kullanılan fosil yakıt kaynaklarının zamanla azalmasına yol açmıştır. Şuan dünya genelinde kısıtlı bir zaman aralığına yetecek kadar fosil kaynaklı yakıtların kaldığı düşünülmektedir. Bu nedenle insanoğlunun çevre dostu, maliyeti düşük, hiçbir zararlı etkisi olmayan ve uzun yıllar boyunca tükenmeyecek yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunmasına ve kullanılabilir hale getirilmesine olan ilgisi gün geçtikçe artmaktadır.

Türkiye'de elektrik enerjisi tüketimi 2019 yılı ilk 8 ayında 2018 yılı aynı dönemine göre % 1,04 azalarak 194.810.403 MWh, elektrik üretimi ise bir önceki yılın aynı dönemine göre % 0,7 oranında artarak 196,8 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. [1] Elektrik tüketiminin 2023 yılında bazı senaryolara göre yıllık ortalama % 4,8 artışla 385 TWh'e ulaşması beklenmektedir [2].

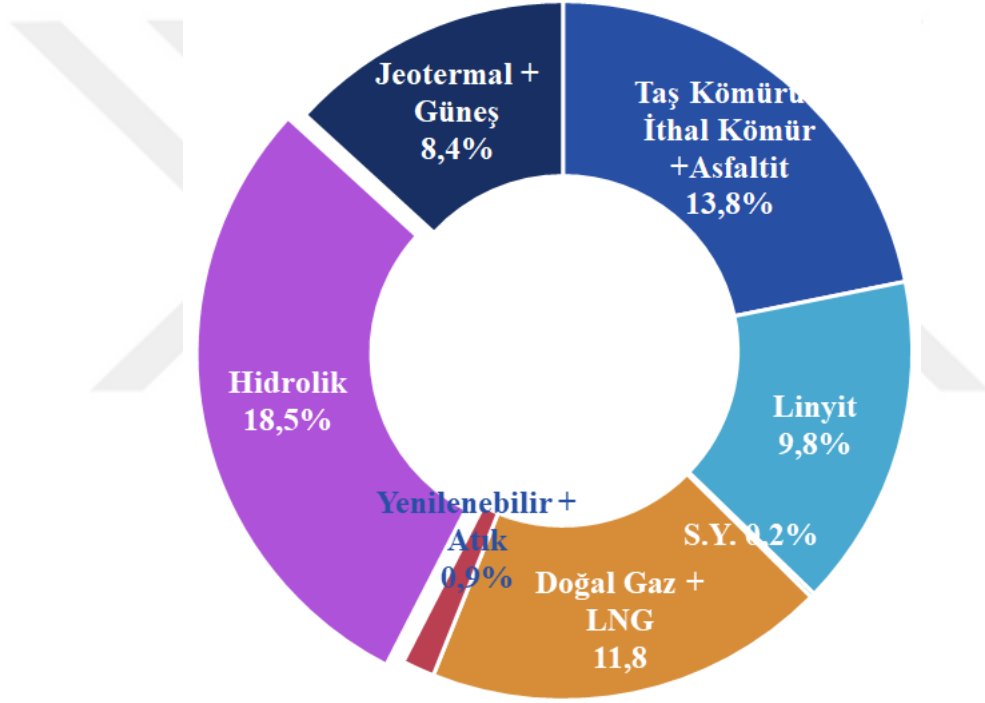
2019 yıl ilk 8 ayında elektrik üretimimizin, % 7,5'i akarsu HES'lerinden, %15'i barajlı HES'lerden, %30,3ü doğal gazdan, %20,2'si ithal kömürden %2,2'si jeotermal enerjiden, %15,1'i linyitten, %6,5'i rüzgardan, %3,2 si de diğer kaynaklardan elde edilmiştir. 2019 yılı Eylül ayı sonu itibarıyla ülkemizin kurulu elektrik üretim gücü 90.720 MW'a ulaşmıştır. Kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımı da üretim miktarlarına paralel bir dağılım göstermektedir. Ayrıca ülkemizde elektrik enerjisi üretim santrali sayısı, 2019 yılı Eylül ayı sonu itibarıyla 8.069'a (Lisanssız santraller dahil) yükselmiştir. Mevcut santrallerin 669 adedi hidroelektrik, 68 adedi kömür, 262 adedi rüzgâr, 52 adedi jeotermal, 330 adedi doğal gaz, 6.435 adedi güneş, 253 adedi ise diğer kaynaklı santrallerdir. [2].

Şekil 1'de TEİAŞ 2020 verilerine göre elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı grafiği verilmiştir. TEİAŞ verilerine göre hidrolik kaynaklı elektrik üretimi 2018 yılından 2019 yılına kurulu güç çok az artmasına rağmen (%0,7) hidrolik kaynaklı elektrik üretimi %48 artarak 88.885 GWh'e ulaşmış; hidroelektrik sistemlerin toplam kapasite kullanım

oranı da 2018 yılında %24,2'den %35,5 e çıkmıştır. Bu veriler 2019 yılında yağış oranının daha fazla olduğunu göstermektedir.

Biriktirmeli hidroelektrik santraller daha çok puant (17:00-22:00 saatleri arası) elektrik üretiminde kullanılırlar. Ancak içme suyundan elektrik üretimi sadece puant elektrik üretimine müsait olmayıp, elektrik üretiminin de su üretimine paralel kesintisiz olması gerekmektedir. Bu bağlamda Esiroğlu HES için beklenen kapasite kullanım oranı %85 ile ülkemiz hidrolik kapasite kullanımının 3 katına yakın bir orandadır.

2019 YILI ELEKTRİK ÜRETİMİNİN KAYNAKLARA GÖRE DAĞILIMI (TEİAŞ 2020)



Şekil 1. 2019 yılı elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı (TEİAŞ 2020).

Şekil 1'den de anlaşılacağı üzere doğalgazdan elektrik üretim oranı 2018 yılında %29,8 iken 2019 yılında %11,8'e gerilemiştir. Özellikle motor tipi doğalgaz santralleri doğalgaz zamları nedeniyle devreden çıkarılmış, linyit'den elektrik üretimi arttırılmıştır. Ancak doğalgaz çevrim santralleri yüksek verimli olduğundan üretimlerine devam edebilmektedirler.

Tüm bu veriler dikkate alındığında, ülkemiz için yeni elektrik enerjisi üretim kaynaklarına, çeşitliliğine, yöntemlerine ve tesislerine ihtiyaç vardır. Özellikle dünyamızı

tehdit eden çevresel sorunlar ve yaşamsal kalitemizi etkileyen iklimsel değişiklikler göz önüne alındığında elektrik enerjisi üretiminde kullanılacak yöntemlerin çevre dostu, yenilenebilir, maliyeti düşük ve elektrik enerjisi üretebilme potansiyelinin yüksek olması gerekmektedir.

Enerji arzı suya bağlı olduğu gibi su temini de enerjiye bağlıdır. Su ve enerjinin kritik kesişimi bu tezin ana çalışma alanını teşkil etmektedir. Enerji ve su ayrılmaz bir şekilde birbirine bağlıdır. Depolama, soğutma, biyoyakıtlar, hidroelektrik, dönüştürme vb. için **“enerji için suya”** ihtiyacımız vardır. Pompalama, arıtma ve kimyasal giderimi vb. için **“su için enerjiye”** ihtiyacımız vardır. Enerji ve su olmadan temel insani ihtiyaçları karşılayamıyor, hızla büyüyen bir nüfus için yiyecek üretmiyor ve ekonomik büyüme sağlayamıyoruz [3].

Dünya genelinde su dağıtımı için tüketilen enerji, küresel enerji kullanımının yaklaşık %7'sini oluşturmaktadır. Bu nedenle su-kanal idarelerinin en önemli gider kalemlerinden biri de enerji giderleridir. Örneğin bir musluk akışı bile (6 bar 15 l/dk) 150W'a kadar potansiyel enerjiye denk gelmektedir. Basınç ve debinin çok daha yoğun olması nedeniyle megawatlar seviyesinde enerji de içme suyu şebeke ve isale hatlarından her an akmakta ve kaybolmaktadır. Su-kanal idareleri ve belediyeler genellikle sadece suyun temini odaklı çalışmakta olup; sudan elektrik üretimine çok yaklaşmamışlardır. Bu temiz yenilenebilir enerjinin bir an önce insanlığın hizmetine sunulması gerekmektedir.

Bu tez, ülkemizde benzeri bir akademik çalışmaya rastlanılmayan **“içme suyundan elektrik enerjisi üretimi”** üzerine yapılacak, laboratuvar olarak da Trabzon örneklerindeki çalışmalar değerlendirilecektir. Gerek YÖK tez taramalarında gerekse Google Scholar taramalarında **“içme suyundan elektrik enerjisi üretimi”** konulu herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

1.1. Literatür Taraması

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, fosil kaynaklı enerji kaynaklarının olumsuz çevresel etkileri konusundaki artan endişe dikkate alındığında daha fazla dikkat çekmektedir. Hidrolik enerji kaynakları kendini sürekli olarak yenilemektedir. Dolayısıyla bu kaynakların etkin kullanılması konusunda literatürde birçok çalışma yapılmıştır.

Mikro veya küçük ölçekli hidroelektrik tanımlarında ülkeler arasında farklılıklar bulunmaktadır. 10 MW altındaki küçük hidroelektrik sistemler için potansiyel, kaynağın

mevcut olduğu yerde su akışının mevcudiyetine bağlıdır. Mikro hidroelektrik sistemleri 100 kW'ın altında kapasiteye ve mini hidroelektrik sistemleri ise 101 kW ve 1 MW arasında kapasiteye sahiptir. Küçük hidroelektrik santral sistemleri, az bulunan doğal su kaynaklarını kullanarak kendi kendine yeterliliğe ulaşılmasını sağlar. Bu sistemler, gelişmekte olan birçok ülkede kullanılan düşük maliyetli enerji üretimini sağlamaktadır [4].

Hidroelektrik enerji günümüzde, dünya çapında önemli bir elektrik enerjisi kaynağını temsil etmekte; fosil ve nükleer yakıtla karşılaştırıldığında su kaynakları kullanımını yaygınlaştırmaktadır. Bu amaçla Türkiye'nin enerji ihtiyacında su kaynaklarının rolü üzerine araştırma yapan Yüksek O. ve arkadaşları Türkiye'nin hidroelektrik potansiyelini 2020 yılında elektrik enerjisi ihtiyacının % 33-46'sını karşılayabilir ve bu potansiyel kolayca ve ekonomik olarak geliştirilebilir olduğunu ifade etmişlerdir [5]. Ayrıca dünya genelinde toplam elektrik enerji ihtiyacı için gerekli olan kaynaklar arasında ilk beşe giren su kaynaklarından elektrik üretme yöntemleri bazı ülkeler için üretimin tek kaynağı konumundadır. Yüksel İ., Türkiye'nin toplam brüt hidroelektrik potansiyelinin 433,000 GWh/yıl olduğunu, ancak Türkiye'nin toplam hidroelektrik potansiyelinin yalnızca 125,000 GWh/yıl kullanılabildiğini ifade etmiştir. Yapım aşamasında olan yeni hidroelektrik santrallerinin devreye alınmasıyla ülkemizin ekonomik olarak kullanılabilir potansiyelinin % 36'sına ulaşacağını ifade etmiştir. Türkiye'nin toplam ekonomik olarak kullanılabilir küçük hidroelektrik potansiyelini ise 3,750 GWh/yıl şeklinde ifade etmiştir [6].

Hidroelektrik santraller çeşitli ölçeklerde ve tiplerde mevcut olup tasarımı belirli bir alandaki ihtiyaç ve koşullara uygun olarak yapılır. Küçük, mini ve mikro-hidroelektrik santralleri birçok ülkede kırsal alan elektrik üretiminde kilit bir rol oynamaktadır [7].

Çapraz akış türbinleri ve Pelton çarklar kullanan mikro hidroelektrik sistemleri, hem doğrudan mekanik enerji hem de elektrik enerjisi üretebilmektedir. Bununla birlikte, tasarım kısıtlamaları konusu literatürde kendisine oldukça fazla yer bulmaktadır [8].

Çalışma prensibi açısından incelendiğinde, hidroelektrik santrallerinde enerji üretimi, suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürmesi prensibine dayanmaktadır. Bu amaçla, yapısında farklı tipte türbinler kullanılmaktadır. Bunlardan Pelton tipli türbin yapısı en fazla tercih edilenler arasındadır. Bu konu hakkında yapılan bir çalışmada Kholifah N. ve arkadaşları yaptıkları çalışmada su kaynağı (su kafası-inkjet) ve meme çapının dikey mesafesinin Pelton türbini tarafından üretilen elektrik gücü üzerindeki

etkisini analiz etmişlerdir. Araştırmada 16.89 watt'lık en yüksek elektrik gücü, su başlığının 9 mm'lik nozul çapı ile 4.6 m'de ayarlanmasıyla gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca uygun parametlerin belirlenmesiyle hidroelektrik enerji üretim santrali için kullanılan su türbini ile daha fazla enerji elde edilebileceğini ifade etmişlerdir [9].

Pelton türbin yapısıyla ilgilenilen bir diğer çalışmada ise Pelton türbinin Creo & ANSYS ortamında matematiksel modellemesi yapılmış ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda yapılan analizlerle, yapay sinir ağı algoritması kullanılarak türbinlerin verimliliğinin artırılabilceği ifade edilmiştir [10].

Yine başka bir çalışmada araştırmacılar tarafından, hesaplama akışkanlar kullanarak Pelton türbin kanatçıklarının belirlenmesi için genel bir optimizasyon yöntemi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Farklı geometrik yapılar göz önünde bulundurulmuştur. Öncelikle basit bir bucket geometrisi ele alınmış ve başlangıçta hızlı bir Lagrangian çözücü kullanılarak optimizasyon yapılmıştır. İkinci aşamada ise ticari olarak kullanılan bir geometri ele alınmış ve ANSYS CFX ile optimize edilmiştir [11].

Pelton türbinlerin tasarım genellikle deneme yanılma yöntemiyle belirlenmektedir. Fakat bu yöntem zaman kaybına ve iş verimliliğinin azalmasına neden olmaktadır. Türbin tasarımında optimizasyon ve nümerik yöntemlerin kullanılması bu bağlamda önem taşımaktadır. Bu doğrultuda yapılan çalışmada Patel K. ve arkadaşları Pelton türbini tasarımı için çok fazlı (hava ve su karışımı) ve serbest yüzey akış gibi karmaşık problemler ele almışlardır. Nümerik yöntemler kullanılarak özel optimizasyon döngüleri oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda tek veya iki fazlı kararsız akışlar için sayısal hesaplamanın yapılabildiğini ve bu şekilde Pelton türbin tasarımı gerçekleştirileceğini ifade etmişlerdir [12].

Başka bir çalışmada ise hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanarak pelton türbinin enjektör tasarımı geliştirilmiştir. Bu çalışmada araştırmacılar ANSYS CFX ve ANSYS FLUENT yazılımları ile analiz yapmışlar ve giriş basıncı boyunca enjektör kayıpları üzerindeki dört ana nozul ve spear tasarımına göre tasarlamışlardır [13].

Hem teorik hem de deneysel olarak gerçekleşen bir diğer çalışmada ise yüzey akış konusu ele alınmıştır. İki fazlı modele dayalı değişken simülasyonlar gerçekleştirilerek ve basınç ölçüm verileri kullanılarak akış görselleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar kova (kepçe) tasarımında kullanılmış, kovadaki akış analiz edilmiştir [14]. Ayrıca

çalışmada, kova kesme alanı ile su jeti arasında olası bir Coanda etkileşimini kanıtlayan kepçenin arka tarafı için de yapılmıştır.

Pelton türbinlerdeki akışkan kararsız, üç boyutlu ve türbülanslı olduğundan serbest bir yüzeye sahip olup rotasyon kuvvetlerinden oldukça fazla etkilenmektedir. Bu nedenle, su akışı ile kovaların iç yüzeyi arasında enerji transferinin nasıl gerçekleştiğini araştırmak zordur. Deneysel olarak doğrulanmış hareketli akışkanlar dinamiği sonuçlarının analizi, kovalardaki akış hakkında derin bir bilgiye sahip olma fırsatı sağlar. Bu amaçla yapılan çalışmada, 4 jetli Pelton türbin modelinin en iyi verimliliğine yakın bir çalışma noktası için bir kova periyodu boyunca tek bir kovadaki akış sayısal olarak incelenmiştir [15]. Böylece çalışma sonucunda türbinin kova bölgelerinin radyal konumu ile değil, kova tasarımı tarafından yönlendirilen akış desenleri ve çalışma koşulları ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Buna ilaveten kova basıncı ve tork alanlarının analizinin, kovadaki etkili enerji transferini nicel olarak değerlendirme açısından çok önemli olduğu ifade edilmiştir.

Yapılan tüm çalışmalar değerlendirildiğinde türbinlerin tasarımının hidroelektrik santral tasarımının veriminde etkin rol oynadığı görülmektedir. Hem Pelton tipi türbinlerde hem de diğer yapıya sahip türbinler için kararsız akış nedeniyle türbin performansı değişkendir. Dolayısıyla performans tahminine dayalı algoritmalar kullanılarak model oluşturulması dinamik performans açısından önem arz etmektedir [16].

Hidroelektrik santrallerinin ikinci önemli bileşeni ise jeneratör olarak kullanılan elektrik makineleridir. Küçük hidroelektrik endüstrisinde senkron ve asenkron olmak üzere iki ana jeneratör tipi kullanılır. Bunlar hidroelektrik enerji sektörünün ihtiyaç ve taleplerini karşılamak için sürekli olarak geliştirilmektedir. Küçük hidroelektrik santrallerinin verimi kullanılan türbinin performansına bağlıdır. Günümüzde jeneratörler genellikle % 95-99 verimlilik oranlarına sahiptir.

2011 tarihli Kütahya Dumlupınar Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü yüksek lisans tezinde Sayın Fatih ERAYDIN “Hidroelektrik santrallerde net düşü değişiminin aktif güç çıkışı üzerine etkisinin incelenmesi” üzerine verimli bir çalışma yapmıştır.

Özdemir, M. T. ve arkadaşları “Çok Küçük Hidrolik Potansiyellerin Enerji Üretim Amacı İle Yerel İmkânlarla Değerlendirilmesi”.üzerine başarılı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir [41].

PaT sistemler üzerine uluslararası alanda yüzlerce akademik çalışmalar yapılmış olsa da ülkemizde bu alanda çok az çalışma mevcuttur. “Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

Metotları İle Pompa-Türbin Tasarımı” üzerine Yıldız, M.’nin arkadaşları ile yaptığı çalışmalar bunların başında gelmektedir [43].

Bizzat kendisi ile görüşme ve tecrübelerinden faydalanma fırsatı yakaladığımız Sayın H. Akyüz’de arkadaşlarıyla 2017 yılında “İşletmede Olan Bir Hidroelektrik Santralin Nehir Suyu Kalitesine Etkisi” üzerine DSİ destekli verimli bir çalışma gerçekleştirmiştir. [44]

Sayın M.Kara da İzmir içmesuyu ana dağıtım sisteminde alternatif işletme seçeneklerinin belirlenmesi üzerine doktora çalışması gerçekleştirmiştir [45].

1.2. Tez Çalışmasının Amacı

Bu tez çalışmasının temel amacı ülkemizde bulunan ve enerjisi boşa akmakta olan içme suyu tesislerinden küçük yatırımlarla yüksek kazanç sağlayabilen elektrik enerjisi üretimini konusunun incelenmesidir. Ticari HES’lere oranla su alma yapısı, cebri boru hattı ve elektrik bağlantıları gibi temel yapı bileşenleri mevcut olduğundan, içme suyu tesisleri yarı yarıya yapımı tamamlanmış bir HES gibi değerlendirilebilir. Türbin-alternatör gibi eksik kalan HES yapı bileşenleri tamamlanarak sürekli boşa akmakta olan enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretilerek ülkemiz ekonomisine kazandırılması bu tez çalışmasının ana fikrini oluşturmaktadır.

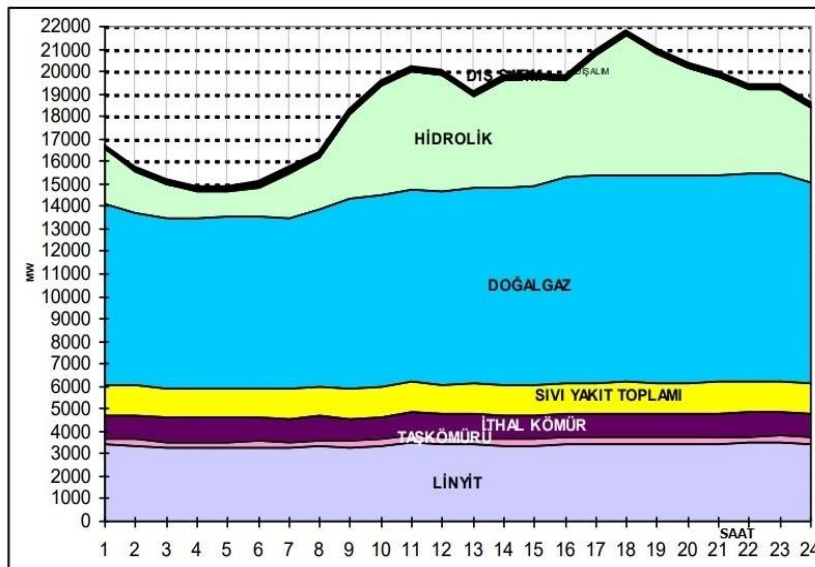
Yöntem olarak, yüksek debi değişkenliğinde dahi en yüksek verimlilikle elektrik enerjisi üretebilmek için pelton türbin yöntemi vasıtasıyla elektrik enerjisi üretebilen Esiroğlu Lisanssız HES santralının çalışma durumu ele alınmıştır. Konuyla ilgili karbon salınım hesapları da yapılarak belirlenen yöntemin çevre dostu bir elektrik enerjisi üretim yöntemi olduğu ortaya konulmuştur. Düşük güçlü ve ekonomik çözümler için de Karakaya mikro HES incelenmiştir. Ayrıca içme suyu ile ilgilenen tüm kurumların tedirgin olduğu ve elektrik üretmekten çekindiği temel sorun olarak gösterilen elektrik santrallerinin su kalitesine etkisi de incelenecek ve HES’lerin su kalitesini olumsuz etkilemediği yapılan kimyasal analizler ile ortaya konulacaktır. Çalışma kapsamında ekonomik analizler ve kullanılan santral bileşenleri de incelenecektir.

1.3. İçme Suyu Üretimi ile HES Enerji Üretimi Çelişikliği

Yalnızca enerji üretimi amaçlı HES'lerde nominal debi ve basıncın sürekli akması, bu mümkün değilse belirli aralıklarla suyun biriktirilerek yine santralin maksimum verimli olduğu nominal debi-güç seviyesinde çalışılması talep edilir. İçme suyu HES'lerinde ise insani ihtiyaçlara ve kullanıma göre debi sürekli değişmekte, basınçta da değişimler olabilmektedir. Örneğin geceleri ortalama debinin %10'u kullanılabilirken öğlenleri bazen ortalama debinin birkaç katı suya ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu nedenle içme suyu işletme mantığı ile ticari HES işletme mantığı çelişiktir.

İçme suyu ve enerji HES'lerinin baraj işletmeleri de çelişiktir. Enerji HES'lerinde maksimum enerji için baraj doluluğunun azalmaması talep edilir [17].

Enerji amaçlı HES'ler satış değeri daha yüksek olduğundan genellikle puant enerji (17:00-22:00 saatleri arası) üretimi yapmak istemektedirler. Ancak içme suyunun 7 gün 24 saat verilmesi zorunluluğu olduğundan içme suyu HES'leri günün her saatinde içme suyu üreteceklerinden her saate ve her debide enerji de üretmeleri gerekmektedir. Biriktirmeli (barajlı) tip içme suyu HES'lerin işletilmesinde bile baraj seviyesi içme suyu alınabilecek en düşük kot seviyesine ininceye kadar içme suyunun sürekliliğinin sağlanması amacıyla kullanılması gerekmektedir. Enerji amaçlı barajlı HES'lerde enerji kayıplarını minimize etmek ve birim su kütlelerinden daha fazla elektrik üretebilmek için biriktirme yapısının dolu veya doluya çok yakın seviyelerde kalması gerekmektedir.



Şekil 2. Santrallerin enerji kaynağı türlerine göre 24 saatlik elektrik üretimi

HES'ler çok kolay devreye alınabildikleri için genellikle puant enerji üretiminde kullanıldıkları Şekil 2'den de anlaşılabilir. Saat 19:00 sularında HES elektrik üretimi maksimum seviyelerde iken 03:00-06:00 arası en düşük seviyededir. Diğer kaynaklardan beslenen santraller puant enerji üretimine HES kadar uygun değildir. Şekil 2'de minimum HES enerjisi üretim saatlerinde (03:00-06:00 arası) üretilen elektrik enerjisinin çoğunluğunu biriktirmesi olmayan HES'ler oluşturmaktadır.

Yalnızca enerji üretim amaçlı HES'lerde sistem arıza veya bakıma girdiğinde by-pass vanası, hatta tahliye dahi zorunlu olmayabilir. Çoğu HES'de sistemde sorun oluşması veya bakım zamanlarında sisteme su alınmayabilmektedir. Ancak içme suyunda bazı bölümler bakıma alınsa dahi hizmet ve su üretimi diğer kanallardan devam etmek zorundadır. Bu nedenlerden dolayı içme suyu HES'lerinin dikkatli planlanması ve işletilmesi gerekmektedir. İçme suyu HES'leri ile enerji amaçlı HES'lerin genel çelişiklikleri Tablo2'de verilmiştir.

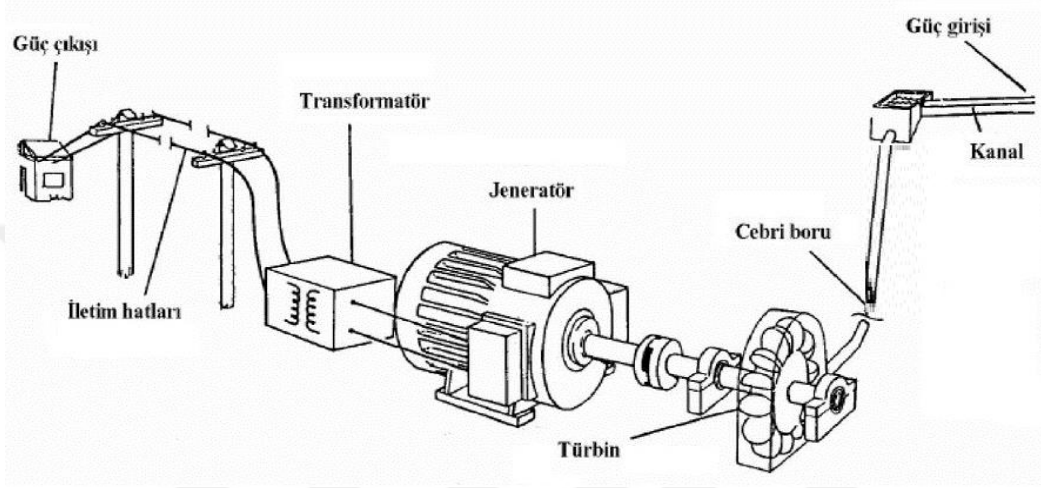
Tablo 2. Enerji amaçlı HES ve içme suyu HES öncelikleri

ENERJİ AMAÇLI HES ÖNCELİKLERİ	İÇME SUYU AMAÇLI HES ÖNCELİKLERİ
Rezervuarların mümkün olduğunca dolu olması	Gerektiğinde rezervuarın sonuna kadar kullanılması, sınırların zorlanması
Günlük birkaç saatlik (puant) elektrik üretimi	Kesintisiz su tüketimi için kesintisiz elektrik üretimi
Her türlü suyun kullanımı	Ham su sorunlarında kaynak seçiciliği
Sorun, bakım, düşük fiyat... vb durumlarda üretimin durdurulması	Üretiminin sürekliliği, zorunlu durumlarda by-pass veya alternatif
Maksimum verim, maksimum debi ve maksimum güç	İçme suyu değişken ihtiyaç debilerinde maksimum verimlilik

Tablo 2'deki verilere göre içme suyu HES'lerinin tasarımında da, işletmesinde de içme suyu kontrolünde ve içme suyu öncelikli olması gerektiği açıktır.

1.4. HES'lerin Genel Yapısı ve İçme Suyu HES'leri

Hidrolik enerji en eski enerji kaynaklarından biri olup, halen yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en çok kullanılanıdır. HES'leri su değirmenlerinin güncel versiyonu olarak düşünebiliriz. Şekil 3'te enerji HES genel yapısı verilmiştir [18].

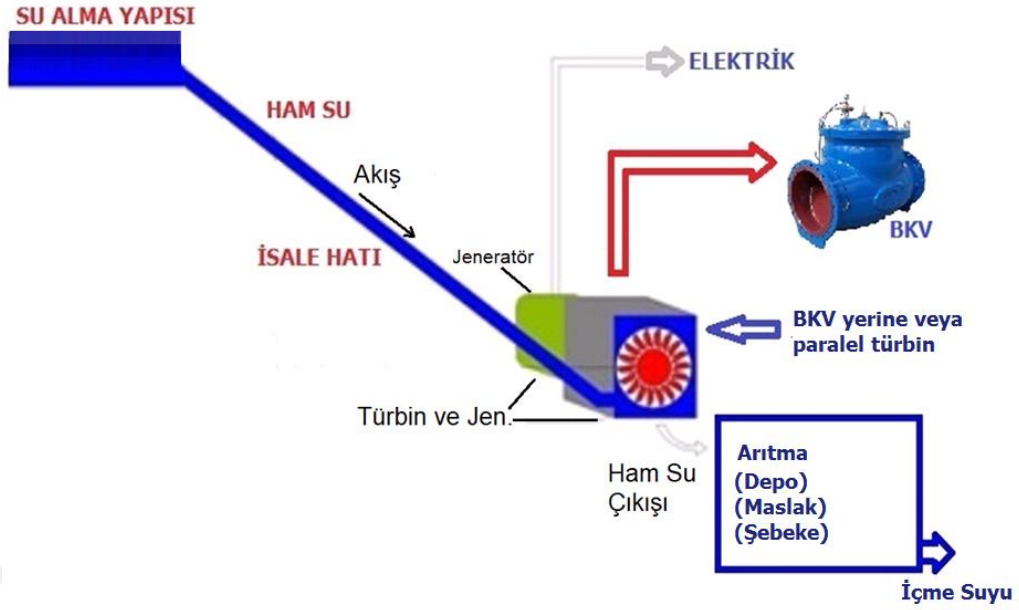


Şekil 3. Enerji HES genel yapısı

Akan su içindeki enerji miktarını akış miktarı ve düşüş yüksekliği tayin eder. Genellikle kanal veya borular içine alınan su, türbinlerden geçirilerek türbinlerin dönmesi sağlanır. Oluşan mekanik enerji de jeneratörlerle elektrik enerjisine dönüştürülür. Genel hatları ile tamamlanmış HES'ler su alma yapısı, iletim kanalı, cebri boru, türbin, jeneratör, trafo, şalt tesisleri ve iletim hatlarından oluşmaktadır.

Bazı imalatlar tümleşik veya ihtiyaca göre form değişikliğine uğrasa da içme suyu HES'leri de benzer bir yapıya sahiptirler.

İçme suyu HES genel yapısı duruma göre farklılıklar göstermekle birlikte en çok rastlanılan tipi arıtma öncesi ham su girişlerine, basınç kırıcı vanalar veya maslaklar yerine yapılan HES'lerdir. Ayrıca çok nadir de olsa şebeke hatları üzerine yapılabilen içme suyu HES'leri de mevcuttur. Şebeke hatları üzerine konulacak türbinlerin en önemli özelliği çıkış basınçlarının sıfır olmamasıdır. Buna göre boru tipi, veya pompa tipi (PaT) tipi türbinler daha çok tercih edilmesi gerekmektedir.



Şekil 4. İçme suyu tipi HES genel şeması

Şekil 4'ten de görüleceği üzere genellikle depo, maslak veya arıtma öncesi mekanik ekipman ve boruların zarar görmemesi için kullanılan BKV (Basınç kırıcı vana) yerine türbin çalıştırılarak elektrik üretimi gerçekleştirilir. Türbinin arıza yapması veya bakıma alınması durumunda içme suyu üretiminin kesilmemesi için genellikle BKV'ye paralel bir hat üzerine türbin yerleştirilir.

Şekil 3 ve Şekil 4'ü kıyasladığımızda da anlaşılacağı üzere içme suyu hatlarına yapılacak HES'lerde su alma yapısı, kanal ve cebri boru gibi imalatlar yerine isale hattındaki mevcut su kullanılacağından bunlar için ilave yatırım yapılmasına gerek kalmamaktadır. İçme suyu tesislerinin içme suyu+enerji amaçlı tesislere dönüştürülmesi için genellikle türbin yapısı ve ilave enerji imatları ile mümkün olabilmektedir.

1.5. HES Güç Hesabı

İçme suyu HES'leri de tıpkı diğer HES'ler gibi suyun potansiyel enerjisini elektrik enerjisine çeviren tesislerdir. Potansiyel enerjiye sahip yüksek kottaki su ($E=m \cdot g \cdot h$) boruya alınarak basınçlandırılır. Basıncın etkisi ile hız kazanan suyun kinetik enerjisi ($E=1/2 \cdot m \cdot v^2$) türbinlere çarparak veya türbin çarkını çevirerek mekanik enerjiye dönüşür. Genellikle bir shaft ile jeneratöre aktarılan mekanik enerji burada elektrik

enerjisine dönüştürülür. Temel güç hesabı Eşitlik (1) de verilen formül kullanılarak hesaplanır.

$$P = Q \times \rho \times g \times H \times e_0 \quad (1)$$

Burada;

P : güç (watt)

Q : debi (m³/s)

ρ : suyun yoğunluğu (kg/m³)

g : yerçekimi ivmesi (9,81 m/s²)

H : mevcut su yüksekliği (basınç) (m)

e_0 : toplam verimlilik (\approx % 40 -89)

Formülden anlaşılacağı üzere temel değişkenler debi, yükseklik farkı ve verimdir. Burada genellikle su girişindeki inşaat verimi %92-%98, cebri boru ve denge bacası sistem verimi %90-%99, türbin verimi %40-%92 arası, ve jeneratör verimi %85-%98 arasında olabilmektedir. Ayrıca üretilen enerjinin hem reaktif güç ihtiyacını karşılaması hem de şebeke gerilimi ile aynı değere ulaşması için transformatörler kullanılmaktadır ki, bunların verimi de %95 üzerinde olmaktadır. Yüksek güçlü HES'lerde doğrudan O.G. veya A.G. bağlantı yapılamadığından üretilen enerjinin enerji nakil hatları ile yüksek gerilimli enterkonnekte hatta iletilmesi gerekmektedir ki bu içme suyu HES'lerinde ENH verimliliklerinin %95-%99 arası olacağı öngörülmektedir. Mevzuat gereği ENH verimliliği %85'den daha düşük yapılamamaktadır. HES'ler için toplam verimlilik Eşitlik (2) de verilen formül kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$e_0 = \eta_{\text{inşaat}} \times \eta_{\text{cebri boru}} \times \eta_{\text{türbin}} \times \eta_{\text{jeneratör}} \times \eta_{\text{transformatör}} \times \eta_{\text{nakil hattı}} \times \text{Güç girişi} \quad (2)$$

Burada enerji dönüşüm ve iletiminden kaynaklı toplam verimlilik %25 seviyesine kadar inebilmektedir. Bu nedenle daha verimli tasarım ve ekipman kullanımı HES'lerde çok önemlidir.

1.6. Hidrolik Türbinler

Türbinler, bir akışkanın sahip olduğu potansiyel enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi için kullanılan aygıtlardır. Ülkemizde, baraj göllerinde biriktirilen yüksek seviyede debiye ve potansiyel enerjiye sahip doğal sular, uygun cebri borular vasıtası ile yüksek bir su düşüsü elde edilerek türbin kanatlarına veya çarklarına verilir. Türbinde, suyun kinetik enerjisinden meydana gelen mekanik dönme enerjisi, genellikle bir şaft vasıtası ile alternatöre aktararak burada elektrik enerjisine dönüştürülür.

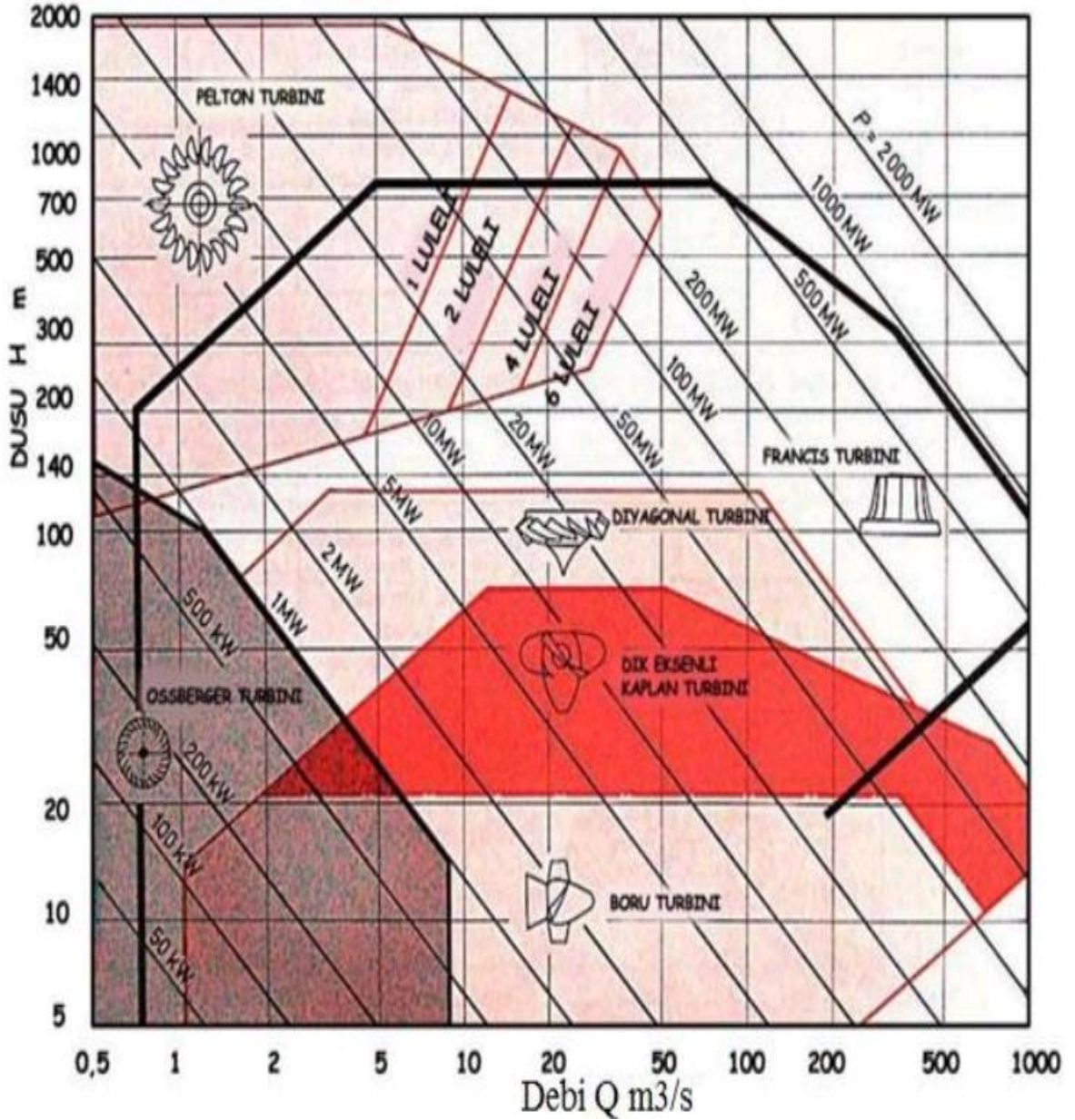
Debi: Bir akarsuyun, belirli bir kesiminden bir saniyede akan suyun birim hacim cinsinden miktarı olarak tanımlanır ve genelde m^3/sn olarak ifade edilir.

Düşü: Hidroelektrik enerji santrallerinde, bir su türbininden su kuvveti yardımıyla enerji üretebilmek için uygun akışta bir su hızı elde etmek gerekmektedir. Bunu için suyun bir düşme yüksekliğine (hidrolik düşüye) ve uygun bir basınç farkının bulunmasına ihtiyaç vardır. Barajlarda birikmiş olan suyun üst seviyesi ile türbin çıkışındaki yükseklik arasındaki fark “geometrik düşü” olarak adlandırılır. Baraj gölündeki su alma ağzı ile türbinden çıkan su arasındaki yükseklik farkı ise “faydalı düşü” olarak adlandırılır. Enerji amaçlı hidroelektrik santrallerinde baraj gölündeki su yüzeyi ile su alma ağzı arasındaki yükseklik de “net düşü” olarak tanımlanır.

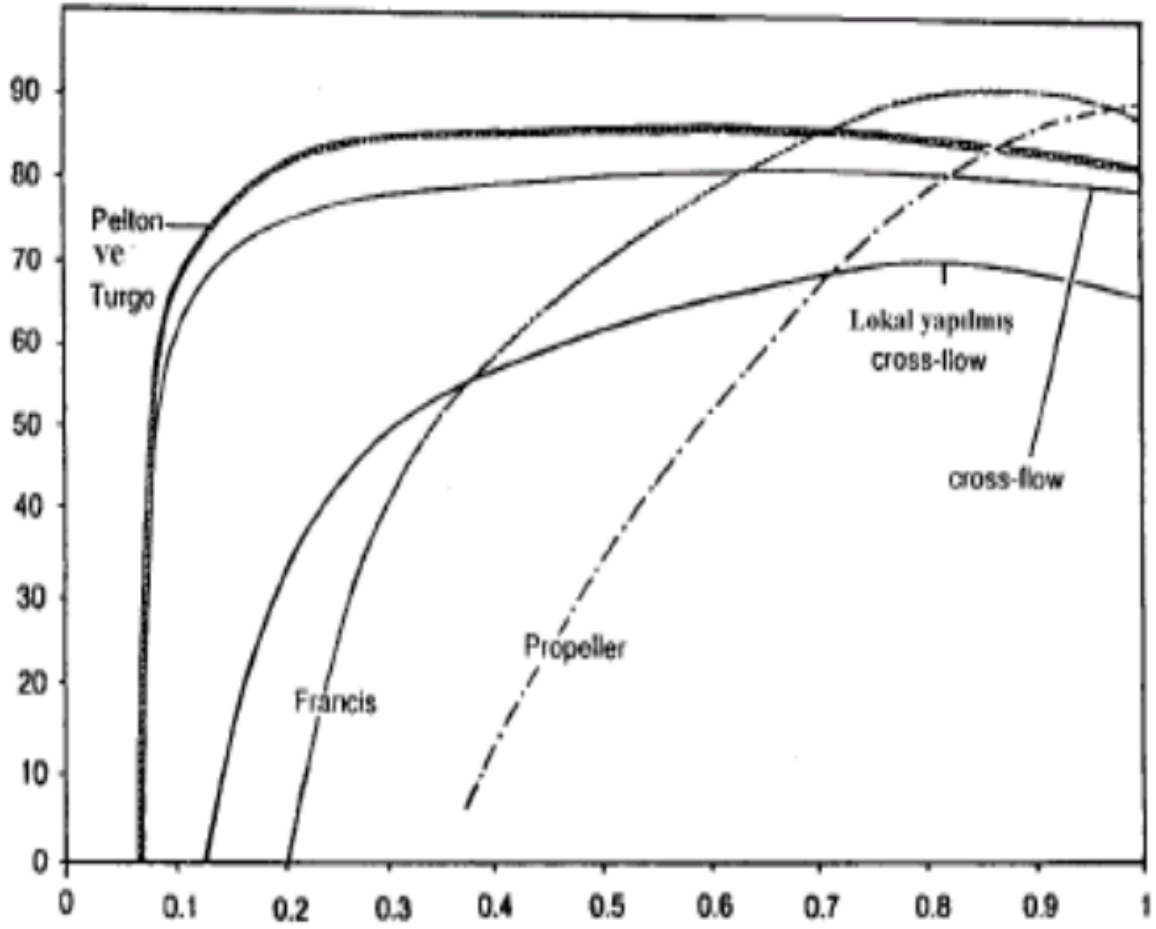
Günümüzde akarsular üzerinden ve baraj göletlerinden birkaç metreden birkaçyüz hatta 1800 metreye kadar oluşan faydalı düşüler sağlanabilmektedir. İfade edilen mesafe yüksekliğine göre 2 ile 50 metre arasındaki su seviye farkı alçak düşü olarak kabul edilir ve bu düşü seviyelerinde Kaplan tipi türbinlerinin kullanımı uygundur. 50 ile 300 metre arasındaki su seviye farkı orta düşü olarak kabul edilir ve bu düşü seviyelerinde Francis tipi türbinlerinin kullanımı uygundur. 300 metre üzerindeki düşüler ise yüksek düşü olarak kabul edilir ve bu su seviye farkı seviyelerinde ise Pelton tipi türbinlerinin kullanımı uygundur.

Hidroelektrik santralinde kullanılacak uygun türbin tipinin belirlenmesinde, türbini döndürecek olan suyun debisi ile basıncı etkili olur. Bütün türbinlerde dönen kısma rotor adı verilmektedir. Günümüzde, hidroelektrik enerji santrallerinde aksiyon ve reaksiyon türbinleri olarak gruplandırabileceğimiz temel iki tip türbin tasarımı mevcuttur. Bu türbinlerden başlıca aksiyon türbinleri pelton tipi, turgo tipi ve karşı akışlı (cross-flow=banki) türbinler olarak karşımıza çıkmaktadır. Reaksiyon türbinlerini de Kaplan tipi, Francis tipi ve Uskur tipi olarak gruplandırabiliriz. Özellikle mikro HES santrallerinde de

PaT (popma tipi türbin) elektrik enerji üretiminde kullanılmaktadır. Türbin tipini temelde debi ve düşü değerleri tayin etmektedir. Şekil 5’de debi ve basınçlarına göre türbin çalışma bölgeleri, Şekil 5’te de debi değişimine göre türbinlerin verim değişim grafiği verilmiştir.[23].



Şekil 5. Debi ve basınçta göre türbin çalışma bölgeleri



Şekil 6. Hidrolik türbinlerin kısmi yükler göre verim değişimi

Bunların dışında ambalman hızı, ilk yatırım değeri, toplam verimlilik, debi değişkenliği, çıkışta istenen basınç, soğutma sistemi, işletme bakım kolaylıkları gibi pek çok etken daha türbin seçimini etkilemektedir. İçme suyu tesislerinde kullanılacak türbinlerde ayrıca sıhhi değerlerin de azami derecede dikkate alınması gerekmektedir.

1.6.1. Kaplan Türbini

Bu türbinin çalışma prensibi, aksel akışla suyun çarkı çevirmesi esasına dayanır. Kaplan tipi türbinler küçük düşü ve büyük debi değerlerinde kullanılan türbin çeşididir. Aynı debi ve düşü değerleri için türbine daha büyük bir hız sağlar. Bu nedenle türbin ve alternatör boyutları küçülür. Kaplan türbinlerinin devirleri 300-1000 devir/dk arasındadır. Ülkemizdeki en büyük kaplan türbinlerinden biri Yüreğir Hidroelektrik Santrali'nde kullanılan türbinlerdir. Basit bir kaplan türbininin çarkında 3 ile 8 arasında değişen

miktarda pala bulunur. Bu palalı çarklarda, palalar ters çevrilerek türbinin aşırı hızda dönmesi önlenebilir. Palaları sabit olan çarkların kullanıldığı türbinlere ise uskur türbinler olarak adlandırılırlar.

Büyük hidroelektrik santrallerde, sabit yükte çalışabilecek üniteler uskurlu, değişken yükte çalışacak olanlar ise kaplan çarklı olarak dizayn edilir. Şekil 7’de kaplan türbin çarkı görsel olarak verilmiştir. İçme suyu HES’lerinde daha çok boru tipi veya dik eksenli kaplan türbinler tercih edilmektedir.



Şekil 7. Kaplan türbin çarkı

1.6.2. Francis Türbini

Bu türbin, çark kanatlarının eğriliğinden dolayı suyun radyal olarak girdiği ve aksel olarak çıktığı türbin çeşididir. Francis türbinlerinin en belirgin özelliği, 400 m’ye kadar olan su düşülerinde kullanıma uygun olmasıdır. Francis türbinlerinde su girişi olan cebrî borudan türbine geçişte kelebek vana kullanılır. Vana oldukça yüksek basınç altında bulunacağından açış kolaylığı için by-pass sistemi bulunmalıdır. Francis türbinlerinin devirleri 60-400 devir/dk arasındadır. İçme suyu tesislerinde daha çok sabit debili tesislerde Francis tipi türbin kullanılmakta, veya minimum debi Francis olmakla beraber değişken debili türbinlerle yanyana kullanılabilirler. Şekil 8’de Francis türbin çarkı görülmektedir.



Şekil 8. Francis türbin çarkı

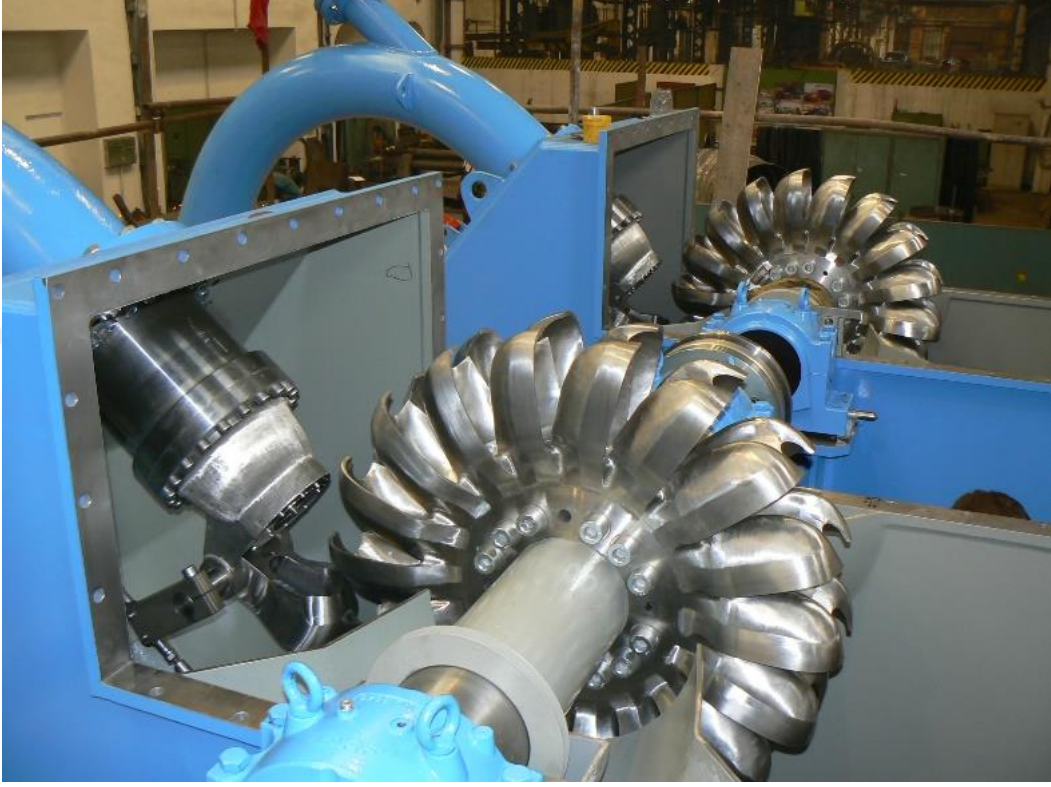
1.6.3. Pelton Türbini

Bu tip türbinlerde, nozuldan çıkan suyun çark kepçelerine çarparak yaptığı etki ile çarkın dönmesinin sağlanmaktadır. Pelton türbinleri, özgül hızları küçük olduğundan dolayı Francis türbinlerine oranla yüksek düşülerde kullanılmaya elverişli türbin çeşididir. Pelton türbinleri genellikle büyük güçlerde düşey ve küçük güçlerde yatay eksenli olarak dizayn edilmektedir. Dakikada 32 devire kadar dönebilme potansiyeline sahiptirler. Pelton türbinlerinin kullanıldığı santrallerin türbin milinin durumuna göre türbin çeşitleri şu şekilde isimlendirilebilir;

- Yatay eksenli türbinler
- Düşey eksenli türbinler

- Eğik eksenli türbinler

Yukarıda ifade edilen üç farklı türbin çeşidi içerisinde Düşey eksenli türbinler daha fazla tercih edilmektedir.

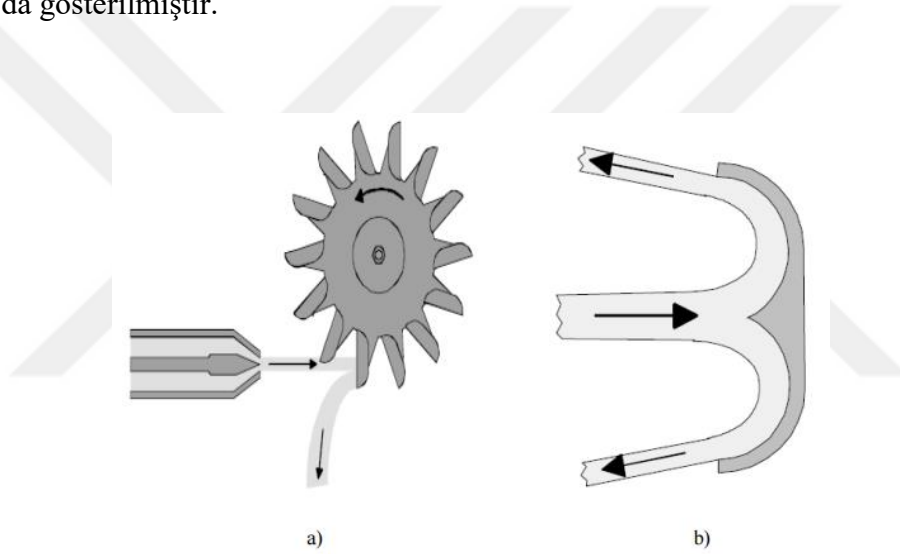


Şekil 9. Pelton türbin çarkı

Bugün dünyada Pelton türbininin en yaygın kullanıldığı alan enerji üretim tesisleridir. Bu türbinler, su akış eğimi olan arazilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çalışma aralığı düşük ile orta akış (0,1-11000 l/s) ve orta ile yüksek basınç (30-1000 m) arasında değişir [19].

Pelton türbini esasen atmosfer basıncında, kovalarına (kepçelerine) çarpan serbest bir su jeti ile türbinin dönmesini sağlayan su jetinin kinetik enerjisi ile çalışır. Pelton türbini için büyük barajlar inşa edilmekte veya debisi yüksek nehir yatakları kullanılmaktadır. Pelton başlığında toplanan su bir borudan geçirilerek suyun debisi hızlandırılır. Cebri boru şeklinde adlandırılan bu parçanın ucunda nozullar bulunmaktadır. Nozullardan santralle gönderilen su türbinin kovalarına gönderilerek, türbinin hızlı bir şekilde dönmesi sağlanır. Dönen türbin ucuna bağlı senkron veya asenkron tipte bir elektrik jeneratörüyle elektrik

enerjisi üretilir. Pelton kovanları birbirlerine birleşik olup elipsoid fincan biçimindedir. Ayırıcı (splitter) türbinin kovanları arasındaki keskin sırt sayesinde su jetinin gidişini kırar ve her bir kovaya doğru yayar. Kepçenin dış ucunda, jetin ayırıcıya doğrudan kepçelerle temas etmesini sağlayan bir kesik vardır. Bu nispeten daha düzgün akış ve sürekli tork üretimi sağlar. Kepçenin geometrisi temel olarak derinlik, genişlik, yükseklik, ayırıcı açısı, çıkış açısı, şekil ve kesme gibi parametrelerle yönetilir. Nozuldan çıkan jet akışı atmosfer basıncındadır ve Pelton gövdesi hava ile doldurulur. Bu çalışma prensibi, serbest yüzey akışları santrifüj ve Coriolis etkileri ile birlikte sabit olmayan koşullar oluşturur. %10 debide dahi %70 üzeri verimle çalışabilmeleri nedeniyle şehir ana içme suyu hatları üzerinde rahatlıkla kullanılabilirler. Temel bir Pelton türbinçarkı Şekil 8’de, yapısı Şekil 10’da gösterilmiştir.



Şekil 10. Pelton türbin çarkı (a), Kepçe kesit görünüşü (b).

1.6.4. PaT Türbini (Pump as Turbine)

Mikro hidroelektrik sistemleri, çevre dostu ve düşük maliyetli elektrik enerjisi üretebilmek için önemli bir çözüm yöntemidir. Pompaların türbin olarak kullanımı da çevre dostu ve düşük maliyetli elektrik enerjisi üretme yöntemlerinden biridir. Suyu basınçlandırma amacıyla kullanılan pompalar, çalışma modu değiştirilerek ve güç akış yönü tersine çevrilerek elektrik enerjisi üretmek amacıyla türbin olarak çalıştırılabilir. Türbin olarak pompaların kullanımı basit yapıları ve düşük maliyetlerinin yanı sıra yatırımlarını çok kısa sürede geri kazandırma gibi önemli avantajlara sahiptir. Sabit debi ve basınç gereksinimlerinin yanı sıra verimlerinin nispeten düşük olmasından dolayı PaT

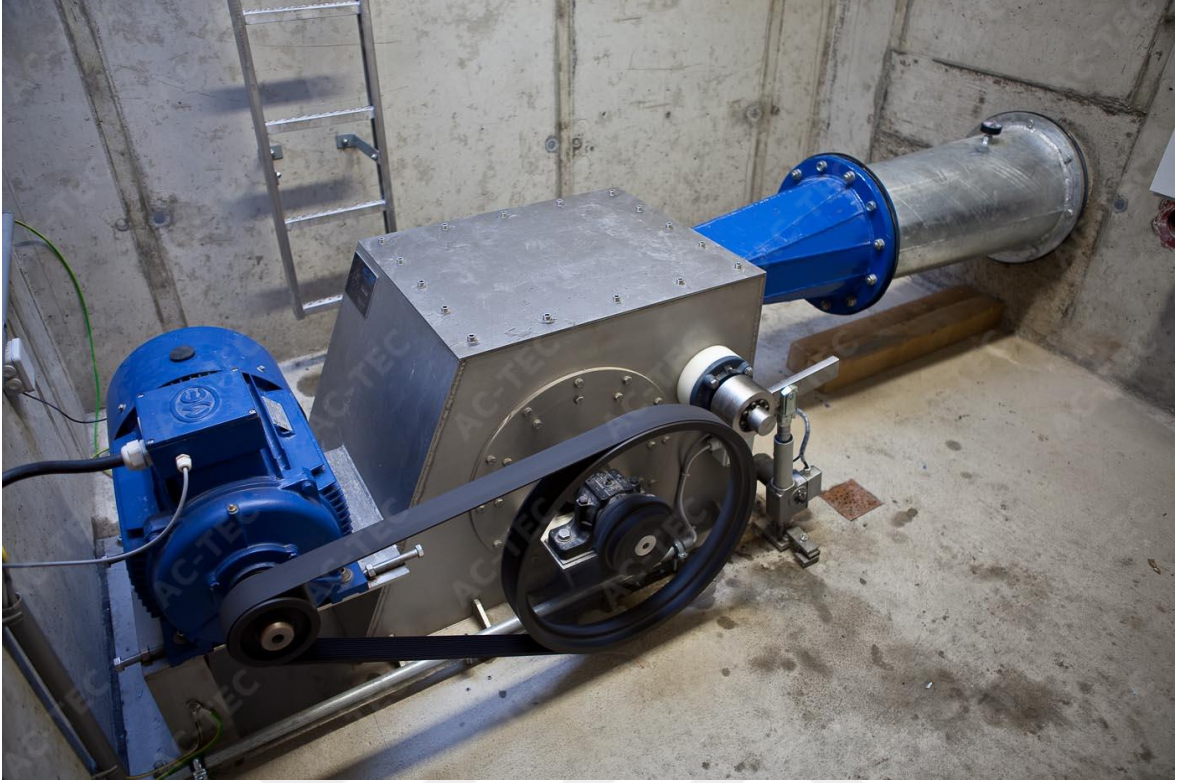
türbin sistemlerine sahip hidroelektrik santrallerinde 100 kW' a kadar elektrik enerjisi üretilebilmektedir [20, 21]. Tez çalışmamızda ilgili verileri elde ettiğimiz Karakaya (Ağıllı) Mikro HES' inde kullanılan PaT sistemi Şekil 11'de görsel olarak verilmiştir.



Şekil 11. Karakaya (Ağıllı) mikro HES' inde kullanılan PaT sistemi

1.6.5. Karşı Akışlı (Cross-Flow) Türbinler

Karşı akışlı türbin veya diğer bir adıyla Banki türbin tipini Macar asıllı Banki ile İngiliz asıllı Michell bulmuştur. Bu tip türbinler genel olarak Banki (Michell-Ossberger) su türbini olarak adlandırılırlar. Özellikle bu türbinlerden Avrupa'da binlerce adet imal edildiği bilinmektedir. Banki tipi türbinler kullanılarak 1 MW'a kadar (Mini HES ve Mikro HES) elektrik üretilebilir. Türbinin yapısı oldukça basittir. Genel olarak, 20 l/s ile 9 m³/s debiler için 1m ile 200m düşülerde 1000 kW güce kadar çıkabilirler. Bu tip türbinlerin verimleri genel olarak %80 seviyesindedir. Çark dönme sayıları ise dakikada 50 ile 200 devir arasında değişmektedir. Banki (Michell Ossberger) türbininin en önemli özelliği suyun dönel çarktan iki kez girip çıkmasıdır. Michell Ossberger tipi türbinlerin içme suyu tesislerinde kullanılmasının en önemli avantajı 1/10 debi seviyesinde bile %70 seviyelerinin üzerinde verime sahip olabilmeleridir. Genel bir Banki (Michell Ossberger) türbin yapısı Şekil 12'de görsel olarak verilmiştir [22, 23].



Şekil 12. Karşı akışlı (cross-flow / banki) türbin

1.7. Su Kalitesi

Su kalitesi organik ve inorganik ve maddelerin oranı, çeşitliliği ve konsantrasyonları; sucul sistemdeki su canlılarının konumu ve kompozisyonu; sucul ortamdaki iç ve dış faktörlerin etkisiyle oluşan mevsimsel ve yersel değişkenlerin tanımlanması olarak ifade edilebilir. Su kalitesini tanımlayan faktörlerin kompleks oluşu ve sucul sistemlerde kantitatif ölçümler için kullanılan değişkenlerin çeşitliliği, su kalitesinin basit şekilde tanımlamasını zorlaştırmaktadır. Suyun kullanımı konusundaki yelpaze genişledikçe özellikle sanayileşmenin ilerlediği ülkelerde su kalitesi kavramı da daha çok önem kazanmıştır [36].

1.7.1. Kirlilik durumuna göre suyun sınıflandırılması

Suları içerisindeki kimyasal ve biyolojik madde oranlarına göre sınıflandırılırlar. Suların sınıflandırmasındaki genel yanlış sınıflandırmanın toplam kirlilik üzerinden yapıldığı yönündedir. Sular onlarca kimyasal ve biyolojik veriden en kötü sınıf üzerinden sınıflandırılmaktadır. Örneğin diğer tüm kimyasal ve biyolojik analizleri 1. Sınıf yüksek kaliteli görünen bir su yalnızca gümüş elementi açısından Çok kirlenmiş sular (IV. Sınıf) grubunda ise suyun sınıfı IV (çok kirlenmiş sular) dır. Sağlık bakanlığınca su kalitelerine göre sular 4 sınıfta değerlendirilmektedir. Bu sınıflar ve kullanma alanları;

1. Sınıf (Yüksek kaliteli sular)

- Yalnız dezenfeksiyon ile içme suyu olarak
- Rekreatif amaçlar için (yüzme gibi vücut teması gerektirenler)
- Alabalık üretimi
- Hayvan üretimi ve çiftlik İhtiyacı

2. H Sınıfı (Az kirlenmiş sular)

- İleri veya uygun bir arıtma ile içme suyu olarak
- Rekreatif amaçlar için
- Balık üretimi (Alabalık hariç)
- Sulama suyu olarak
- I. Sınıf sular dışında kalan diğer kullanımlar için

3. m. Sınıfı (Kirlenmiş sular)

Gıda, tekstil gibi kaliteli su gerektiren sanayiler hariç, uygun bir arıtmadan sonra sanayide kullanılabilir.

4. IV. Sınıf (Çok kirlenmiş sular)

Daha üst sınıf sular daha kirli ve arıtması mevcut arıtma tesislerimizde yapılamadığından burada incelenmeyecektir. Ancak şu bilinmelidir ki günümüzde havadaki nemden deniz suyuna kadar hemen her türlü kaynaktan içme suyu temininde kullanılabilir.

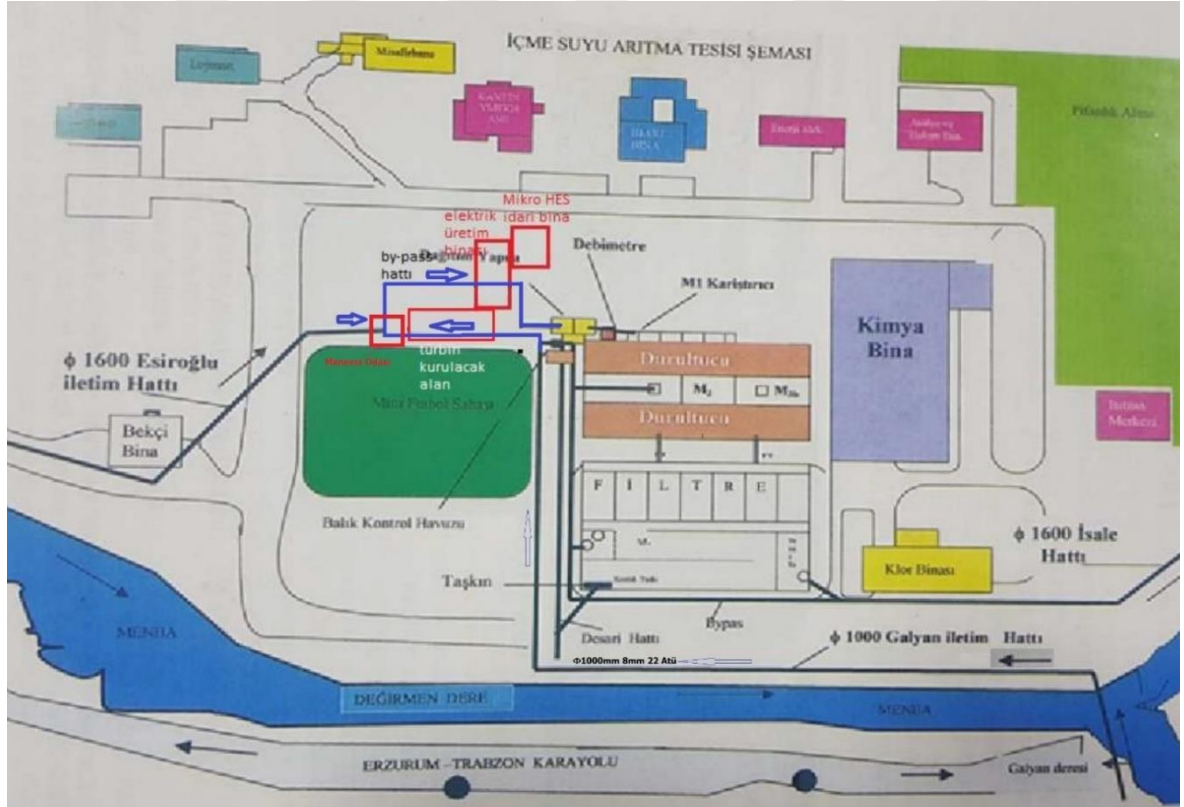
HES'lerin su kalitesi üzerindeki etkileri 4. Bölümde detaylı olarak incelenecektir.

2. ESİROĞLU İÇME SUYU HİROELEKTRİK SANTRALİ TESİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ

2.1. Esiroğlu Hidroelektrik Santrali Saha Konumu ve Yerleşim Planı

Trabzon İçmesuyu ve Kanalizasyon İdaresi (TİSKİ), Esiroğlu İçmesuyu HES tesisi, Trabzon İli, Maçka ilçesi sınırlarında yer almaktadır. Tesis; Esiroğlu İçmesuyu Arıtma tesis arazisinde havalandırma girişinden hemen öncesine kurulmuştur.

Bu tesis, ham su hattı tadilatları (ilave borular, ilave mekanik ekipman ve demonte mekanik ekipman vb.), santral, enerji nakil hatları, şalt ve senkronizasyon tesislerinden oluşmaktadır. Tesiste, mevcut Esiroğlu Grup İçmesuyu Arıtma Tesisine gelen isale hattındaki suyun potansiyel enerjisinden faydalanılarak elektrik enerjisi üretilecektir. Tesisin saha yerleşim planı Şekil 13'te şematize olarak, Şekil 14'te ise konum olarak verilmiştir.



Şekil 13. Esiroğlu içme suyu arıtma tesisi şematize gösterimi



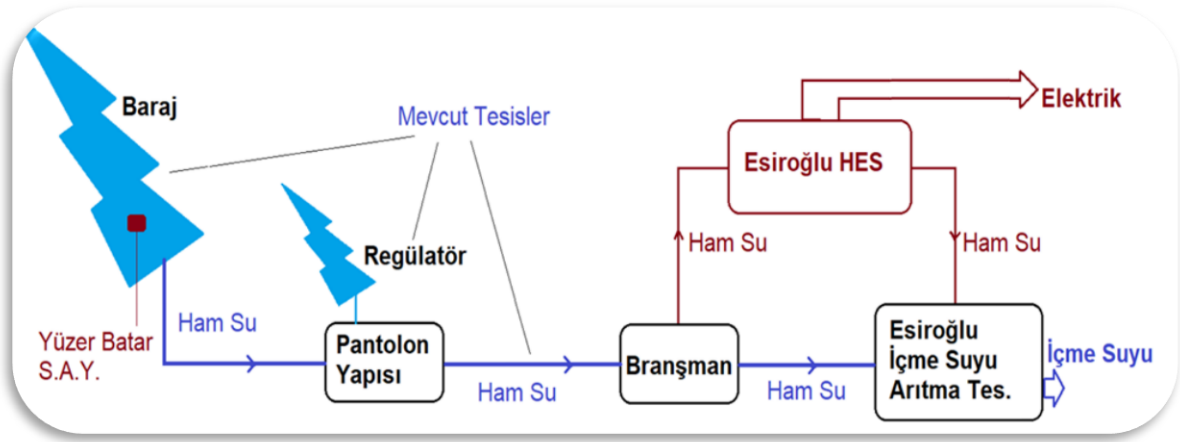
Şekil 14. Esiroğlu içme suyu arıtma tesisinin konumu

Saha yerleşimi olarak harita üzerinde 3 temel bina belirtilmiştir. Durultucu girişindeki çimenlik yeşil alan üzerine kurulum yapılmıştır. Arazi TİSKİ'nin malıdır. Türbin, redüktör ve transformatör grubu 1000mm'lük ana cebri hattın üzerine kurulmuştur. Ayrı bir by-pass borusu üst taraftan yer altından götürülmüş ve iğne vana ile hidrolik oransallık sağlanmıştır.

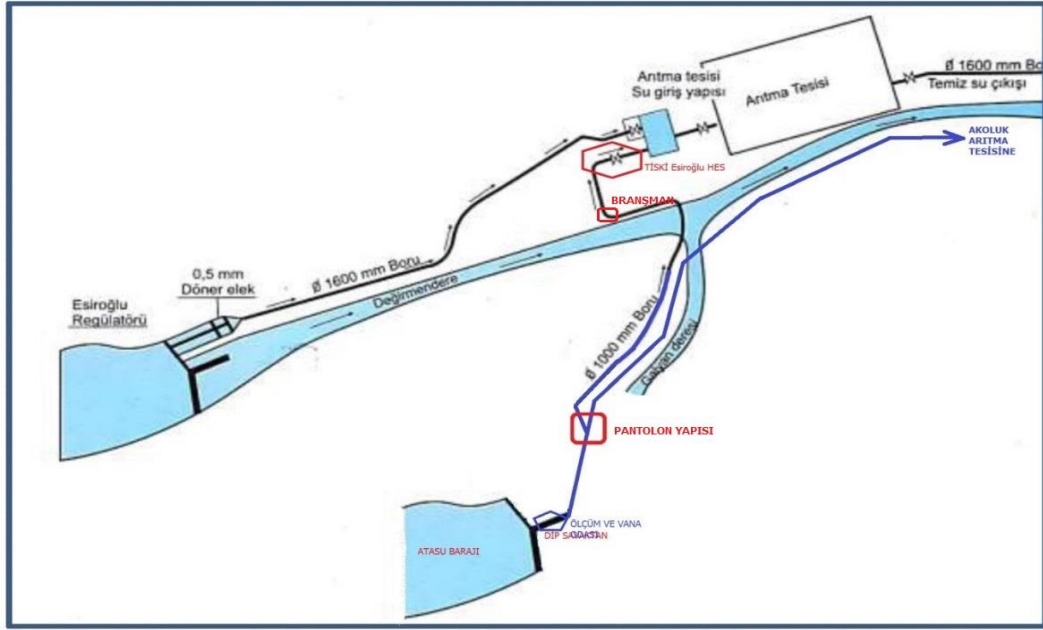
Jeneratör ve ana elektrik şalt grubu elektrik üretim binasındadır. Buradan arıtma tesisi trafosuna 6.3kV OG yeraltı kablosu ile enerji beslemesi yapılmıştır. Atasu barajı üzerindeki mevcutta kullanılmayan su alma hattından gelen su, mevcut cebri boru ile ilerler. Bu borunun bitim yerinden itibaren 50 metre yeni cebri boru inşaatı yapılmıştır. Su Esiroğlu iletim hattı cebri borusuna bağlanmıştır. Böylece 149 metrelik bir düşü yüksekliği elde edilerek (dinamik kayıp hariç) mevcut potansiyel enerjinin tamamı HES girişine kadar getirilmiştir. Hidroelektrik tesisinde üretilen 34,5 kV'luk elektrik enerjisi çift yönlü sayaç ile tesisin batısındaki kesici ölçü kabini (KÖK) binasına yeraltı hatları ile taşınmıştır.

2.2. Esiroğlu Hidroelektrik Santrali Hidrolik Beslemesi

Esiroğlu Hidroelektrik Santralinin genel hidrolik beslemesi Şekil 14'de şematize olarak, Şekil 15'te ise konum olarak verilmiştir.



Şekil 15. Esiroğlu Hidroelektrik Santrali'nin hidrolik besleme projesi ve şematik gösterimi



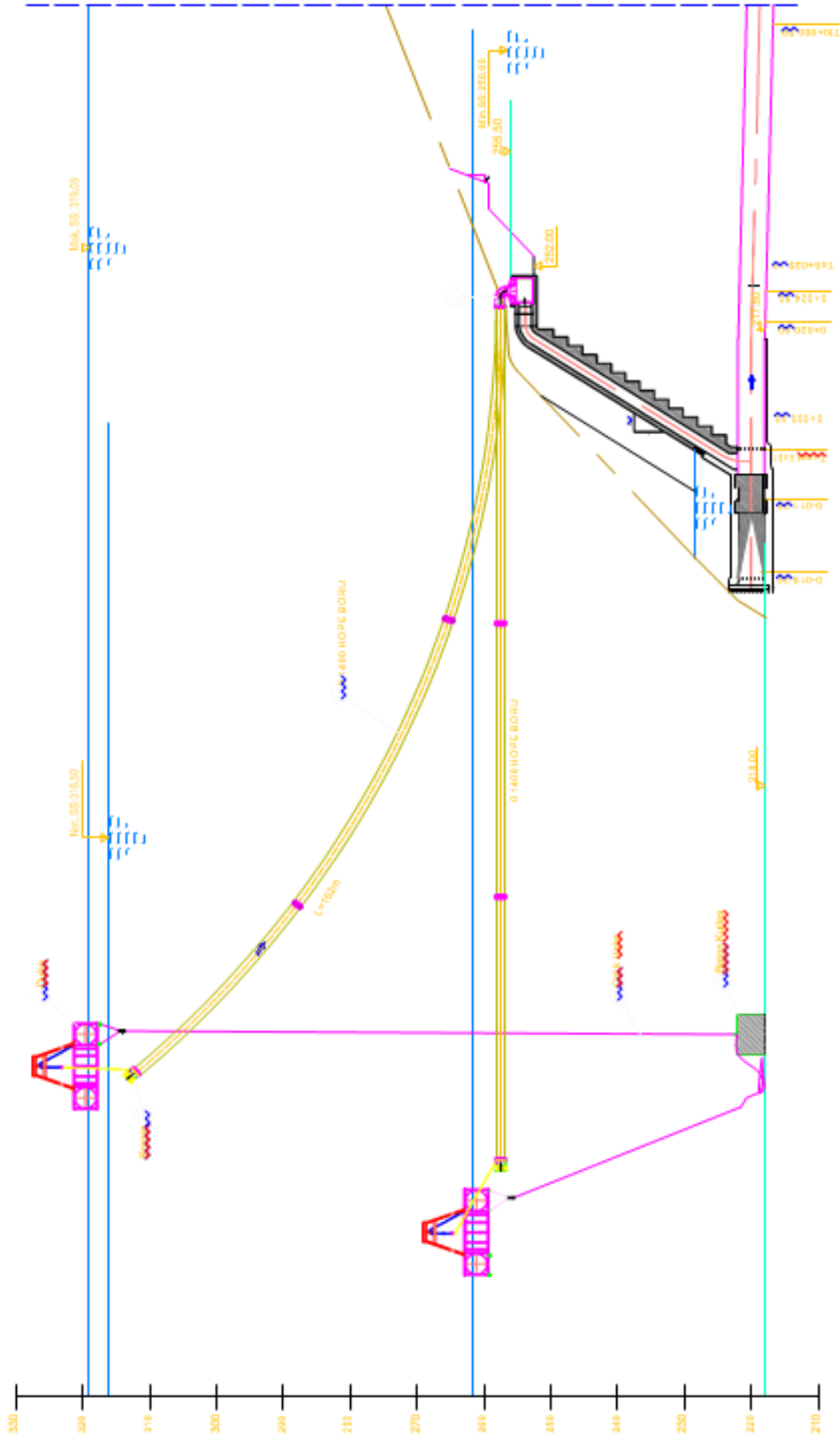
Şekil 16. Esiroğlu Hidroelektrik Santrali'nin hidrolik besleme konum gösterimi

Şekil 15'teki regülatörden alınan ham su pantolon yapısı ve branşman yapısı olmadığından doğrudan Esiroğlu İçmesuyu Arıtma Tesisine gitmekte, orada arıtılan su da mevcut halde şehrin içme suyu ihtiyacını karşılamakta idi. Esiroğlu HES ile sistem çok daha kompleks olarak yeniden dizayn edilmiştir. Öncelikle baraj yüzeyine yüzer su alım yapısı eklenmiş, regülatör ile aradaki basınç farkını tolere etmek için de pantolon yapısı ilave edilmiştir. Regülatörden doğrudan arıtma tesisine giden hat aynen korunmuş, ilave

branşman yapısı ile ham su HES'e iletilmiştir. Bu sayede arıza-bakım durumunda HES devre dışı kalsa bile branşmandan doğrudan eski hat üzerinden arıtma tesisine ham su verilebilmektedir. Yine baraj hattında veya yüzer su alma yapısında olabilecek sorunlarda bile regülatörden pantolon yapısı ile ham su alınabilmektedir. Ayrıca HES dizaynında kullanılan plunger vana sayesinde HES debisinin 2 katına kadar ham su arıtma tesisine ayarlı olarak verilebilmektedir.

2.2.1. Su Alma Yapısı Karakteristikleri

Bu çalışmada, baraj yüzeyinden dubalı su alma yapısı kullanılmıştır. Mevcut su alma yapısına yerleştirilecek olan, paslanmaz malzemeden imal edilmiş "savak adaptörü" Ø1400 lük polietilen boru bağlantısı için kullanılacaktır. Su alma işlemi boru ucuna yerleştirilen krepinden yapılacaktır. Dubalı yapıya sabitlenmiş olan Ø1400 polietilen boru barajdaki su kotuna göre yukarı aşağı yönlü olarak hareket edecektir. Beton kütle ile zemine de sabitlenen boru hareketi sınırlandırılmış olacaktır. Su alma yapısı ile barajdaki suyun potansiyel enerjisinin tamamının HES'e iletilmesi sağlanacaktır. Ancak esas yapıma amacı üretilecek elektrik enerjisini arttırmaktan çok içme suyu üretiminde kullanılan ham suyun kalitesini arttırmaya yöneliktir. Eski durumda herhangi bir seviyedeki baraj vanası açılarak, ham su buradan temin edilmekte ve ham su kalitesi ayarlanamamakta idi. Baraj yüzeyinde hem yüzer atık, hem de mikrobiyolojik yaşam düzeyi çok daha yüksektir. Derinlere inildikçe de çözülmüş oksijen miktarı azalmakta bununla birlikte ağır metal ve biyolojik atık madde miktarı artmaktadır. Bu nedenlerle alınan suyun kalitesi değişmektedir. Dubalı su alma yapısı kullanılmasının en önemli amacı, içme ve kullanma suyunda meydana gelen koku değişimi, suyun rengi ile tadında meydana gelen değişimler ile bu değişimlerden kaynaklanabilecek sağlık risklerinin önüne geçilmesinin sağlanmasıdır. Esiroğlu içme suyu tesisi ağır metal arıtmadığı için su daha çok baraj yüzeyinin 5 ile 15 metre derininden alınacaktır. Dubalı su alma yapısı sayesinde, Atasu Baraj suyunun en kaliteli olduğu derinlikten istenilen şekilde su alınabilecektir. Söz konusu yapıda bulunan boruların çapı, Esiroğlu ve Akoluk içme suyu arıtma tesislerinin ihtiyacını karşılayacak pik debiyi sağlayacak şekilde büyütülmüştür. Şekil 17'de çalışmamızda ifade edilen dubalı su alma yapısı verilmiştir.



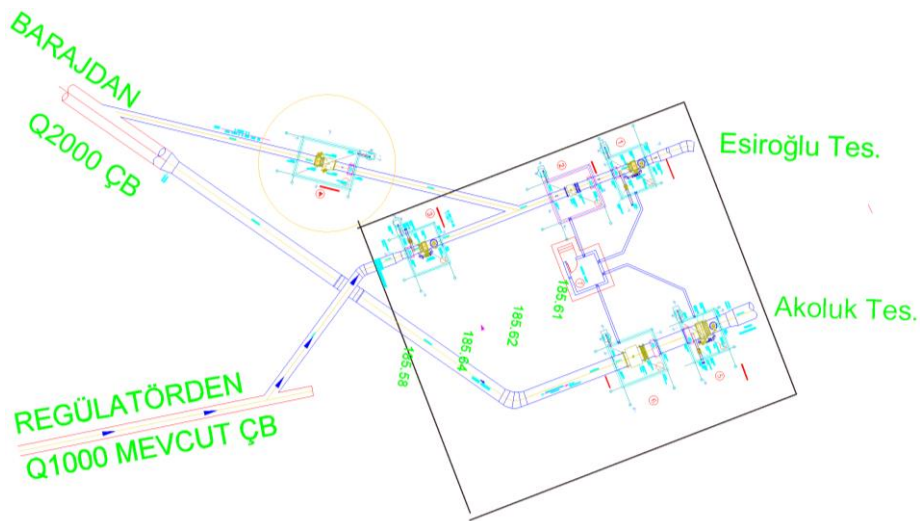
Şekil 17. Baraj yüzeyi dubalı su alma yapısı

2.2.2. Cebri Boru

İçmesuyu HES lerinde genellikle cebri boru hattı olarak isale hatları veya ham su hatları kullanıldığı için bu sistemde de isale hattı aynı zamanda cebri boru görevini yerine getirmektedir. Ancak eski durumda pantolon yapısından yüzer su alma yapısına kadar olan kısımlar, pantolon yapısı, branşman ve branşman ile HES arası borulama işleri olmadığından bu kısımlar yeni yapılmıştır. Regülatör ile branşman arasındaki mevcut 30 yıllık 1000mm çapındaki çelik borunun basınç dayanımının zayıflamış olabileceği ihtimaline karşı da santral mekanik ekipmanlarında suprasyon-deprasyon önleyici tasarımlar yapılmıştır. Barajdan pantolon yapısına kadar gelen ana isale hattı hem Akoluk arıtma tesisinin hem de Esiroğlu arıtma tesisinin ham su ihtiyacını karşılayabilecek kapasiteye sahiptir.

2.2.3. Regülatör ve Pantolon Yapısı

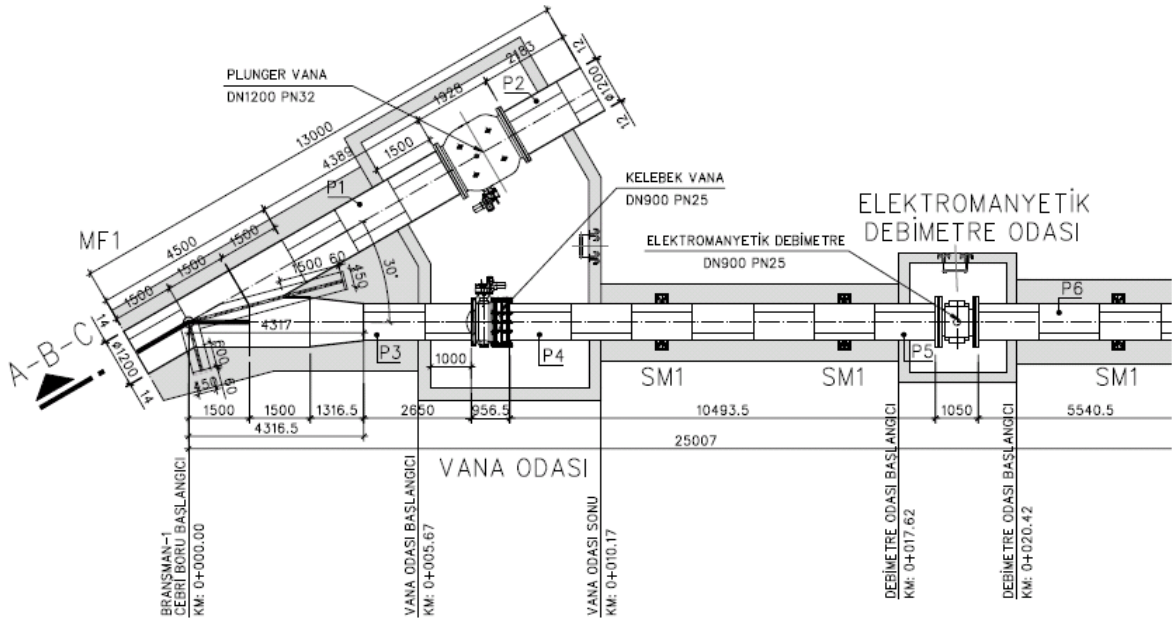
1991 yıllarında baraj henüz planlama aşamasında iken geçici olarak Esiroğlu arıtma tesisinin ham su ihtiyacı Atası deresi üzerindeki regülatörden sağlanmakta idi. Ancak Akoluk arıtma ve Esiroğlu HES devreye girince ham suyun barajdan alınması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Pantolon yapısı ham suyun Akoluk ve Esiroğlu tesislerine iletmek üzere barajdan veya regülatörden alınmasını temin amacıyla yapılmıştır. Çalışmamızdaki regülatör ve pantolon yapısına ait görsel Şekil 18’de verilmiştir.



Şekil 18. Regülatör ve pantolon yapısı

2.2.4. Santral Branşman Yapısı

Santralde oluşabilecek herhangi bir olumsuzluğun mevcut sistemi etkilememesi ve santral yapımı esnasında içme suyu sürekliliğinin kesintiye uğramaması için mevcut sisteme mümkün olduğunca müdahale edilmemiş sadece santral branşman yapısı ile santralin hidrolik beslemesi arıtma tesisinde tamamen ayrıştırılmıştır. HES çıkışındaki enerjisi alınmış ham su kaskat havalandırma yapısına dökülmektedir. Şekil 19’da santral branşman yapısı görsel olarak verilmiştir. Branşman yapısı gerekli vana ve elektromanyetik debimetrelerle donatılmıştır.



Şekil 19. Santral branşman yapısı

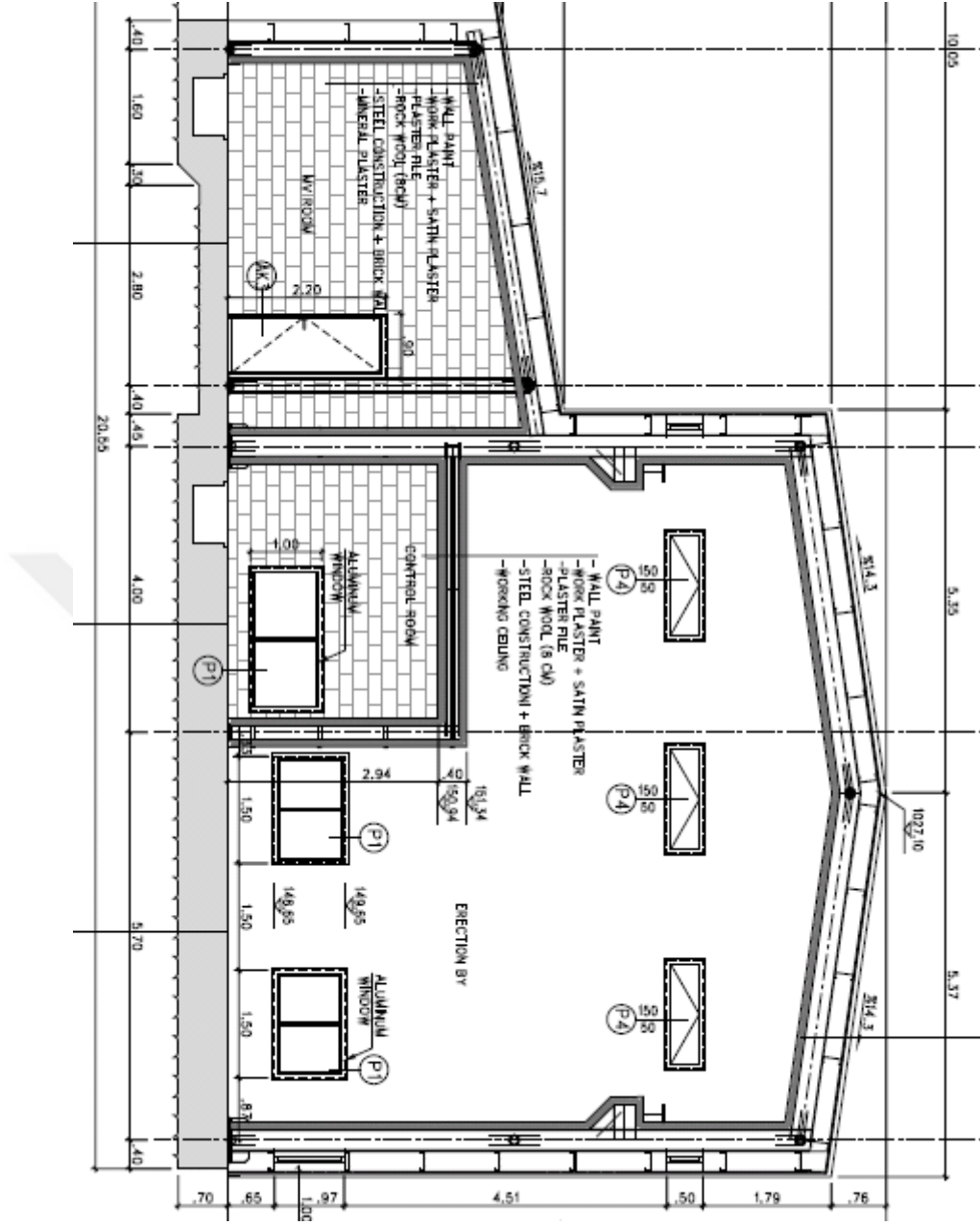
2.3. Santral Binası Genel Yapısı

Santral binası beton prefabrik olarak 10,60mx18,20m ebatlarında tasarlanmış olup maksimum yüksekliği 13,85 metredir. Mevcut kaskat havalandırma yapısının hemen yanına konumlandırılan santral binası ekipmanların nakliye ve montaj kolaylığı sağlaması için gezer köprülü vinç ile donatılmıştır. Aşağıda ifade edilen temel bileşenlerden oluşmaktadır. Santral binasının genel yerleşimi ise Şekil 20’de, cephe görünümü de Şekil 21’de verilmiştir.

Türbin	Dizel Jeneratör
Alternatör (Jeneratör)	Kablolar
Nötr Topraklama Kabini	Otomasyon Scada Sistemleri
Manyetik Uyarım Sistemleri	İğne Vana
Ana Trafo ve İç İhtiyaç Trafosu	Küresel Vana
Basınç Tahliye vanası	Debimetreler
Gezer Vinç	Basınçlı Yağlama Sistemleri
36kV Kesici ve Ayrıcılar	Kelebek Vana
Elektromanyetik Debimetreler	Hidromekanik Yapılar



Şekil 20. Santral binasının genel yerleşimi



Şekil 21. Santral binası cephe görünümü

Santral Binası Karakteristikleri:

- Eni : 8 m
- Boyu : 13 m
- Yüksekliği : 4,8 m
- Kuyruksuyu kotu : 145 m

Kurulu Güç ve Üretim Karakteristikleri:

- Türbin tipi : Pelton (5 inkjetli)
- Ünite adedi : 1
- Ünite gücü : 2239 kWe
- Kurulu güç : 2239 kWe
- Net düşü : 154,5 m

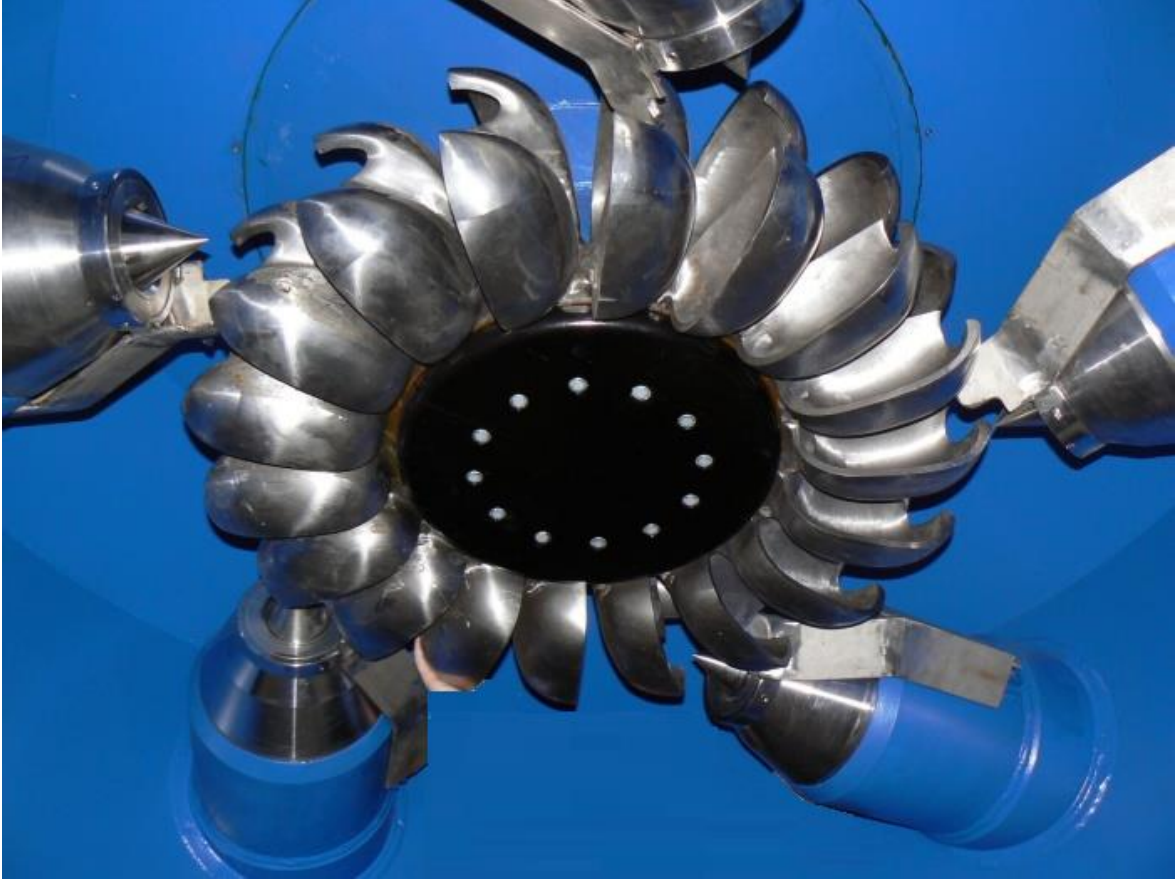
Santral binası ve bileşenleri her ne kadar içme suyu sisteminden hidrolik, elektromekanik ve elektriksel olarak ayrılmış olsa ve bu nedenle tasarım genellikle standart HES prosedürlerine göre yapılmış olsa bile; HES içme suyu sistemleri ile senkronize çalışacağından aşağıdaki unsurlar göz önüne alınmıştır;

- Giriş borusundaki basıncın stabil olması ve cebri boru olarak kullanılan yaklaşık 30 yıllık isale hattının aşırı basınca maruz kalmamasına özen gösterilmiştir.
- HES kuyruk suyu içme suyu olarak kullanılacağından tüm ekipmanlar “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik” standartlarına uygun olarak seçilmiştir.
- Su ile temas eden ve ısınabilen kısımlarda yağsız soğutma veya sulu soğutma sistemleri seçilmiştir.
- Tahliye borusu da içme suyu arıtma tesisine bağlanmıştır.
- 2024 yılında Esiroğlu arıtma debisi %40 oranında azalacağından sistem %20 debide dahi yüksek verimli çalışacak şekilde dizayn edilmiştir.
- İhtiyaç halinde normal debinin (1700,00l/s) 2 katına kadar ham su arıtma tesisi girişine otomatik olarak iletilebilecek şekilde tasarım yapılmıştır. İlave debinin kontrolü arıtma tesisi görevlilerince veya otomatik olarak sağlanabilecektir.
- HES enerji üretiminin yapım-bakım-arıza gibi nedenlerle kesintiye uğraması durumunda sistem tam otomatik olarak hem jeneratör hem de EDAŞ hattından beslenebilecektir.

2.3.1. Esiroğlu HES Türbini

Hidroelektrik santralin temel bileşenlerinden olan türbin; suyun basıncından kaynaklanan hidrolik enerjiyi mekanik enerjiye çevirerek alternatöre (jeneratör) aktarmaktadır. Yükseklik, basınç, kavitasyon, çıkış basıncı, verim gibi standart HES tasarımlarının yanı sıra içme suyu tesislerinde sıkça rastlanılan debi değişkenliği, cebri

boru yerine ham su hattı kullanılması kaynaklı sorunlar ve sağlık standartları da dikkate alınarak türbin tipi 5 inçjetli pelton olarak belirlenmiştir. Tek ünite olarak yapılan türbin 12 ile 17 bar basınç aralığında çalışabilecek ve 200,00 L/s debide dahi verimli elektrik üretebilecektir. Türbin-alternatör grubu dikey tip seçilmiştir. 2239 kWe çıkış gücü verecek şekilde tasarlanan türbinin üzerine jeneratör yerleştirilecektir. Teknik verileri gereği Francis ve pelton tip türbin kullanılabilir. Normalde Francis tipi türbin verimleri daha yüksektir, ancak Esiroğlu HES için özellikle suyun debisinin yüksek değişkenliği ve baraj seviyesinin içme suyu arz sürekliliği nedeni ile asgari seviyeye kadar kullanılması zorunluluğundan dolayı pelton tip türbin seçilmiştir. Dikey tip pelton türbin çarkları Şekil 22'de verilmiştir [25].



Şekil 22. Esiroğlu HES 5 inçjetli dikey tip pelton türbin çarkı

2.3.2. Esiroğlu HES Jeneratörü (Alternatör)

Türbin gücüne uyumlu olarak $\cos\alpha=0,85$ için 2650 kVA olarak seçilen jeneratör senkron tip ve 6,3 kV çıkış gerilimine sahiptir. Jeneratör soğutma sınıfı yüksek verimliliği nedeniyle B/B sınıfı seçilmiştir. Ayrıca olağan dışı durumlara karşı jeneratörün testleri oda şartlarında 0,85 güç faktöründe %110 yükte 2 saat çalışma testleri yapılmıştır. Jeneratör (alternatör) şekil 23'te verilmiştir [26].



şekil 23. Alternatör (jeneratör)

2.3.3. Esiroğlu HES Ana Trafo ve Yardımcı Trafolar

Jeneratörde üretilen 6,3 kV elektriğin $31.5 \pm 3 \times 2.5\%$ kV'a yükseltilmesi ve şebeke güç katsayısının dengelenmesi için 3150 kVA olarak seçilmiştir. YNd11 bağlantı sistemindeki trafo yangın ihtimaline karşı kuru tip olarak tasarlanmıştır.

Ayrıca santralin çalışmadığı durumlarda şebeke elektriği ile santral bileşenlerini beslemek için sisteme 100 kVA iç ihtiyaç trafosu eklenmiştir. $33 \pm 3 \times 2.5\% / 0.4$ kV

gerilim dönüşümüne sahip bu trafo da Yzn11 bağlantı sistemine sahip ve kuru tipdir. Şekil 24'te kuru tip trafo verilmiştir [27].



Şekil 24. Esiroğlu kuru tip trafo

2.3.4. Esiroğlu HES Dizel Jeneratörü

Acil durumlarda kullanılmak üzere 63kVA otomatik dizel bir jeneratör sisteme eklenmiştir. Gerekli durumlarda sadece santral bileşenlerini besleyecek olan jeneratör 1500 devir ve 400V çıkış geriliminde seçilmiştir. Şekil 25'te dizel tip jeneratör verilmiştir [28].



Şekil 25. Dizel tip jeneratör

2.3.5. Esiroğlu HES İğne (Plunger) Vanalar

16 bar nominal basınçta çalışacak 600 mm ve 1000mm çaplarındaki iğne vanaların temel görevleri şunlardır;

- Esiroğlu HES'e alınmayacak olan ham suyun doğrudan kaskat havalandırma yapısına aktarılması ve içme suyunda dakikalık dahi olsa ham su kesintisine izin verilmemesinin temini
- Arıtma tesisinin zaman zaman ihtiyacı olacak türbin debisinin üzerindeki ilave debiyi karşılamak
- Sistem hidrolik yüklerini mümkün olduğunca dengeli tutmak
- Santral dışı ham su ilave debilerinin kontrolü
- Santralin hidrolik anahtarlamasının sağlanması

Şekil 26'da iğne (plunger) vana verilmiştir [29].

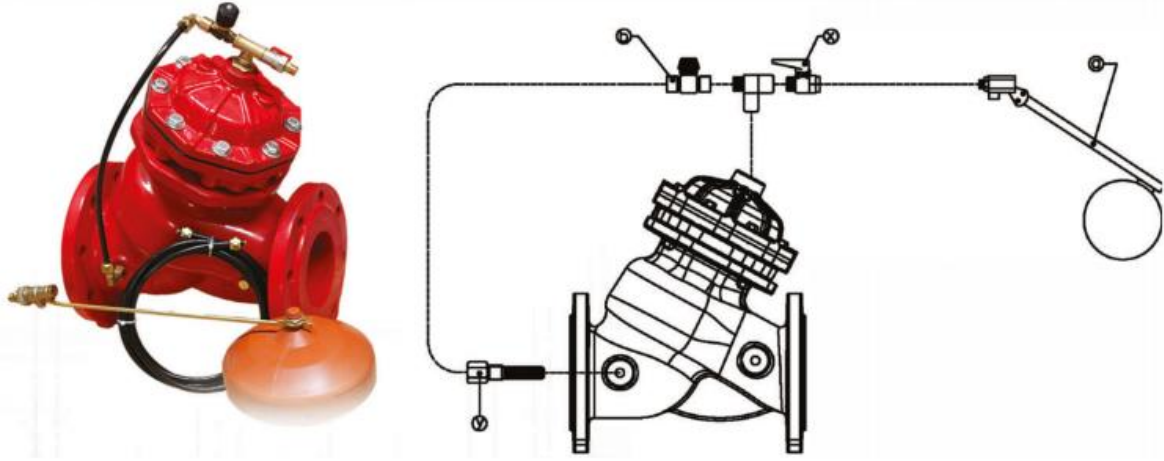


Şekil 26. Esiroğlu iğne (plunger) tip vana

2.3.6. Esiroğlu HES Basınç Tahliye (relief) Vanası

Türbin ana vanasından önce ayrı bir branşman ile hidrolik sisteme bağlanan vananın ana görevi herhangi bir basınç yükselmesi veya darbelenme durumunda suyu ani tahliye ederek sistemin aşırı basınçtan zarar görmesinin engellenmesidir. Esiroğlu HES'de aynı çapta daha yüksek debi tahliye edebilme kapasiteleri nedeniyle Y tipi basınç tahliye vanası

kullanılmıştır. Tahliye edilen ham su ticari HES’lerde olduğu gibi tahliyeye değil içme suyu arıtma tesisi girişine yönlendirilmektedir. Şekil 27’de y tipi basınç tahliye vanası verilmiştir.

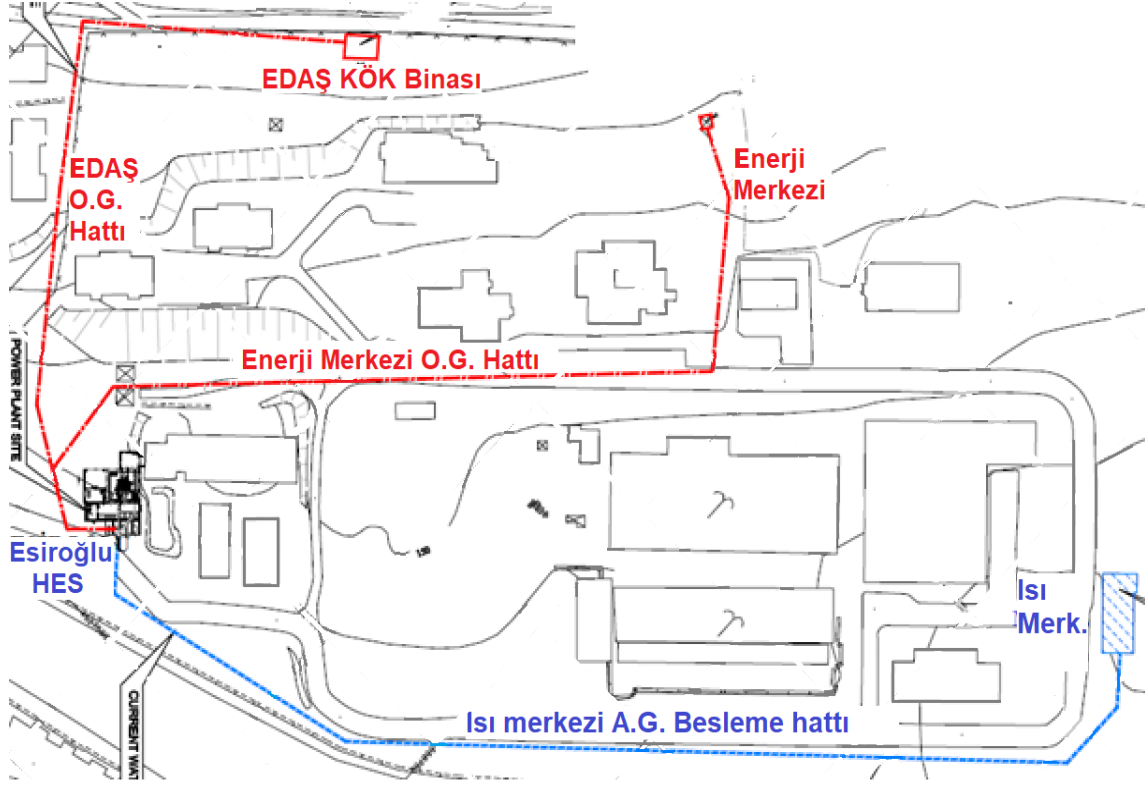


Şekil 27. Y tipi basınç tahliye (relief) vanası

2.3.7. Esiroğlu HES Enerji Nakil Hatları

Arıtma tesisi içerisinde 630 kVA ve 1250 kVA enerji merkezlerimiz vardır. Ayrıca tesis irtifak alanından 3 x swallow enerji nakil hattı geçmektedir. Ancak swallow hatların arıza ihtimali yüksek olacağından EDAŞ görüşleri de alınarak üretilen enerjinin 234 metre mesafedeki mevcut 3/0 enerji nakil hattına 95mm² kesitli yeraltı kabloları ile verilmektedir. Santralin 6,3/31,5 kV 3,15 MVA trafosu üzerinden EDAŞ KÖK binasına giden OG enerji nakil hattının yanı sıra 1250kVA gücündeki Esiroğlu arıtma tesisi enerji merkezi de OG enerji nakil hattı üzerinden beslenmektedir.

Sistemin ısı merkezi fuel-oilli yakıttan hava kaynaklı ısı merkezine dönüştürüldüğünden ısı merkezine de A.G.güç beslemesi yapılmaktadır. Enerji nakil hatları Şekil 28’de, OG bağlantılar ve primer sistem Şekil 29’da verilmiştir.



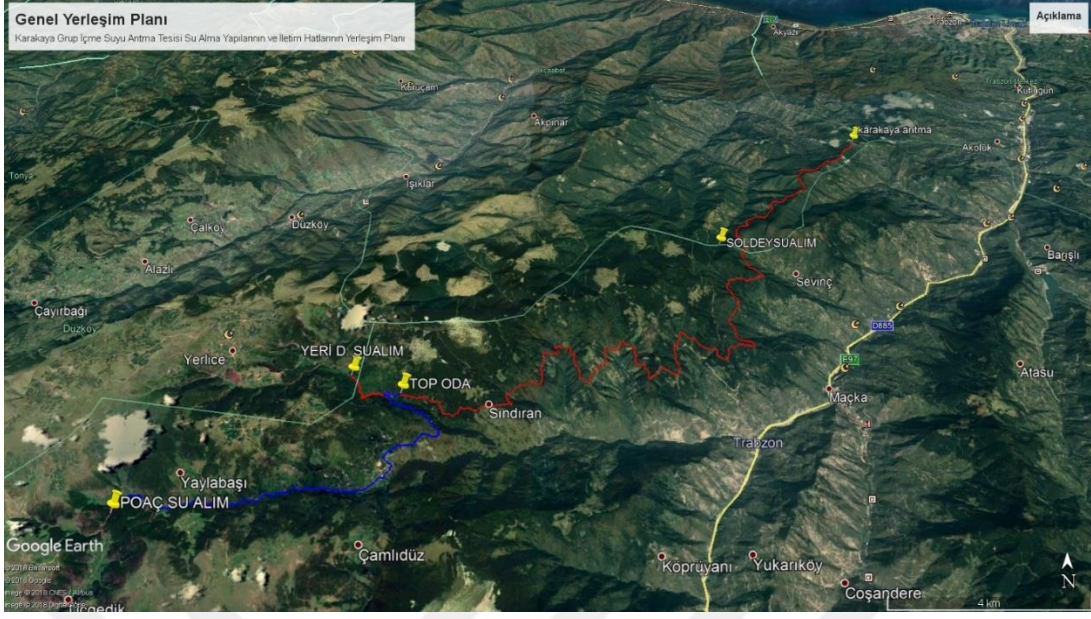
Şekil 28. Esiroğlu HES enerji hatları

3. KARAKAYA (AĞILLI) İÇME SUYU HİROELEKTRİK SANTRALİ TESİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ (PaT UYGULAMASI)

Dünyanın enerji gereksinimi artan nüfus ve talep ile orantılı olarak artmaktadır. Bu durum enerjinin birim fiyatını artırmakla beraber enerji üreticilerini birim maliyeti düşürmek için çalışmalara sevk etmektedir. Rotadinamik pompaların ters çalıştırılarak hidrolik olarak kullanılması literatürde bilinen teknik bir konudur ve PaT (Pump as Turbine) olarak da adlandırılırlar. Uygulamada türbin olarak kullanılan pompa tiplerinden en sık görülenleri uçtan emişli norm pompalar, çift emişli pompalar veya kademeli pompalardır. Pompaya basma flanşından giren su çark içinden ters yönde geçerek emme flanşından pompayı terk ettiğinde, çark ters yönde dönerek bir hidrolik türbin olarak kullanılabilir. Aynı zamanda pompa tahrikinde kullanılan asenkron motorlar, pompa türbin olarak kullanıldığında jeneratör gibi davranmakta ve elektrik üreterek şebekeye ters olarak enerji besleyebilmektedir [31].

3.1. TİSKİ Karakaya Mikro HES Yapısı ve Yerleşim Yeri

Tiski Karakaya İçme Suyu Grubu Mikro HES, Trabzon İli Ortahisar İlçesi sınırlarında yer almaktadır. Santral; Ağıllı Mahallesi'nde 1006m kotunda yer almaktadır. Mevcut arıtma tesisine gelen ham su üç ayrı su alma yapısından temin edilmektedir. Su alma yapılarından gelen isale hatları Yosmadüzü'nde bulunan toplama noktasında birleştirilerek arıtma tesisine yaklaşık 4500m iletim borusuyla gönderilmektedir. Su toplama noktası 1128 m kotundadır. Şekil 30'da Karakaya İçme Suyu Grubu Mikro HES'in yerleşim planı, Şekil 31'de santral binası, Şekil 32'de de hidromekanik bağlantıları verilmiştir.



Şekil 30. Karakaya içme suyu grubu mikro HES yerleşim planı



Şekil 31. Karakaya içme suyu grubu mikro HES santral binası



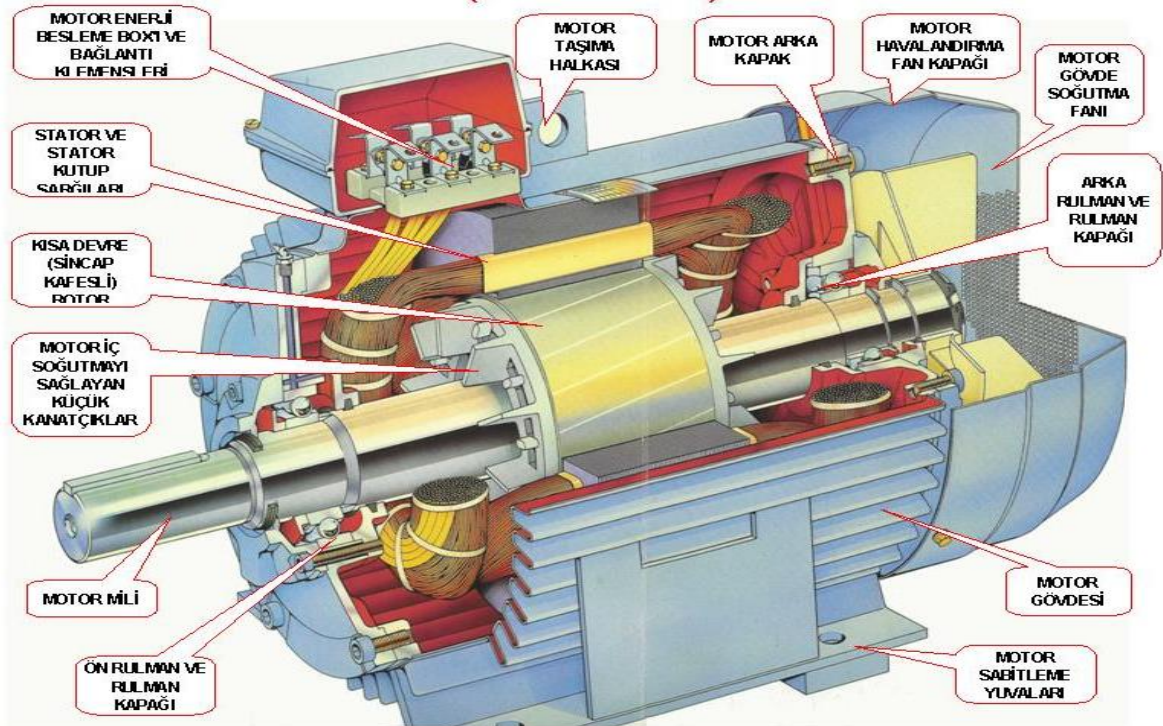
Şekil 32. Karakaya içme suyu grubu mikro HES hidromekanik bağlantılar

Şekil 32’de gelen ham su iki farklı koldan arıtmaya gitmektedir. Türbin kolu üzerinde önce karşı ağırlıklı vanadan geçen ham su daha sonra PaT sisteminden ve debimetreden geçerek arıtmaya yol almaktadır. Buradaki 250Kg karşı ağırlıklı vananın görevi enerji kesintisi durumunda doğal ağırlık ile vananın suyu kesmesi ve pompanın sonsuz devire çıkmasının engellenmesidir. İkinci kol üzerinde iğne (plunger) vana bulunmakta olup; bu vananın görevleri basıncı stabil tutmak, motopomp debisinin üzerinde debi geçmesi gereken durumlarda sınırlı debi tahliyesi sağlamak ve gerektiğinde PaT sistemi devre dışı bırakmaktır. Sistem ayrıca vanalar, ek parçaları, HPU ünitesi, ve basınç ölçerler gibi elemanlarla donatılmıştır.

3.2. Asenkron Makineler

Asenkron makineler motor ve jeneratör olarak kullanılabilir. Motor çalışma durumunda stator sargılarından aldığı elektriksel enerjiyi, rotorda mekanik enerji olarak verirler. Girişten elektrik enerjisi olarak giren güç, belirli bir kayıpla çıkışta mekanik enerji formuna dönüşmüş olur. Jeneratör olarak çalışan asenkron makinelerde ise rotora mekanik olarak verilen enerji, stator sargılarından elektrik enerjisi olarak alınmaktadır. Motor olarak kullanımları çok yaygındır. Endüstride özel uygulamalar haricinde genellikle asenkron motorlar tercih edilir. Birkaç Watt mertebesinde birkaç Megawatt mertebesine kadar

asenكرون makineler imal edilmektedirler. Gerilim olarak da 100 Volt mertebelerinden 36 kV mertebelerine kadar gerilimlerde çalışan asenكرون makineler bulunabilir. Rotoru sargılı ve bilezikli makineler olduğu gibi, rotoru kısa devre (sincap kafes) makineler de vardır. Yapı olarak bilezikli makineler daha karmaşık, bakım gerektiren ve aşırı devirlere karşı duyarlı makinelerdir. Buna karşın değişken hız uygulamalarında bilezikli asenكرون jeneratörün getirdiği avantajları kullanılması için özellikle rüzgâr türbin jeneratörü uygulamalarında sıkça tercih edilirler. Sincap kafesli makineler ise rotorda kısa devre edilmiş çubuklardan oluşan katı bir yapı bulundurmakta, rotor bilezikleri olmadığı için aşırı devirlere daha dayanıklı olmaktadır. Bakımsız bir yapısı vardır ve daha uygun maliyetler ile bulunabilmektedirler. Bu sebeple motor uygulamalarında daha çok tercih edilirler [32, 33]. Şekil 32’de asenكرون makine verilmiştir.



Şekil 33. Asenكرون makine

3.3. Asenكرون Jeneratörlerin Avantajları (PaT Sistemler İçin)

- Sağlam bir yapıya sahiptirler
- Mekanik anlamda basittirler

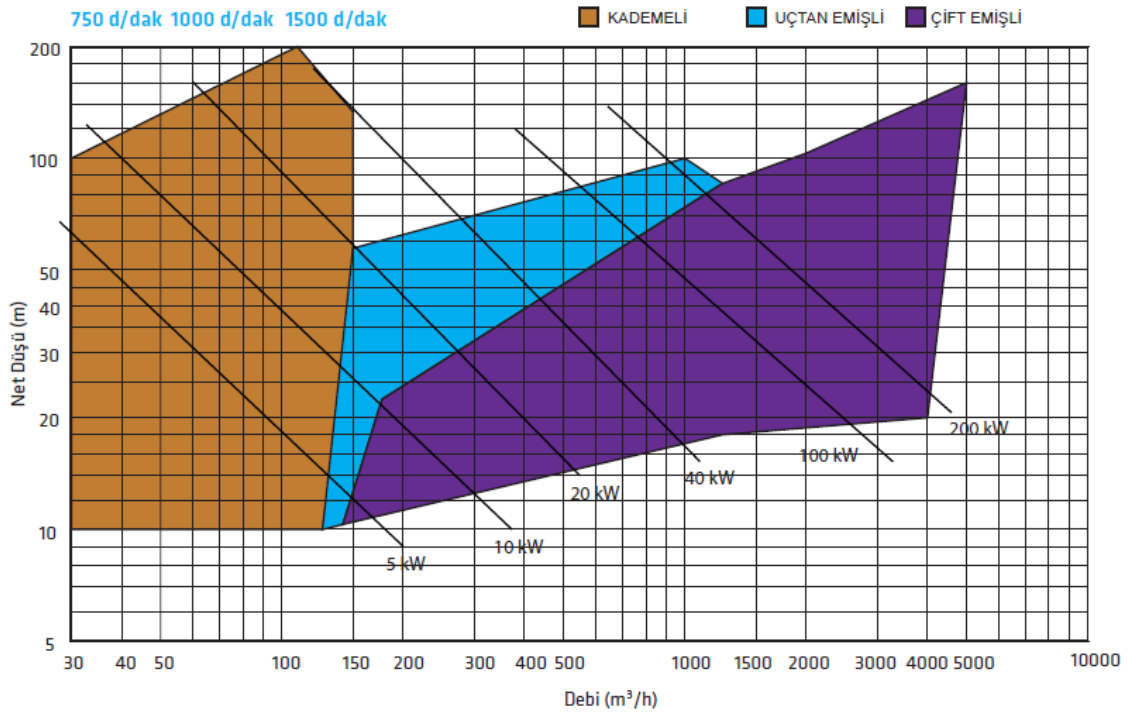
- Eşdeğer güçteki diğer motorlara oranla fiyatları düşüktür.
- Ani debi ve basınç değişiminde oluşan tork titreşimlerini azaltmada oldukça iyidirler. Bir diğer deyişle ani değişimlerde oluşacak şok darbeleri absorbe etme özellikleri vardır. Debi ve basınç değişiminde meydana gelecek ani dalgalanmalar ve darbelenmeler kaymanın da artması veya azalması ile neticelenir. Bu özellik mekanik ekipmanlar üzerindeki darbe değişimlerinin oluşturduğu şokların azalmasına yardımcı olur.
- Fırça, bilezik gibi dönen kontakları yoktur,
- Başlatılmaları kolaydır.
- Şebekeye bağlanmaları kolaydır, doğru akım jeneratörlerine ve senkron jeneratörlere göre direkt olarak şebekeye bağlanabilirler.
- Şebekeye bağlandığı zaman salınımlar oluşturmazlar.
- Asenkron jeneratör, senkron jeneratörde olduğu gibi şebekeyle senkronize olmak zorunda değildir. İlave bir kontrole ihtiyaç duymaksızın işletim hızına ulaşır. Ancak jeneratör boyutu büyüdükçe, asenkron jeneratörler şebekeye bağlantı esnasında oldukça yüksek bir başlangıç akımına neden olurlar.
- Hidrolik türbinlerinde asenkron jeneratör kullanılması durumunda, asenkron jeneratörün reaktif güç gereksinimi karşılanmalıdır. Asenkron jeneratör direkt olarak şebekeye bağlı olduğundan reaktif gücü karşılanmazsa doğrudan şebeke üzerinden çekecektir. Hidrolik türbin panosuna yerleştirilecek kapasite guruplarının reaktif gücü rahatlıkla kompanze etmeleri sağlanabilecektir. Hidrolik türbinlerinin şebekeden çekecekleri reaktif gücün azaltılması gerilim seviyesini yükseltecektir. Bu sayede hidrolik türbinlerinin şebeke gerilimi üzerindeki etkileri azalacaktır. Sonuç olarak kompanzasyon ünitesi ile beraber asenkron jeneratör güç faktörünü dengelediği için iyi performans verir.
- En büyük dezavantajı ise duran kısım statorun, reaktif mıknatıslanma akımına olan ihtiyacıdır [34, 35].

3.4. Pompaların Türbin Olarak Kullanılmasında (PaT) Genel Özellikler

Pompaların motor olarak kullanılmasının temel özelliklerini şu şekilde karşılaştırabiliriz;

- ❖ PaT durumunda akışkan girişi pompaya göre ters yöndedir.
- ❖ Çark dönme yönü pompa durumuna göre ters yöndedir.
- ❖ Verimler genelde PaT durumunda, pompa durumuna kıyasla %2-3 mertebesinde daha düşüktür.
- ❖ PaT için kullanılan elektrik motoru (veya alternatör) genelde 2, 4, veya 6 kutuplu olarak seçilir.
- ❖ Ambalman hızları genelde senkron devir hızınının 1.05–1.3 katıdır
- ❖ PaT durumunda, pompa durumuna göre debi daha yüksek olmaktadır.
- ❖ PaT durumunda, pompa durumuna göre basınç kırımı daha yüksektir [31].

Türbin olarak kullanılan farklı türde pompaların çalışma aralıkları Şekil 34'te verilmiştir.



Şekil 34. PaT türbin olarak kullanılan farklı türde pompaların çalışma aralıkları

3.5. Türbinler ile PaT Karşılaştırılması

TÜRBİN

- Kurulu Güç çok yüksek 20.000 MW mertebelerine kadar çıkabilir
- Verimleri yüksektir.

- İlk yatırım maliyetleri yüksektir.
- 1-2 MW mertebesindeki türbinlerin amortisman süreleri 4-5 yıl kadardır
- Kompleks yapıya ve işletme-bakım sistemlerine sahiptirler [28].

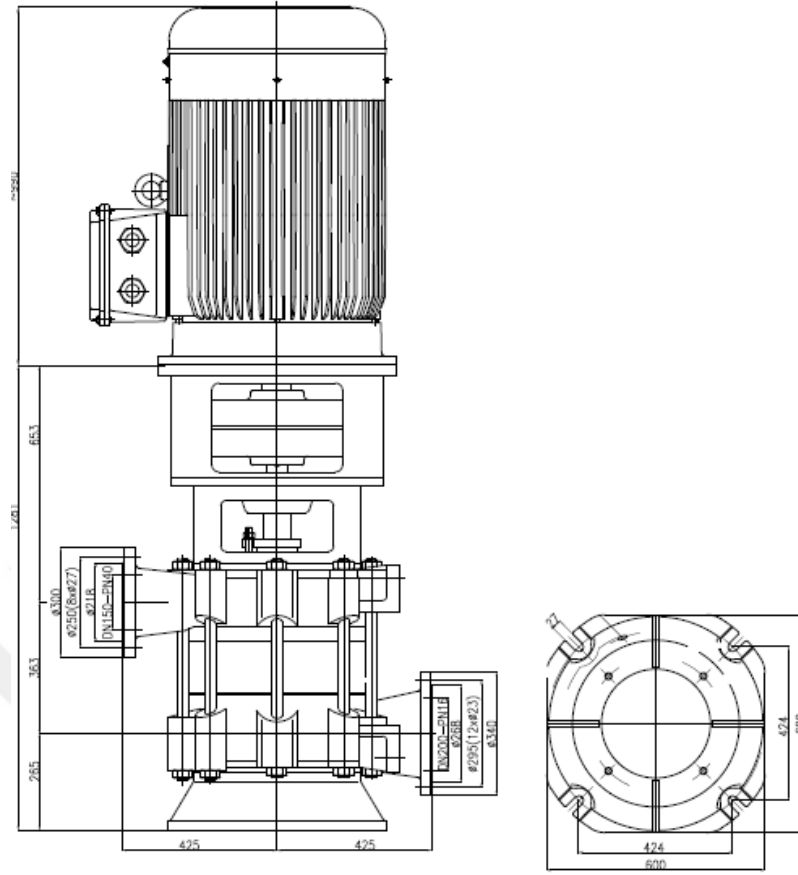
PaT

- Kurulu Güç çok düşük olup; genelde 100kW seviyelerindedir.
- Verimleri türbinlere nazaran düşüktür.
- İlk yatırım maliyetleri çok düşüktür.
- 1 MW mertebesindeki PaT'ların amortisman süreleri en çok 1 yıldır.
- Basit yapıya sahiptirler [28].
- Bakımları ve işletilmeleri kolaydır.

3.6. PaT Çalışma Aralıkları ve Bağlantı Şekli

Türbin olarak kullanılacak pompaların çalışma aralıkları ve seçim kriterleri düşü ve debiye göre Şekil 34'teki grafikte görülmektedir. Yüksek düşülü uygulamalarda kademeli pompa, nispeten orta yükseklik ve orta debilerde uçtan emişli, debinin yüksek olduğu uygulamalarda ise çift emişli pompaların türbin olarak kullanılması verimlilik açısından daha uygundur [31].

Örnek bir uygulama olarak temiz su arıtma tesisi girişine konulabilecek bir PaT sisteminin genel görünüşü Şekil 35'te görülmektedir. PaT sisteminde herhangi bir arıza olduğunda su basınç düşürücü vanaya yönlendirilmekte, arıtma tesisi susuz kalmamaktadır. Basınç bilgisi belirli bir değerin altına düşünce hidrolik ağırlıklı kontrol vanasının kapatılması suretiyle türbini devre dışı bırakmaya ve iğne vananın açılıp suyun By-Pass hattına yönlendirilmesine yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda türbin sisteminin güç verim hesaplarının online takip edilebilmesi için sistem üzerinde bulunan debi ölçerden gelen analog bilgi ile basınç transmitterinden gelen bilgi panel üzerinde görüntülenerek uzaktan izlenmesinde, hesaplanmasında ve kaydedilmesinde kullanılmaktadır.



Şekil 35. PaT türbin jeneratör genel görünüşü

3.7. Karakaya HES Scada ve Otomasyon Sistemi

Şekil 36’da çalışmamızda ifade edilen Karakaya (Ağıllı) HES tesisi, PaT ve scada ekran görüntüsü verilmiştir. Şekil 36’da görülen ve türbin olarak kullanılan pompa ile ilk çalışma sırasında kendisini tahrik eden elektrik motoru, kritik bir debi değeri PaT içerisinden geçmeye başladığında dönme sayısı senkron devir üzerine çıkmakta ve asenkron motor elektrik üretmeye ve şebekeye sorunsuz elektrik beslemeye başlamaktadır. Elektrik şebekesinde meydana gelebilecek herhangi bir arıza durumunda (yük atması) türbin devri ve buna bağlı elektrik motoru devri artmaya başlamakta, PaT sisteminin daha fazla hızlanması önlenecek şekilde PaT girişi vana kapatılarak sistemin kendini korumaya alması sağlanmaktadır.

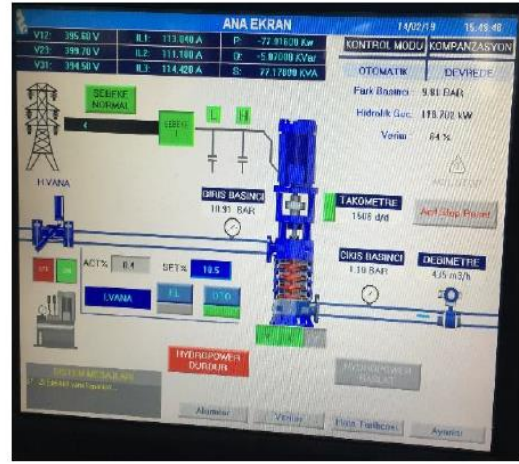
On-Grid sitemi olarak (şebekeye bağlı) tasarlanan ve Trabzon Karakaya içme suyu arıtma tesislerinin ham su giriş hattı üzerine (içme suyu arıtma tesisinden hemen önce) basınç kırıcı vana görevi görmek üzere kurulu bulunan mikro hidro elektrik santral

grubuna ait değerler, resim, hidro-elektrik sistemi izleme ve scada panosu ve Şekil 36 ve Şekil 37’de görülmektedir.

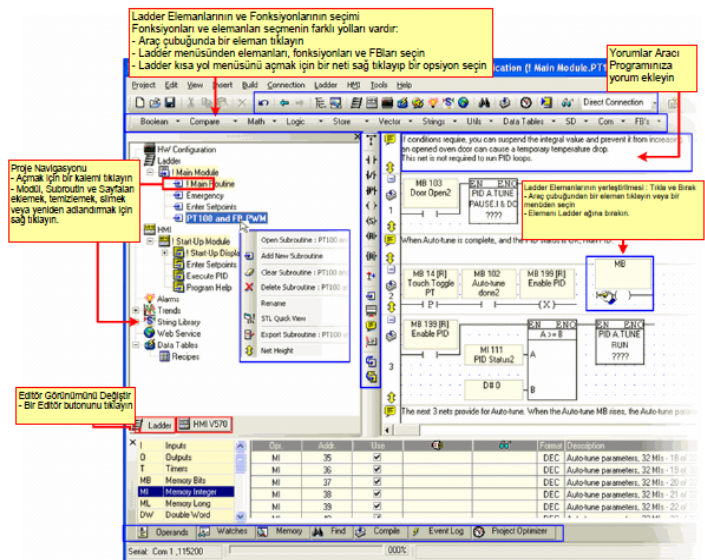
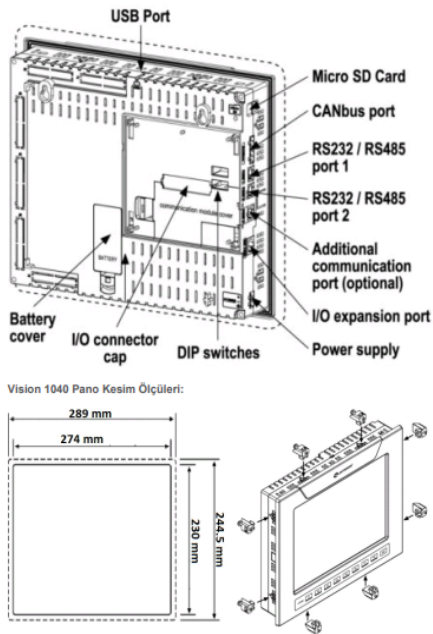
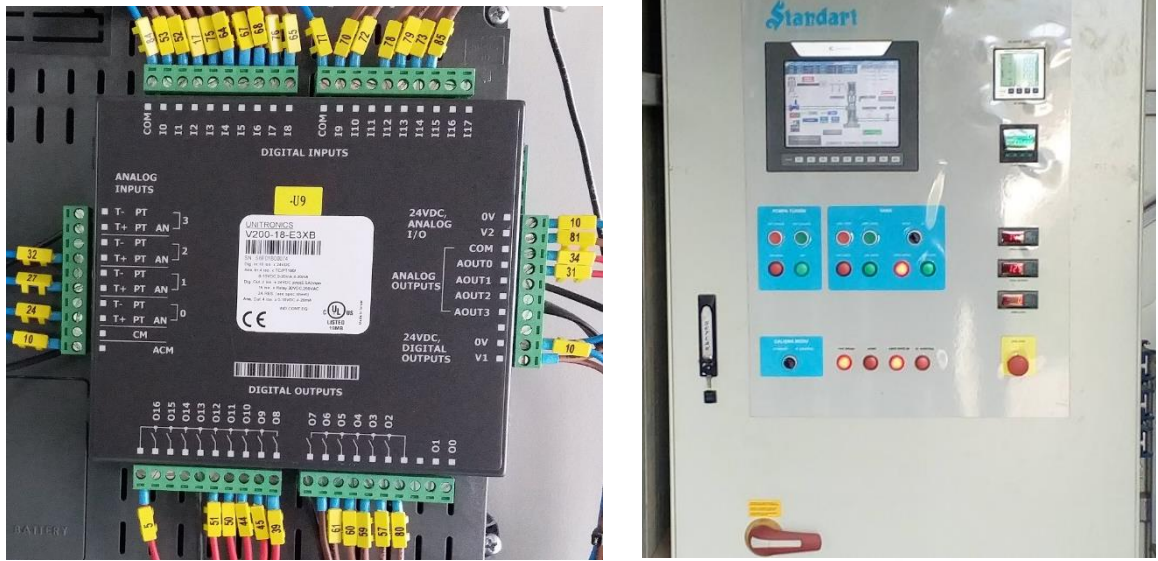


ON-GRID SİSTEM UYGULAMASI

Uygulama Yeri : Trabzon-Türkiye
 Uygulama Sahası: İçme Suyu Arıtma Girişi
 Debi : 230 -480 m³/h
 Basınç Kırımı : 65-110 m
 Kurulu Güç : 132 kW
 Üretilen Güç : 3-100 kW
 Pat Tipi : Düşey ok Kademeli



Şekil 36. PaT santral ve scada ekran grntŐ



Şekil 37. Karakaya mikro HES otomasyon panosu, PLC ve scada program ara yüzü

4. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

4.1. Karakaya Mikro HES Ortalama Güç

Karakaya mikro HES sisteminin gerek scada sistemi, gerek çift yönlü sayaçlar ve gerekse PaT sistem sayacı üzerinden izlenmeye alınmış ve saatlik bazda yapılan hesaplamalarda ortalama çalışma gücünün 76kW civarlarında olduğu görülmüştür. Mikro HES'in arıtma tesisinin su ihtiyacı, ham suyun debi ve basıncındaki değişikliklerden etkilendiği gözlenmiştir. Yapılan araştırmalarda zamanla debi azalmasının ve sistemin 50kW güçlerinde çalışmasının ana nedeninin su alım yapısındaki coanda tipi ızgara yüzeylerinde oluşan yosunlaşmadan kaynaklandığı ve su alma yapısına yükleme havuzu benzeri bir sistem ilave edilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Yosunlar temizlenerek sorun kısmen giderilmiştir.

4.2. Karakaya Pat Tipi Mikro HES Tesisinin Basınç Değişimine Göre Debi, Sistem Verimi ve Üretilen Elektrik Enerjisi Test Çalışmaları

Mikro HES tesisinde yapılan test çalışmalarında debi ve basınç değişimine göre hem verim hem de üretilen elektrik enerjisi değerleri çıkarılmıştır. Çıkarılan bu değerler üretici firma olan Standart Pompa'ya ait elimizdeki veriler ile kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar üretici değerleri ile aynı grafik üzerine işlenerek ayrıca kıyaslanmıştır. Tablo 3'te üretici firma olan Standart Pompa tarafından temin edilen katalog değerleri görülmektedir. Tablo 4'te de Karakaya mikro HES tesisinde tarafımızdan yapılan test çalışmaları sonucu elde edilen değerler gösterilmektedir. Kıyaslama amacı ile üretici verileri ile saha test çalışmalarından elde edilen veriler ayrı ayrı renklendirilmiştir.

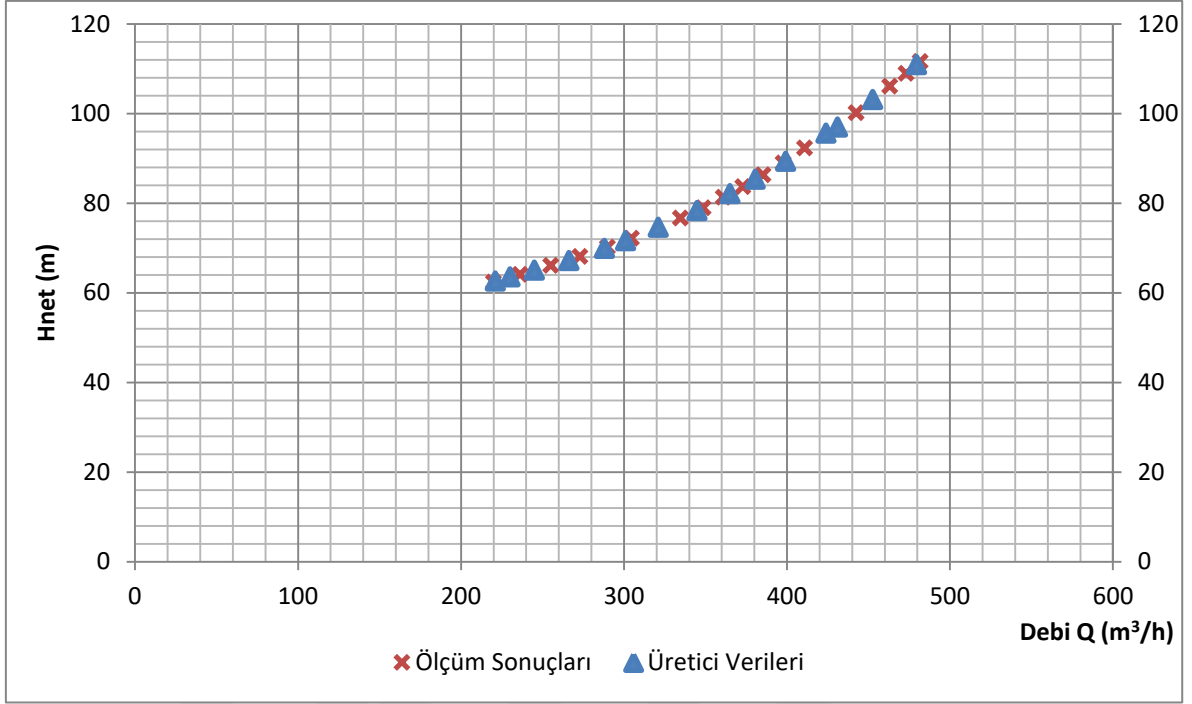
Tablo 3. Karakaya mikro HES PaT sistemi üretici verileri (Standart Pompa)

No	n rpm	Q m ³ /h	P _{giriş} bar	P _{çıkış} bar	H _{net} m	P _{üretilen} kW	η _{mot.} %	P _{mil} kW	η _{sistem} %	η _{PaT.} %
1	1500	479,6	12,76	2,05	110,96	98,24	95,6	102,76	67,8	71
2	1500	452,8	12,01	2,04	103,15	84,80	95,6	88,70	66,7	69,8
3	1500	431,1	11,19	1,81	97,06	74,72	95,6	78,16	65,6	68,7
4	1500	424,0	11,24	1,99	95,69	72,09	95,6	75,41	65,3	68,3
5	1500	399,3	10,48	1,84	89,39	60,60	95,6	63,39	62,4	65,3
6	1500	380,7	10,55	2,2	85,35	53,16	95,6	55,60	60,1	62,9
7	1500	365,2	9,77	1,82	82,13	46,69	95,6	48,84	57,2	59,8
8	1500	344,9	9,83	2,24	78,30	38,49	95,6	40,26	52,4	54,8
9	1500	321,2	9,08	1,84	74,65	30,34	95,6	31,74	46,5	48,7
10	1500	301,1	9,10	2,14	71,64	23,82	95,6	24,91	40,6	42,4
11	1500	288,1	9,13	2,34	69,93	19,41	95,6	20,30	35,4	37
12	1500	266,4	8,41	1,87	67,25	13,09	95,6	13,69	26,8	28,1
13	1500	245,1	8,46	2,13	65,00	7,25	95,6	7,58	16,7	17,5
14	1500	230,2	7,76	1,57	63,54	3,43	95,6	3,59	8,6	9,0
15	1500	221,1	7,78	1,68	62,62	0,77	95,6	0,8	2	2,1

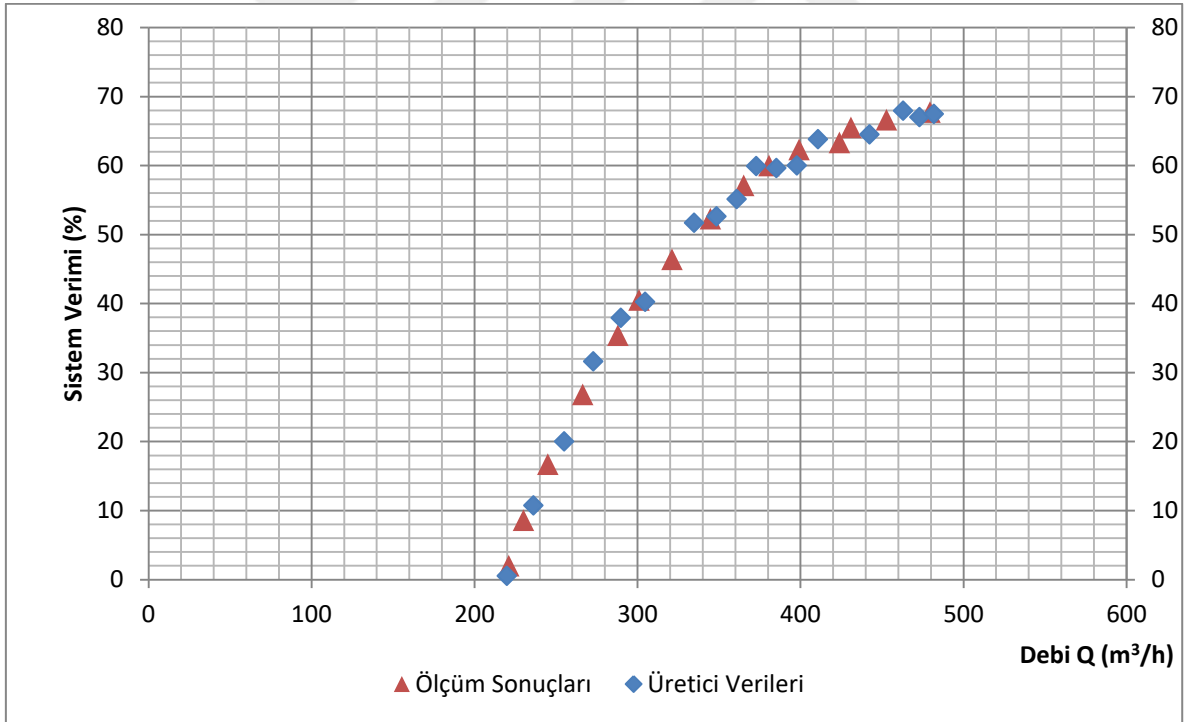
Tablo 4. Karakaya mikro HES saha deneysel ölçüm sonuçları

ÖLÇÜM NO	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
n (rpm)	1500	1504	1504	1505	1506	1508	1509	1510	1511
Q (m ³ /h)	220,0	236,3	255,1	273,0	289,8	304,7	334,8	348,6	361,0
P _{giriş} (bar)	7,75	8,05	8,44	8,63	9,13	9,1	9,51	9,82	9,78
P _{çıkış} (bar)	1,51	1,8	2,01	2,01	2,31	2,09	2,07	2,16	1,91
H _{net} (m)	62,4	64,1	66,1	68,1	70,2	72,2	76,7	79	81,3
P _{giriş} (kW)	37,4	41,3	45,9	50,62	55,4	59,94	70	75,05	80
P _{mil} (kW)	0,3	5,2	10,5	15,7	20,9	26,1	36,6	41,8	47,1
P _{üretilen} (kW)	0,2	4,4	9,2	16	21	24,1	36,2	39,5	44,1
η _{sistem} (%)	0,5	10,7	20	31,6	37,9	40,2	51,7	52,6	55,1

ÖLÇÜM NO	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17
n (rpm)	1513	1514	1516	1517	1521	1524	1526	1527
Q (m ³ /h)	373,0	385,3	397,8	410,9	442,5	463,2	473,1	481,9
P _{giriş} (bar)	10,16	10,5	10,48	10,8	11,61	12,3	12,57	12,8
P _{çıkış} (bar)	2,05	2,18	1,87	1,91	1,93	2,04	2,04	2,05
H _{net} (m)	83,7	86,3	89	92,3	100,2	106	109	112
P _{giriş} (kW)	85,1	90,7	96,54	103	120,9	134	140,6	147
P _{mil} (kW)	52,2	57,5	62,7	69	83,6	94,1	99,3	104
P _{üretilen} (kW)	51	54	58	66	78	91,1	94,2	98,9
η _{sistem} (%)	59,9	59,6	60	63,8	64,5	67,9	66,98	67,5



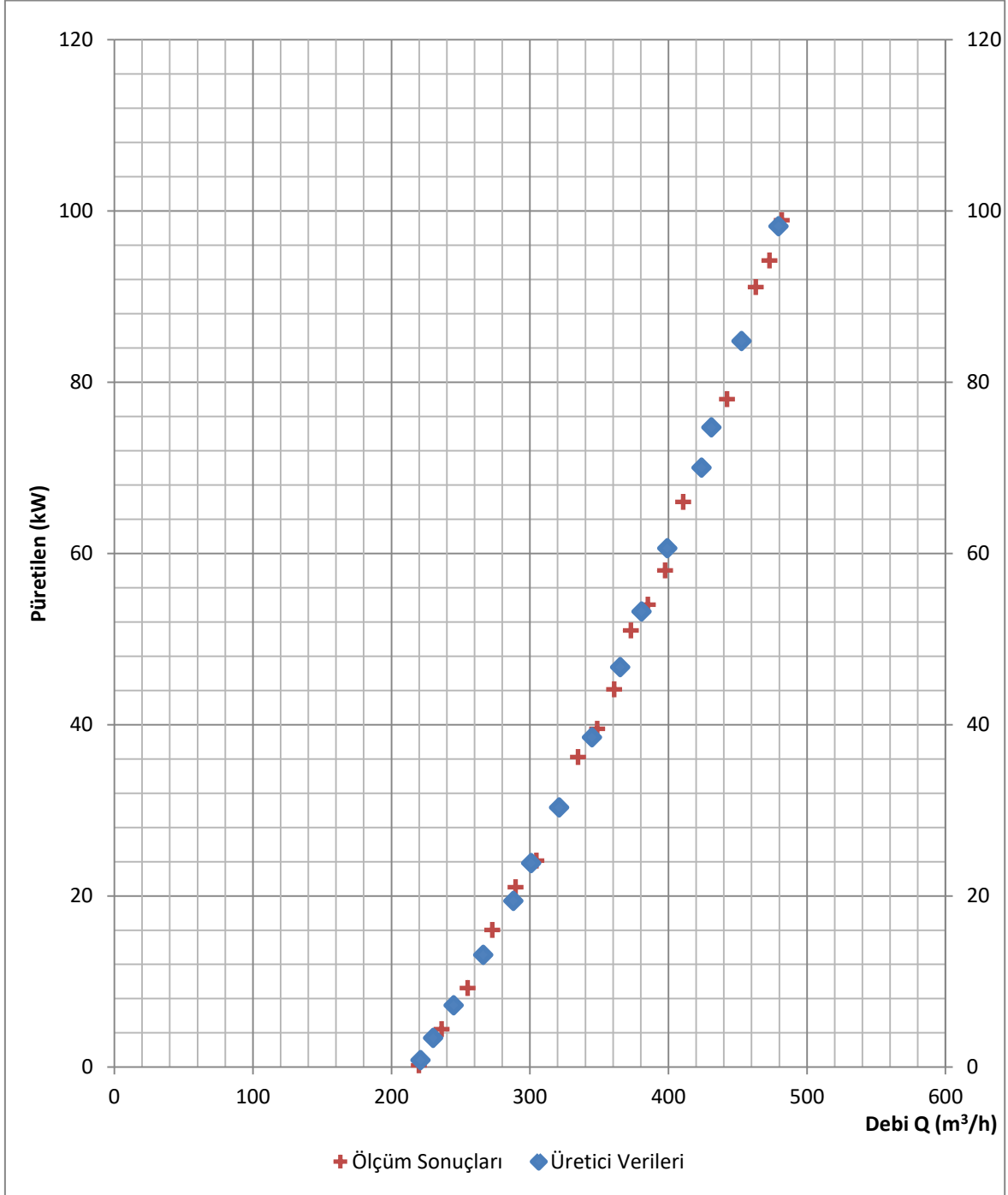
(a)



(b)

Şekil 38. Karakaya mikro HES Üretici verilerinin saha ölçümleri ile karşılaştırılması (a) Debiye göre basınç değişimi (b) Debiye göre verimlilik (c) Debiye göre üretilen güç değişimi

Şekil 38'in devamı



Şekil 38'deki grafiklerden görüldüğü gibi Karakaya PaT tipi mikro HES tesisinden saha çalışmaları sonucunda elde edilen basınç değişimine göre debi, sistem verimi ve üretilen elektrik enerjisi verileri üretici firmadan elde edilen teorik veriler ile uyum içerisindedir

Standart Pompa katalog değerlerinin ve saha deneysel ölçüm sonuçlarının aynı tabloda değerlendirilmesi ile sistem polinomları çıkarılmıştır. Buna göre debinin (Q) 220 m³/h değerinin üzerinde olması şartı ile net düşü ile debi arasındaki eşitlik;

$$H_{\text{net}} = 0,0004Q^2 - 0,1262Q + 69,128 \quad (3)$$

olarak hesaplanmıştır.

Sistem verimini de debiye bağlı olarak yazacak olursak;

$$\eta_{\text{sistem}}(\%) = -0,0011Q^2 + 1,0376Q - 170,12 \quad (4)$$

olarak eşitlik bulunmuştur. Debiye bağlı verimin 3. derece verim denklemi ise;

$$\text{Verim}(\%) = 3 \cdot 10^{-6} \cdot Q^3 - 0,0047Q^2 + 2,26Q - 305 \quad (5)$$

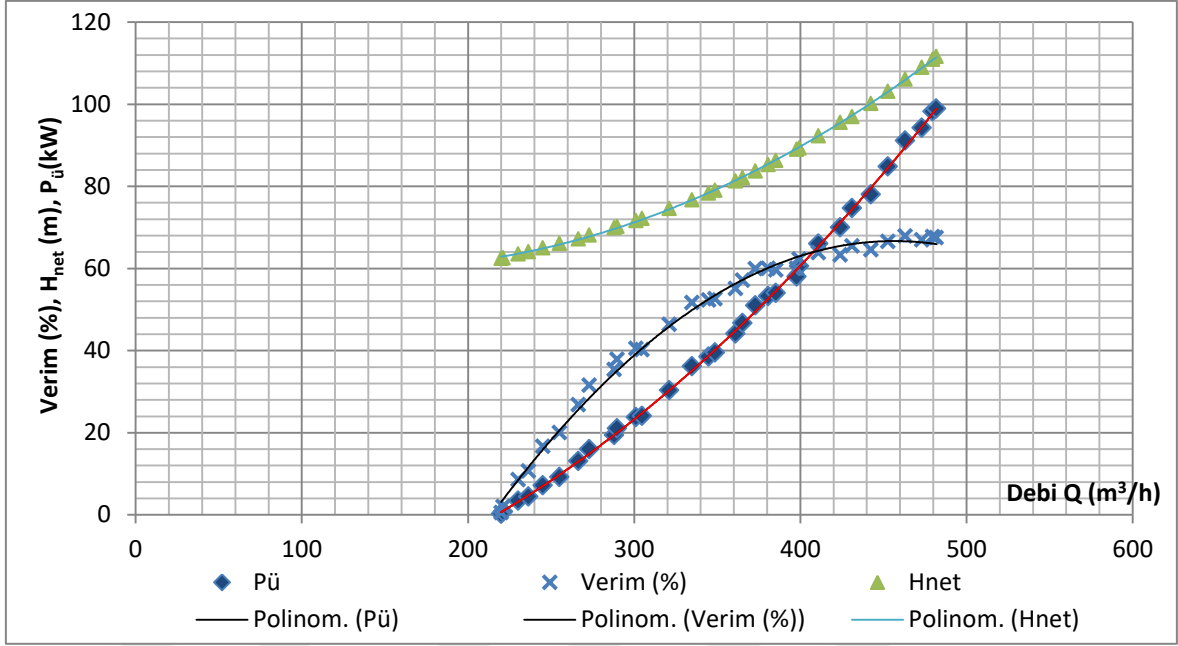
olarak bulunmuştur. Yapılan hesaplamalarda verimin 2. Derece denklemi ile 3. Derece denklemi arasında ihmal edilebilir (ortalama %0,5 civarında) farklılık olduğu görüldüğünden hesaplamalarda 2. Derece denklem kullanılacaktır.

Debiye göre üretilen enerjinin 2. dereceden polinom formülü ise;

$$P_{\text{üretilen}}(\text{kW}) = 0,0005Q^2 + 0,0164Q - 27,654 \quad (6)$$

olarak formüle edilmiştir.

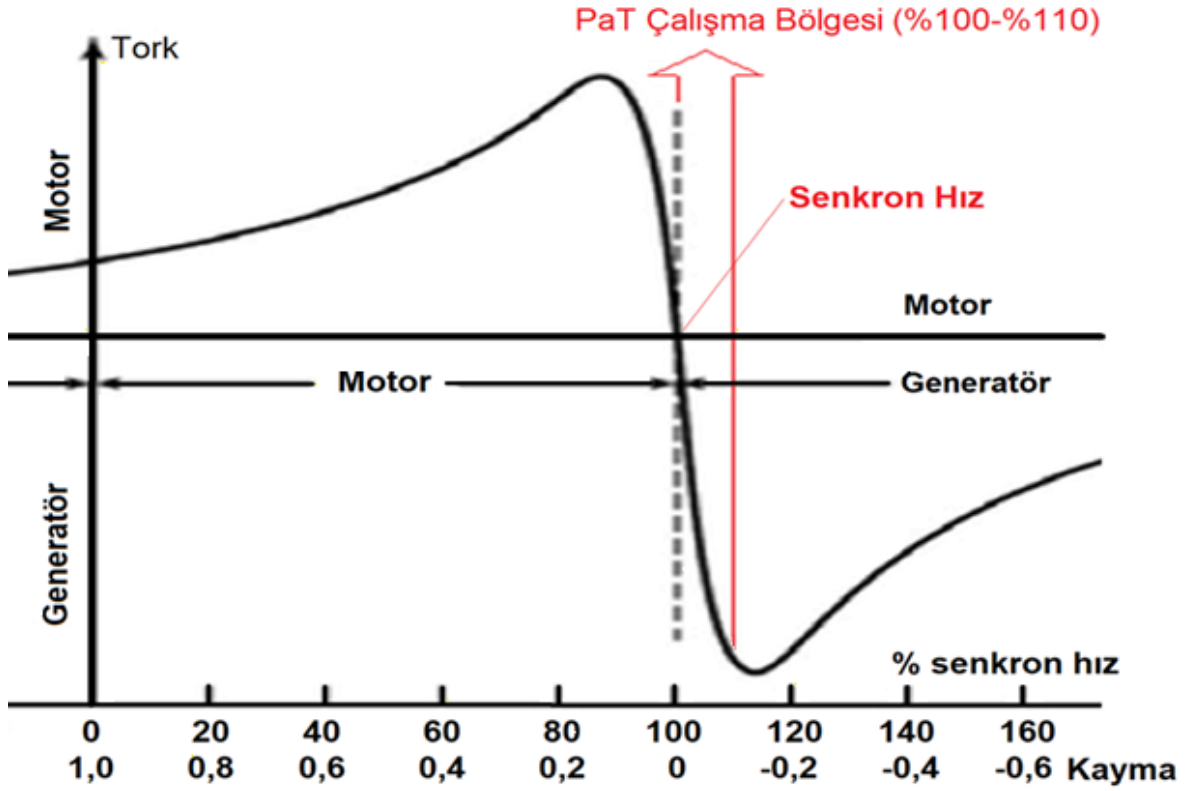
Şekil 39'da hem üreticinin verdiği değerler, hem sahada yapılan deneyler sonucunda elde edilen değerler yardımıyla çıkarılan grafik, ilgili grafiklerin polinom denklemleri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 39. Tablo grafikleri ile polinom grafiklerinin karşılaştırılması

Şekil 39'da görüldüğü üzere elde edilen eşitlikler sahada elde edilen eşitlikler ile uyum içerisindedir.

Tablo 3, Tablo 4, ve Şekil 39'dan da anlaşılacağı üzere Karakaya PaT sistemi 62 metre net düşünün ve $220 m^3/h$ debinin altında motor olarak davranmaya başlamaktadır. Otomasyon sistemine PaT'in motor olarak çalışmasını engelleyici yazılım eklenerek sorun giderilmiştir. Ancak giriş hidrolik enerji ile çıkışta üretilen elektriksel güç arasında 37kW ile 49kW arasında fark oluşmaktadır. Şekil 39'da görüldüğü üzere asenkron makineler nominal devirlerinin %100'ü üzerinde jeneratör olarak çalışmakta, nominal devir ve altında motor olarak çalışmaktadırlar [38]. Aynı şekil üzerinde PaT sistemin otomasyon ile sınırlandırılan çalışma bölgesi de gösterilmektedir.



Şekil 40. PaT sisteminde asenkron makinenin çalışma bölgesi

Örnek sistemimiz Karakaya HES net düşününün %43'ü metrebelerinin altına inince enerji üretimini sıfırlanmaktadır. Daha düşük debi ve basınçlarda ise sistem 37 kW'a kadar potansiyel enerji kullanmasına rağmen motor olarak çalışmakta ve şebekeden elektrik çekmektedir. 2. Örneğimiz olan pelton tipi Esiroğlu HES'de üretimin sıfıra inmesi için debinin nominal değerinin %8'i civarlarına düşmesi gerekmektedir. Dolayısı ile düşük debilerde PaT sistemler çok verimsiz çalışmaktadırlar. Santral tiplerinin seçiminde bu kriterlerin göz önünde bulundurulması şarttır.

Yapılan deneyler sonucunda PaT tipi içme suyu HES'lerinin sabit basınç ve sabit debi altında kullanılmaları gerektiği görülmüştür. Ayrıca verimleri pelton,, francis, turgo, cross-flow..vb tiplere oranla nispeten düşük olup, debi değişiminden de kolay etkilenmektedirler.

4.3. Karakaya Mikro HES Finansal Analiz

Santral binası, mikro HES sistemi ve diğer imalatlar olarak parçalı tamamlanan tesisin toplam yapım maliyeti 44.257,36 USD olarak hesaplanmıştır. Yapılan testlerde sistemin ortalama 76kW güçlerinde çalıştığı görülmüştür. Sistemin arıza-bakım işlemleri dikkate alındığında yıllık bir ay kadar sistemin çalışmayacağı dolayısı ile yıllık 8.000,00 saat çalışma süresinin olacağı öngörülmüştür. Çoruh EDAŞ sayaç tüketimleri üzerinden yapılan hesaplamada üretilen enerjinin 52.000kWh'inin tesiste tüketileceği kalan kısmının da EDAŞ hattına verileceği hesaplanmıştır. Tesisi maliyet hesapları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Tesis maliyeti özet tablosu

Sıra No	İş Kaleminin Adı ve Kısa Açıklaması	Ölçü Birimi	Miktarı	Maliyet Fiyatı	Maliyet Tutarı	Maliyet Tutarı (1USD=5,4 ₺)
1	Santral Binası	Adet	1	36.800,00 ₺	36.800,00 ₺	\$6.814,81
2	Boru Hattı	Adet	1	46.422,14 ₺	46.422,14 ₺	\$8.596,69
3	Türbin	Adet	1	119.214,63 ₺	119.214,63 ₺	\$22.076,78
4	Elektrik Otomasyon	Adet	1	36.553,00 ₺	36.553,00 ₺	\$6.769,07
TOPLAM (KDV HARİÇ)					238.989,77 ₺	\$44.257,36

Tesiste üretilen enerjinin bir kısmı tesis içerisinde kullanılacak olup; kalanı Çoruh EDAŞ'a satılacaktır. Tesisin yıllık faydaları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Yıllık faydalar

Sıra No	İş Kaleminin Adı ve Kısa Açıklaması	Miktarı (kWh)	Birim Fiyatı	Tutarı	Tutarı (1USD=5,4 ₺)
1	Tesiste Tüketilen Elektrik	52.000	0,50 ₺	26.000₺	\$4.814,81
2	EDAŞ'a verilen elektrik	556.000	0,25 ₺	139.000₺	\$25.740,74
TOPLAM:				165.000₺	\$30.555,56

Tablo 6'dan anlaşılacağı üzere Karakaya PaT tipi mikro HES tesisinin TİSKİ'ye yıllık 28.055,56 USD finansal katkı sağlaması beklenmektedir.

Faiz-Amortisman, İşletme-Bakım, Yenileme Giderlerini kapsayan yıllık gelir-gider tablosu Tablo 7'de verilmiştir. Amortisman süresi 5 yıl olarak hesaba katılmıştır.

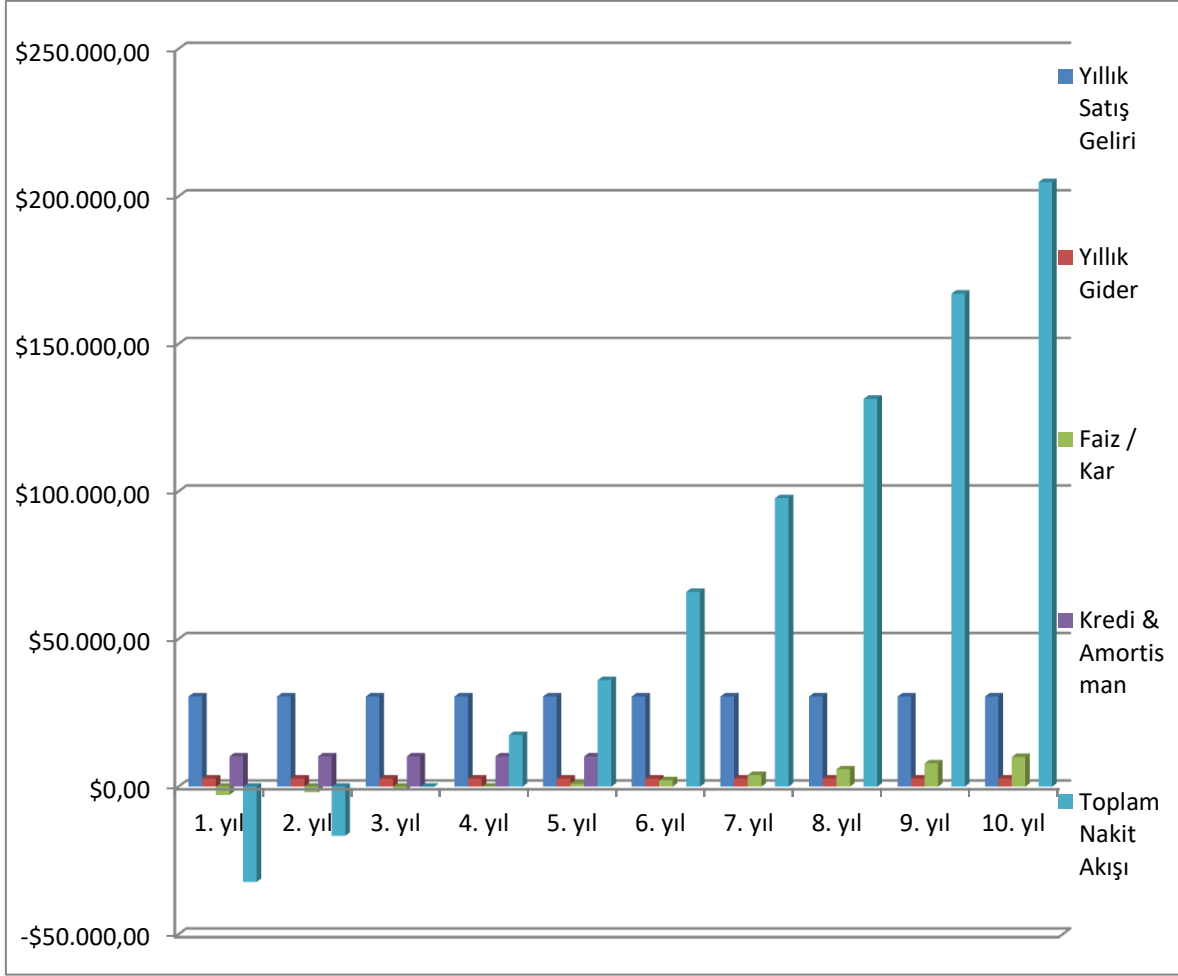
Tablo 7. Yıllık giderler (Amortisman Süresi 5 yıl alınmıştır).

Sıra No	İş Kalemi	Birimi	Miktarı	Maliyet Fiyatı	Tutarı (TL)	Tutarı (1USD=5,4₺)
1	İşletme-Bakım	Adet	1	15.000,00 ₺	15.000,00 ₺	\$2.777,78
2	Amortisman	Adet	1	40.000,00 ₺	40.000,00 ₺	\$7.407,41
TOPLAM					55.000,00 ₺	\$10.185,19

Ülkemiz USD cinsi uluslararası kredileri ortalama %6 faizle borçlanmaktadır. Bu nedenle yapılacak yatırımın da en az %6 karlılığının olması gerekmektedir. Kazancın mikro HES'lere yatırılması durumunda bu karlılık %50'lere ulaşabilecektir. Ancak asgari karlılık durumu göz önüne alınarak yıllık kazançtan da %6 kar elde edilebileceği ve %6 faizle borçlanıldığı varsayılarak hazırlanan nakit akışı tablosu Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Karakaya HES nakit akışı

Yıllar	Yıllık Satış Geliri	Yıllık Gider	Faiz / Kar	Kredi & Amortisman	Toplam Nakit Akışı
1. yıl	\$30.555,56	\$2.777,78	-\$2.814,77	\$10.239,53	-\$32.189,33
2. yıl	\$30.555,56	\$2.777,78	-\$1.931,36	\$10.239,53	-\$16.582,44
3. yıl	\$30.555,56	\$2.777,78	-\$994,95	\$10.239,53	-\$39,14
4. yıl	\$30.555,56	\$2.777,78	-\$2,35	\$10.239,53	\$17.496,76
5. yıl	\$30.555,56	\$2.777,78	\$1.049,81	\$10.239,53	\$36.084,82
6. yıl	\$30.555,56	\$2.777,78	\$2.165,09		\$66.027,68
7. yıl	\$30.555,56	\$2.777,78	\$3.961,66		\$97.767,12
8. yıl	\$30.555,56	\$2.777,78	\$5.866,03		\$131.410,93
9. yıl	\$30.555,56	\$2.777,78	\$7.884,66		\$167.073,36
10. yıl	\$30.555,56	\$2.777,78	\$10.024,40		\$204.875,54



Şekil 41. Karakaya HES nakit akışı

Tablo 8 verileri kullanılarak hazırlanan Şekil 41’de grafiğinden de açıkça anlaşılacağı üzere ilk yıl faizi ile birlikte 50.000,00USD civarlarında olan mikro HES; 10 yılın sonunda tüm borcunu ödeyip ayrıca 200.000,00USD’nin üzerinde bir finansal hacime ulaşabilmektedir.

İçme suyu HES’leri su alma yapısı, cebri boru, denge bacası, yükleme havuzu, enerji nakil hatları...vb pek çok HES imalatı, (Karakaya mikro HES’de olduğu gibi) içme suyu ile ortak kullanıldığı ve yapılmış olduğu için; enerji HES’lerinin %50’si kadarlık yatırımla hemen hemen aynı gelir elde edilebilmektedir.

4.4. İçme Suyu HES'lerinin Su Tahsisleri Açısından İncelenmesi

Ülkemizde su kaynaklarının kontrolü 28/02/1954 tarih ve 6200 Sayılı kanunla kurulan Devlet Su İşleri'ne verilmiştir. Yeraltı ve yer üstü sularının tahsisi, kullanımı, kiralınması gibi iş ve işlemlerin tamamı DSİ Genel Müdürlüğünün iznine tabi olup; küçük projeler için DSİ bazı kurumlarla yetki paylaşımı yapabilmektedir. Ancak sudan elektrik üretmek için “*Elektrik Piyasasında Üretim Faaliyetinde Bulunmak Üzere Su Kullanım Hakkı Anlaşması İmzalanmasına İlişkin Usul Ve Esaslar Hakkında Yönetmelik*” gereği DSİ ile “su kullanım hakkı anlaşması” yapılması zorunluluğu vardır. Enerji santralleri yapılan fizibilite raporlarında bu anlaşmayı yaparak tahsis edilen miktar kadar su ile elektrik üretebilmektedir.

10 Aralık 2019 tarih ve 30979 Sayılı Resmi Gazetede yayınlanan “Su Tahsisleri Hakkında Yönetmelik” in 7. Maddesinde suyun kullanımında öncelik sırası şu şekilde sıralanmıştır.

1. İçme ve kullanma suyu ihtiyacı.
2. Çevresel su ihtiyacı.
3. Tarımsal sulama ve su ürünleri yetiştiriciliği.
4. Enerji üretimi ve sınai su ihtiyaçları.
5. Ticari, turizm, rekreasyon, madencilik, taşıma, ulaşım ile sair su ihtiyaçları.

Sıralamadan da anlaşılacağı üzere içme ve kullanma suyu 1. Tahsis önceliğine sahiptir ve kaynakta su olduğu sürece öncelikle suyu içme suyu tesisleri alacaktır. Artan suyun yeteri kadarlık kısmı çevresel su ihtiyaçlarına (can suyu olarak bilinmektedir) tahsis edilmesi zorunluluğu vardır. Kalan suyun varsa tahsisi kadar tarımsal sulama ve su ürünleri yetiştiriciliği tesislerine gönderilecek olup enerji HES'leri bu tesislerin kullanmadığı sudan ancak elektrik üretebilecektir.

Bu sebeplerden dolayı kuraklık, küresel ısınma daha öncelikli su ihtiyaçlarındaki artış gibi etmenler enerji amaçlı HES'lerin fizibilite raporlarında belirtilen ve yıllarca çalışması yapılan hesaplar kadar elektrik üretememesine neden olmaktadır. HES'ler banka kredileri ile yapıldığından daha fazla elektrik üretmek ve borçlarını ödemek için daha öncelikli suların haklarından yararlanmaya çalışmakta bu da toplumsal ve çevresel sorunlara neden olmaktadır.

İçme suları için bu risk yok denecek kadar azdır. Sadece kaynağın içme suyu debisinin tahsis değerinden daha düşük olması durumunda risk var olup; bu durum ya

yoktur ya da yıl içerisinde çok kısa bir periyottadır. Dolayısıyla içme suyu HES'leri neredeyse kesintisiz elektrik üretebilmektedirler. Yalnızca enerji amaçlı hidrolik santraller yıllık kurulu güçlerinin 1.000 ile 3.000 katı kadar elektrik üretebilirken içme suyu HES'lerinde bu rakam 8.000 katını aşabilmektedir.

4.6. İçme Suyu HES'lerinin Çıkış Basınçları

Tasarımda dikkat edilecek en önemli noktalardan biri HES kuyruk suyunun kullanılacağı içme suyu tesisine göre basınçlandırılma talebidir. Eğer maslak tipi bir içme suyu HES tasarlanıyorsa çıkış basıncı gerekmediğinden diğer değişkenlere göre tasarım yapılabilecektir. Ancak arıtma tesisleri, depo girişleri, BKV tipli içme suyu HES yapılacaksa hes kuyruk suyunun basınçlı olması gerekebilecektir.

Bu tür durumlarda en kolay çözüm aksiyon tipi tasarımlardan kaçınmaktır. Özellikle PaT tipi türbinler giriş basıncı ile çıkış basıncı arasındaki farktan elektrik ürettiklerinden mikro HES'lerde bu tür ihtiyaçlar için en kolay çözüm olabilmektedirler. 2. Çözüm önerisi olarak da arazi müsaitliği varsa HES'in talep edilen basıncı sağlayacak kot yüksekliğinde tasarlanmasıdır.

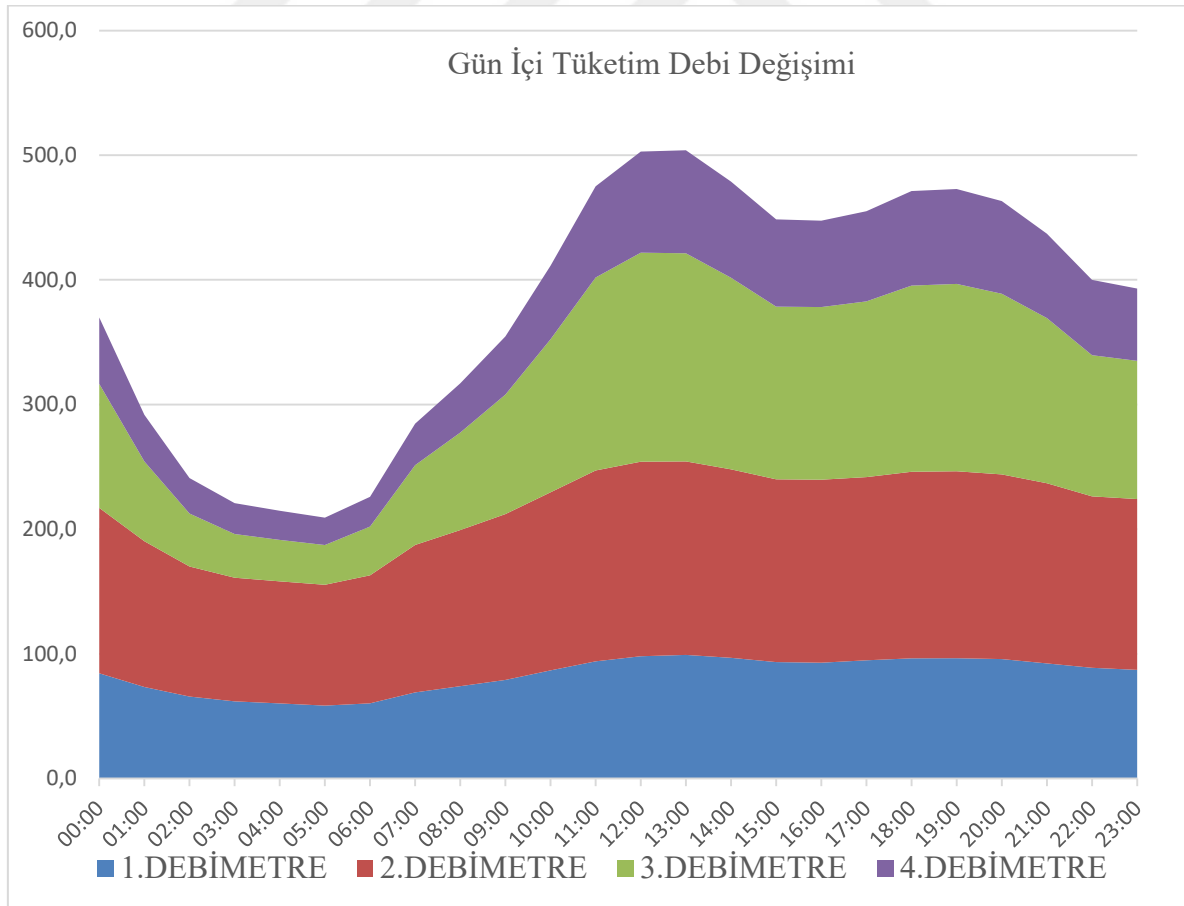
4.7. İçme Suyu HES'lerinin Gerilim Düşümü, Kapasite Kullanım Oranları ve İletim Avantajları

Ticari amaçlı hidrolik, linyit, rüzgar ve güneş enerji santralleri genelde bu kaynakların bulunduğu yerlerde tesis etmekte ve elde edilen enerji tüketim bölgelerine nakledilmektedir. Ülkemizde elektrik enerjisi nakli 380 kV ve kısmende 154 kV gerilim seviyelerinde alternatif akımla enterkonnekte sistem üzerinden yapılmaktadır. Büyük tüketim bölgeleri ülkemizin batısındadır. Önemli hidrolik kaynaklar ise ülkemizin Kuzey doğusunda ve Güney doğusundadır. Ülkemizin kuzey doğusunda ve Güney doğusunda üretilen elektrik enerjisi uzun enerji nakil hatları ile batı bölgelerine nakledilmektedir. Mesela Kuzeydoğu Anadolu bölgesindeki hidrolik santrallardan elde edilen enerjinin büyük bölümü yaklaşık 1000 km uzaktaki Marmara bölgesine nakledilmektedir. Keban, Karakaya ve Atatürk santrallerinden elde edilen elektrik enerjisinin bir kısmı 500 km'den uzun enerji nakil hatları ile taşınmaktadır [37].

İçme suyu sistemlerinden elde edilen elektrik enerjisi genelde O.G. veya A.G. bağlantı noktalarından bağlandığından YG trafo ve YG enerji nakil hattı kayıpları yoktur. Dolayısı ile içme suyu HES'leri için YG kapasite ve iletim yatırımı ihtiyacı doğmamaktadır. Bu da ülkemiz için daha düşük enerji yatırım maliyeti anlamına gelmektedir.

Ayrıca Y.G. enerji iletim hatlarının, trafolarının ve ekipmanlarının %10-15 aralığında gerilim düşümleri olmaktadır. İçme suyu HES'lerinden üretilen elektrik enerjisi genellikle birkaç kilometre çapında tüketildiğinden Y.G. kayıpları yok denecek kadar azdır.

Üçüncü bir avantaj olarak puant enerjiyi sayabiliriz. Ülkemiz enerji sektörünün en önemli sorunlarından olan enerji tüketimindeki dalgalanma, paralel olarak su tüketimine de yansımaktadır. En az elektrik tüketilen 01:00 – 06:00 saatleri arasında aynı zamanda en az su tüketilen saatler olduğu Şekil 2 ile Şekil 42'nin karşılaştırılmasından rahatlıkla anlaşılabilmektedir [38].



Şekil 42. 4 Farklı bölgenin gün içi içme suyu tüketim debileri

Su tüketiminin enerji ayak izi olduğu gibi enerji tüketiminin de su ayak izi bulunmaktadır. İçme suyu HES'leri içme suyundan enerji ürettiklerinden su tüketimine paralel olarak sudan üretilen enerji miktarının artacağı, bunun da enerji tüketiminin arttığı saatlere denk geldiği görülmektedir. Bu nedenle içme suyu HES'leri için puant enerji-enerji depolama gibi sistem tasarımlarına ihtiyaç yoktur, ya da çok düşük olacaktır.

Ayrıca içme suyu üretmek için enerji kullanımı zorunluluğu vardır. Daha çok su üretimi demek daha çok sudan enerji üretimi anlamına geldiği gibi, daha çok enerji tüketimi anlamına da gelmektedir. Bu da üretilen enerjinin en azından belirli bir bölümü üretildiği yerde tüketildiğinden hat kayıpları ve gerilim düşümünün daha az olması anlamına gelmektedir. Şekil 41'de Esiroğlu İçme Suyu Arıtma Tesisi'ne ait elektrik motorları görülmektedir. Şekil 42'de 4 farklı debimetreden elde edilen 24 satlık şebeke su tüketim grafiği gösterilmektedir. Şekil 43'te ise Esiroğlu Arıtma tesisinin yüksek güçlü motopomplarına yer verilmiştir.



Şekil 43. Esiroğlu İçme Suyu Arıtma Tesisi geri yıkama pompaları

4.8. Esiroğlu HES Finansal Analiz

Esiroğlu HES yapımı ile ilgili yapılan piyasa araştırmalarında 1,8 milyon Euro ile 3,2 milyon Euro arasında farklı fiyat teklifleri ve tasarımları bulunmaktadır. Yüksek getiri ve düşük geri dönüşümü nedeniyle karlı olan Esiroğlu İçme Suyu HES'in öz kaynakları ile

TİSKİ için çok mümkün görülmemektedir. Dış finansman kaynakları ve krediler araştırılırken Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının son kullanıcı olduğu Avrupa Birliği Merkezi Finans ve İhale Birimi (CFCU) tarafından organize edilen “Belediyeler İçin Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliğine Yönelik Tedarik” programı kapsamına teklif edilmiştir. Yüksek verimlilik ve karlılığın yanı sıra sıfır karbon salınımı projesi de olduğu için ülke genelindeki toplam program bütçesinin %25’i büyüklüğündeki Esiroğlu HES kabul görmüştür. AB Delegasyonu, ETKB ve CFCU çalışanlarının tamamı oy birliği ile işin program kapsamına alınmasına karar vermişlerdir. Programa göre iş bitimine kadar % 15 nihai faydalanıcı katkısı almak koşulu ile %85 hibe katkısı sağlanacak ve Esiroğlu HES CFCU tarafından ihale edilecek idi. Tesisle ilgili finansal tanım ve finansal varsayımlar Tablo 9’da verilmiştir.

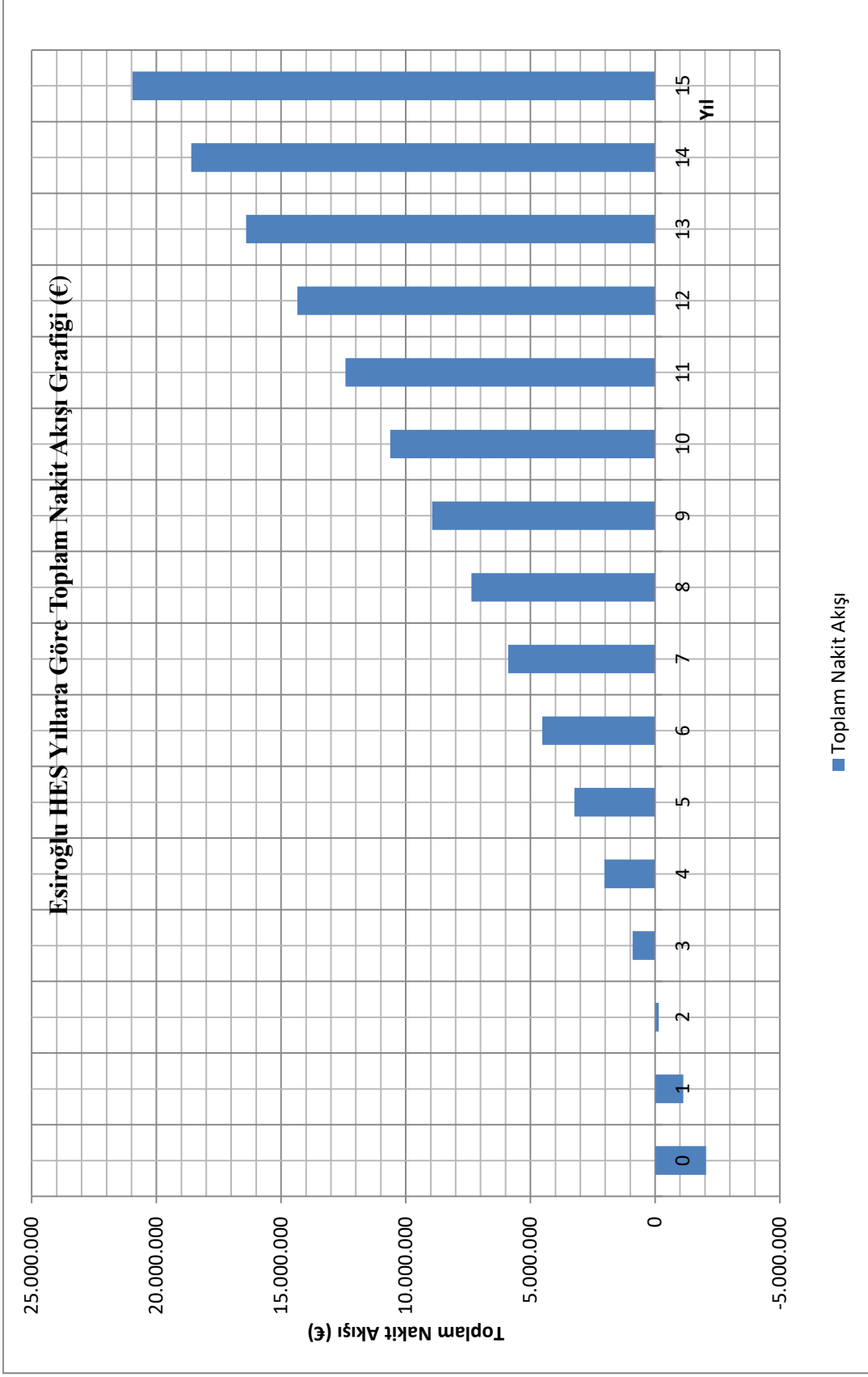
Tablo 9. Finansal tanım ve varsayımlar

Proje Tanımı	HES Kurulumu	
Projenin Tesis Uyumluluğu	Uygulanabilir	
Üretim Sürecine Etkileri	Kapasite	Beklenmiyor
	Satış	Beklenmiyor
	Maliyet	Pozitif
Çevresel Etki	Pozitif	
Yatırım Maliyeti (EUR)	2046.996,00	
PARAMETRELER	BİRİM	DEĞER
Sermaye Stok Oranı	%	20
Banka Kredisi	%	80
Kredi Faiz Oranı	%	6,5
Ödemesiz Peryot	Yıl	0
Borç Peryodu	Yıl	8
Faiz Oranı	%	7

Tablo 9 kabulleri ile yapılan nakit akışı ve borcu karşılama oranı Tablo 10’da hesaplanmıştır. Şekil 44’te Esiroğlu HES nakit akış grafiği verilmiştir.

Tablo 10. Esiroğlu HES nakit akışı ve borçlu karşılama oranı

EUR/YIL	0	1	2	3	4	5	6	7
Toplam Yatırım	-2.046.996							
Banka Kredisi	-409.399							
Sermaye Stoğu	-40.940							
Kalan Bakiye	-1.432.897	-1.228.198	-1.023.498	-818.798	-614.099	-409.399	-204.700	0
Sermaye Ödemesi	-204.700	-204.700	-204.700	-204.700	-204.700	-204.700	-204.700	-204.700
Faiz Ödemesi	-106.444	-93.138	-79.833	-66.527	-53.222	-39.916	-26.611	-13.305
Toplam Kredi Ödemesi	-311.143	-297.838	-284.532	-271.227	-257.921	-244.616	-231.311	-218.005
Elektrik Tasarrufu	0	859.825	920.013	984.414	1.053.323	1.127.055	1.205.949	1.290.365
Termal Enerji Tasarrufu	0	59.975	63.573	67.387	71.431	75.717	80.260	85.075
İşletme/Bakım Değişim Tut.	0	0	0	0	0	0	0	0
İşletme Nakit Akışı	-2.046.996	919.800	983.586	1.051.801	1.124.753	1.202.772	1.286.209	1.375.441
Toplam İşletme Nakit Akışı	-2.046.996	-1.127.196	-143.611	908.191	2.032.944	3.235.716	4.521.924	5.897.365
Tüm Nakit Akışı	1.326.453	621.962	699.053	780.574	866.832	958.156	1.054.898	1.157.436
Genel Toplam Nakit Akışı	917.054	1.539.016	2.238.070	3.018.644	3.885.476	4.843.631	5.898.529	7.055.965
EUR/YIL	8	9	10	11	12	13	14	15
Toplam Yatırım								
Banka Kredisi								
Sermaye Stoğu								
Kalan Bakiye	0	0	0	0	0	0	0	0
Sermaye Ödemesi	0	0	0	0	0	0	0	0
Faiz Ödemesi	0	0	0	0	0	0	0	0
Toplam Kredi Ödemesi	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrik Tasarrufu	1.380.691	1.477.339	1.580.753	1.691.406	1.809.804	1.936.491	2.072.045	2.217.088
Termal Enerji Tasarrufu	90.180	95.590	101.326	107.405	113.850	120.681	127.922	135.597
İşletme/Bakım Değişim Tut.	0	0	0	0	0	0	0	-
İşletme Nakit Akışı	1.470.871	1.572.930	1.682.079	1.798.811	1.923.654	2.057.171	2.199.967	2.352.685
Toplam İşletme Nakit Akışı	7.368.236	8.941.166	10.623.245	12.422.056	14.345.710	16.402.881	18.602.848	20.955.533
Tüm Nakit Akışı	1.470.871	1.572.930	1.682.079	1.798.811	1.923.654	2.057.171	2.199.967	2.352.685
Genel Toplam Nakit Akışı	8.526.836	10.099.765	11.781.845	13.580.656	15.504.310	17.561.481	19.761.448	22.114.133



şekil 44. Esiroğlu HES nakit akış grafiği

Tablo 11. Finansal sonuç tablosu

Parametreler	Birim	Değer
Yatırım Maliyeti	EUR	2.046.996 €
İç Verim Oranı (IRR)	%	51,25%
Net Şimdiki Değer	EUR	16.994.000 €
Geri Ödeme Periyodu	YIL	2,3

Esiroğlu HES'in finansal özet tablosu Tablo 11'de verilmiştir. Tablo 10'dan da rahatlıkla anlaşılacağı üzere 2 milyon Euro'nun üzerinde bir yatırım geri ödeme periyodunu 2,3 yılda tamamlayarak kara geçmektedir. Genelde 15 yıldan kısa bir sürede geri ödeme periyotunu tamamlayan ticari yapılar yatırım yapılabilir olarak nitelendirilmektedir. Esiroğlu HES 15 yılda yatırım değerinin 10 katı değerinde toplam finansal hacme ulaşabilmektedir. Bu nedenle karlılığı çok yüksektir. Benzer şekilde diğer içme suyundan elektrik üretim tesislerinin de yüksek karlılığa sahip olacağı öngörülmektedir.

4.9. TİSKİ Elektrik Tüketimi ve Elektrik Üretimi

Lisanssız içme suyu HES yapımının temel amacı içme suyu sistemlerinde kullanılan elektriğin karşılanmasıdır. Tüm su-kanal idareleri ve belediyeler gibi TİSKİ'nin de önemli gider kalemlerinden biri içme suyu üretimi ve iletiminde kullanılan elektrik giderleridir. Bu sayede içme suyu lisanssız HES'leri su için enerji üretmekte, diğer içme suyu tesisleri de enerji kullanarak içme suyu üretmekte ve iletmektedir.

TİSKİ'nin devraldığı tek elektrik üretim tesisi Tonya ilçesi Veli Tepesinde bulunan offline solar enerji üretim tesisidir. 2004 yılında Kanada menşeli bir firma ile projelendirilip 2007 yılında yapımı tamamlanan tesis ülkemizin ilk güneş enerji santrallerindedir. Offline tesis sadece elektrik şebekesine erişimi olmayan lokal bir içme suyu arıtma tesisinin elektrik ihtiyacını karşılamaktadır.

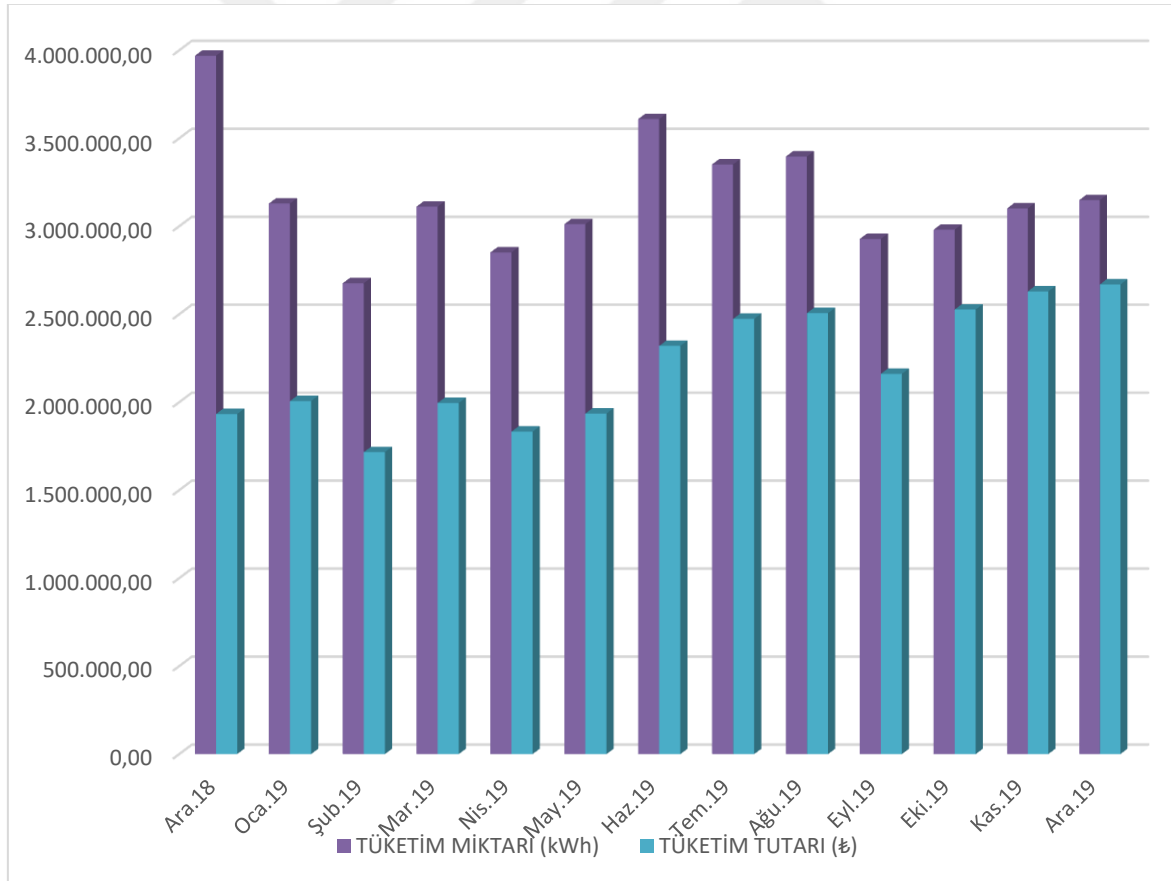


Şekil 45. TİSKİ Tonya Veli Tepesi içme suyu arıtma tesisi

Buna karşılık TİSKİ'nin yıllık elektrik enerjisi tüketimi 37GWh civarlarındadır. Tablo 12 ve Şekil 46'da TİSKİ'nin aylık dönemler halinde elektrik tüketimleri verilmiştir. Elektrik birim fiyatı değişimi ve yeni devreye giren tesisler ile aylık periyodik fatura tutarlarında artma meydana gelse de scada sistemi ilaveleri, işletme tecrübeleri ve azaltılan terfi noktaları sayesinde tüketilen toplam elektrik miktarında azalmalar da olmaktadır.

Tablo 12. TİSKİ aylık elektrik enerjisi tüketimleri

DÖNEM	TÜKETİM MİKTARI (kWh)	TÜKETİM TUTARI (₺)
Ara.18	2.984.515,51	1.933.098,66 ₺
Oca.19	2.912.943,45	2.006.703,44 ₺
Şub.19	2.753.961,16	1.716.285,32 ₺
Mar.19	2.990.594,14	1.995.575,71 ₺
Nis.19	2.720.736,18	1.832.819,47 ₺
May.19	3.045.442,12	1.935.708,38 ₺
Haz.19	3.556.201,68	2.319.872,85 ₺
Tem.19	3.406.857,13	2.473.477,84 ₺
Ağu.19	3.228.622,15	2.506.564,34 ₺
Eyl.19	2.809.932,06	2.161.006,63 ₺
Eki.19	2.978.922,87	2.526.730,06 ₺
Kas.19	3.408.786,22	2.629.497,06 ₺
Ara.19	3.072.911,16	2.669.394,10 ₺
TOPLAM	39.870.425,83	28.706.733,86 ₺



Şekil 46. TİSKİ aylık elektrik enerjisi tüketim miktarı ve tutarı grafiği

Tablo 12'den ve Şekil 46'dan anlaşılacağı üzere TİSKİ aylık ortalamada 3 milyon kWh üzerinde, yıllık 37 GWh civarlarında elektrik tüketmektedir. Tüketim miktar ve tutarı mevsimsel değişmekle birlikte artan bir grafik göstermektedir. Esiroğlu HES tek başına bu tüketimin kWh olarak %45'i oranında elektrik üretebilecektir. İletim bedelleri, hat kayıpları ve diğer giderler bu hesaplamaların dışındadır. TİSKİ'nin diğer potansiyel içme suyu HES'lerinin de devreye alınması durumunda Çoruh Elektrik Dağıtım A.Ş.'nin 2. En büyük elektrik tüketen abonesi konumundan elektrik üretim fazlası olan konuma geçeceği hesaplanmaktadır.

4.10. HES'lerin Su Kalitesine Etkisi

Suyun potansiyel enerjisinden yüzyıllardır insanlığı yararlanmaktadır. Su değirmenleri bunların en bariz örneği olup; HES'ler su değirmenlerinin modern versiyonlarıdır. Suyun basınç, debi, hız gibi fiziksel özelliklerinden yararlanarak elektrik enerjisi üretirler. Buna rağmen halk arasında HES'lerin su kalitesini olumsuz etkilediği yönünde yaygın bir kanaat vardır. Maalesef HES'lerin hem yapımı hen de işletmesi aşamalarında çevreye ve doğaya verilen zararlar nedeniyle halk HES'lerin her türlüüne genel olarak ve ön yargılı bir şekilde karşı durabilmektedir.

İçme suyu HES'lerin yapımı esnasında baraj, derivasyon, tünel, regülatör, denge bacası, cebri boru, yükleme havuzu gibi doğaya zarar verebilecek imalatların hemen hiç biri bulunmadığı gibi işletme esnasındaki en büyük sorunları oluşturan su rejimi değişikliği, su yatağı değişikliği, can suyunun yeterince bırakılmaması gibi sıkıntılar da olmamaktadır. Çünkü içme suyu HES'leri zaten tahsisli ve içme suyu olarak kullanılmakta olan suyun üzerine yapılmaktadır. Genellikle basınç kırıcı vana yerine türbin kullanılmakta, böylece hem basınç kırılmakta hem de aynı anda elektrik üretilmektedir.

HES'lerle ilgili toplum önyargıları ile tanışmamız Esiroğlu içme suyu HES için gerekli belediye imar izni esnasında, imar komisyonunun tavrı ve vatandaşların tepkileri ile olmuştur. İlgili imar komisyonu suya ve çevreye olan zararlarından dolayı tüm HES'lere karşı olduklarını, dolayısı ile TİSKİ tarafından yapılacak olsa bile herhangi bir HES'e izin vermeleri halinde diğer HES'lere de ilkesel olarak izin vermeleri gerektiğini belirtmişlerdir. İkna etmemiz, ön yargıları değiştirmemiz ve içme suyu HES'lerinin sadece bir basınç kırıcı vana sistemi olduğunu anlatmamızın ardından ancak imar yazısını alabildik.

HES'lerin su kalitesine etkileri hakkındaki çalışmamızda içme suyu HES'leri ülke genelinde sadece birkaç adet olduğundan, çalışmaya Trabzon genelindeki enerji HES'leri de dahil edilerek farklı tip HES'lerin ve türbinlerin su kalitesine etkileri incelenmiştir. Arısu HES, BGT HES, Işıklar HES, Kadahol HES, Karakaya HES, Köprüyanı HES, Yıldızlı HES, Lale Regülatörlü HES ve Horyan HES'lerin giriş ve çıkış suları faal oldukları esnada nünuneler alınarak analizleri yapılmıştır.

Toplam 9 santralden giriş ve çıkış su nünuneleri üzerinden yapılan analizlerde toplam 35 parametre analiz edilerek 500'ün üzerinde veri elde edilmiştir. 24 veri testler yapılırken laboratuvar cihazlarından biri arızalandığından incelenememiştir. Bunlar Lale ve Horyan HES'lerinin florür, fosfat, klor, potasyum, sodyum ve sülfat değerleridir. Bu parametrelerle ilgili Yıldızlı, Köprüyanı, Arısu, BGT, Işıklar, Kadahor ve Karakaya HES'lerinin tahlilleri yapıldığından ve elde yeterince sonuç olduğundan farklı bir laboratuvarda tahlil yapılmasına ihtiyaç duyulmamıştır. Tahlil sonuçlarını eser miktardaki parametreler parametreler, fiziki parametreler ve genel kimyasal parametreler olarak üç farklı grupta inceleyecek olursak;

4.10.1. Eser Miktar Parametreleri

Tablo 13. Tüm analizlerde eser miktarda (çok düşük) çıkan parametreler

PARAMETRE	LABARATUVAR ÖLÇÜM METODU	BİRİMİ	İÇME SUYU MEVZUAT		TÜM ANALİZ SONUÇLARI
			İTASHY SINIRI	TS 266 SINIRI	
Amonyum (NH ₄)	EPA 300.1	mG/L	0,5	0,5	<0,08
Bromür (Br ⁻)	EPA 300.1	mG/L	-	-	<0,001
Çinko (Zn)	EPA 200.8	µG/L	-	5000	<0,001
Kurşun (Pb)	EPA 200.8	µG/L	10	10	<0,001
Lityum (Li)	EPA 300.1	mG/L	-	-	<0,001
Nikel (Ni)	EPA 200.8	µG/L	20	20	<0,001
Toplam Krom (Cr)	EPA 200.8	µG/L	-	50	<0,001
Bromat (BrO ₃)	EPA 300.1	mg/L	10	10	<0,001
Antimon(Sb)	EPA 200.8	µG/L	5		<0,001
Arsenik(As)	EPA 200.8	µG/L	10		<0,001
Florür (F)	EPA 300.1	mg/L	1,5	1,5	<0,09
Fosfat (PO ₄)	EPA 300.1	mg/L		5	<0,5
Bakır (Cu)	EPA 200.8	mg/L	2	2	<0,001

Hem HES giriş suyu analizleri hem de HES çıkış suyu analizleri sonucunda sabit veya çok düşük (1. Sınıf içme suyu maksimum değerinin bile en çok 1/10'ları düzeyinde) olarak elde edilen değerler, ölçüm yöntemleri ve içme suyu standart değerleri ile Tablo 13'de verilmiştir. Buna göre koku ve tat normal; amonyum, bromür, çinko, kurşun, lityum, nikel, krom, bromat, antimon, arsenik, florür, fosfat ve bakır ya hiç tespit edilememiş (<0,001) ya da yönetmeliklerde müsaade edilen içme suyu maksimum değerlerinin en çok 1/10'ları düzeylerinde tespit edilebilmiştir. İçme suyundaki mineral değerleri doğrudan insanı etkileyen değerler olduğundan çok düşük seçilmiştir. Örneğin 1 litre sudaki antimon oranı 5 mikrogramı geçmemesi gerekmektedir. Bunun 1/10'u da oransal olarak en çok 1/2.000.000.000 anlamına gelmektedir. Bu kadar hassas ölçümlerde laboratuvarların hassasiyet değerleri, ölçüm hataları, nümuna hataları, suyun akan (sürekli değişen) yapıya sahip olması gibi etkenler dikkate alındığında bu derece düşük değerlerde grafiksel sapma oransal olarak daha fazla olabilmektedir. Ancak hiçbir sapma suyun sınıfını değiştirecek düzeyde olmayıp; giriş değerleri ile çıkış değerleri arasında tam bir paralellik vardır.

Yalnızca Tablo 12'ye ve mevcut mevzuata (İTASHY-TS 266) göre yapılacak sınıflandırma da tüm HES'lere giren sular ve çıkan sular **aynı** (içilebilir) sınıftadır. Bazı HES'lerde eser miktarda amonyum (NH₄), fosfat (P) ve florür (F) görülüyor olmakla birlikte bu oranlar içme suyu mevzuat sınır değerinin onda birinden küçüktür ve suyun sınıfını değiştirecek nitelik ya da nicelikte değildir.'

Tablo 14 parametrelerine göre HES'lerin su kalitesine herhangi bir etkisi olmadığı; çıkış suyu parametrelerinin de giriş suyu parametreleri gibi sıfır veya sıfıra yakın değerlerde olduğu açıkça görülmektedir.

4.10.2. Fiziki Parametreler

HES giriş suyu ve HES çıkış suyu analiz sonuçlarından koku ve tat tüm analizlerde normal olarak çıkmıştır. Giriş ve çıkış değerlerinde her hangi bir sapma olmamakla birlikte; koku ve tat parametreleri genelde kimyasal değişikliklerden kaynaklı olacağından detayları kimyasal analizlerden de rahatlıkla anlaşılacaktır. Analizlerin bulanıklık, askıda katı madde, sıcaklık ve renk sonuçları Tablo 14'de verilmiştir. Bu sonuçlar ve su sınıflandırmadaki en hassas mevzuat olan güncel içme suyu mevzuatına (TS 266 ve İTASHY) göre yapılan sınıflandırmada özellikle bulanıklık açısından Horyan HES hariç suların tamamı içilemez (2 sınıf) olarak görülmektedir. Ancak bu analizler arıtma öncesi

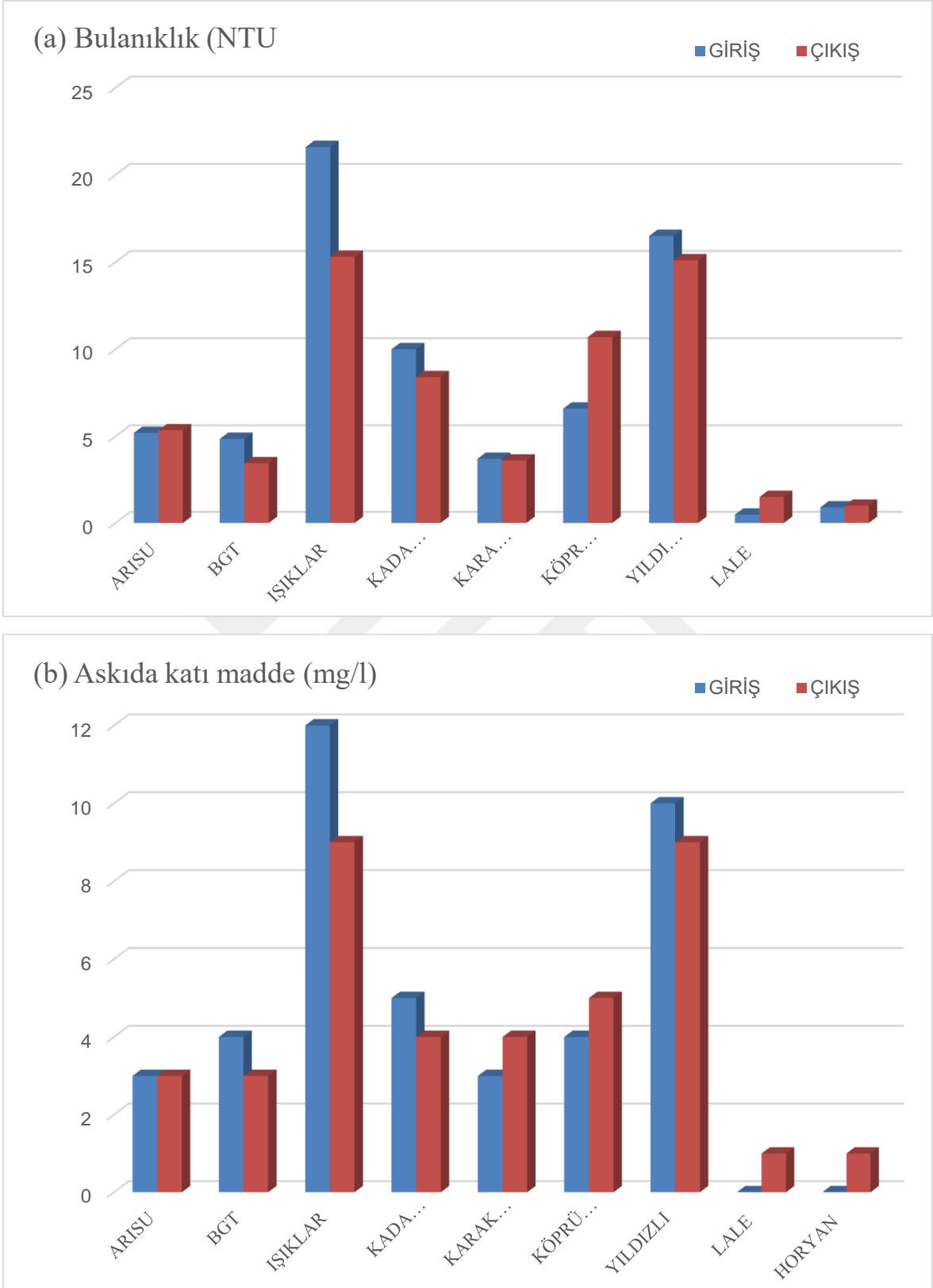
analiz olduğundan fiziksel tüm değerler ve türüne göre çoğu kimyasal değerler içme suyu arıtma tesislerinde arıtılarak şebekeye verilebilmektedir.



Tablo 14. HES giriş ve çıkış suyu bulanıklık, sıcaklık, askıda katı madde ve renk analizleri

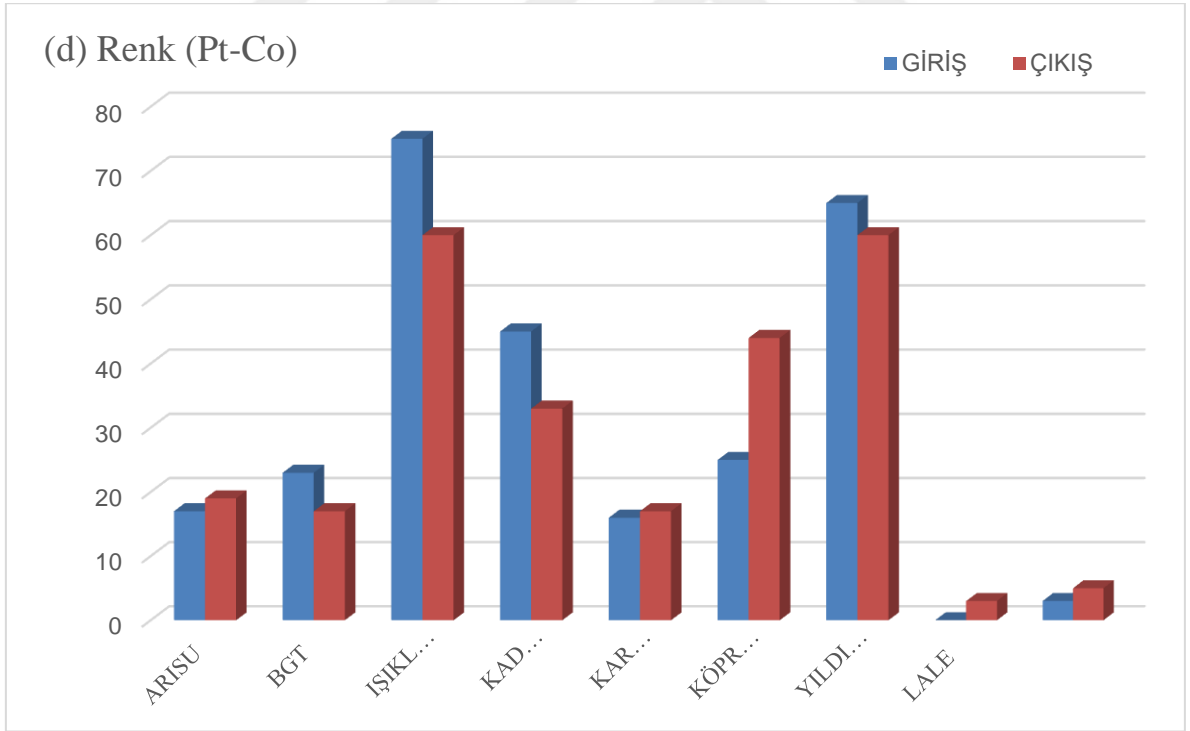
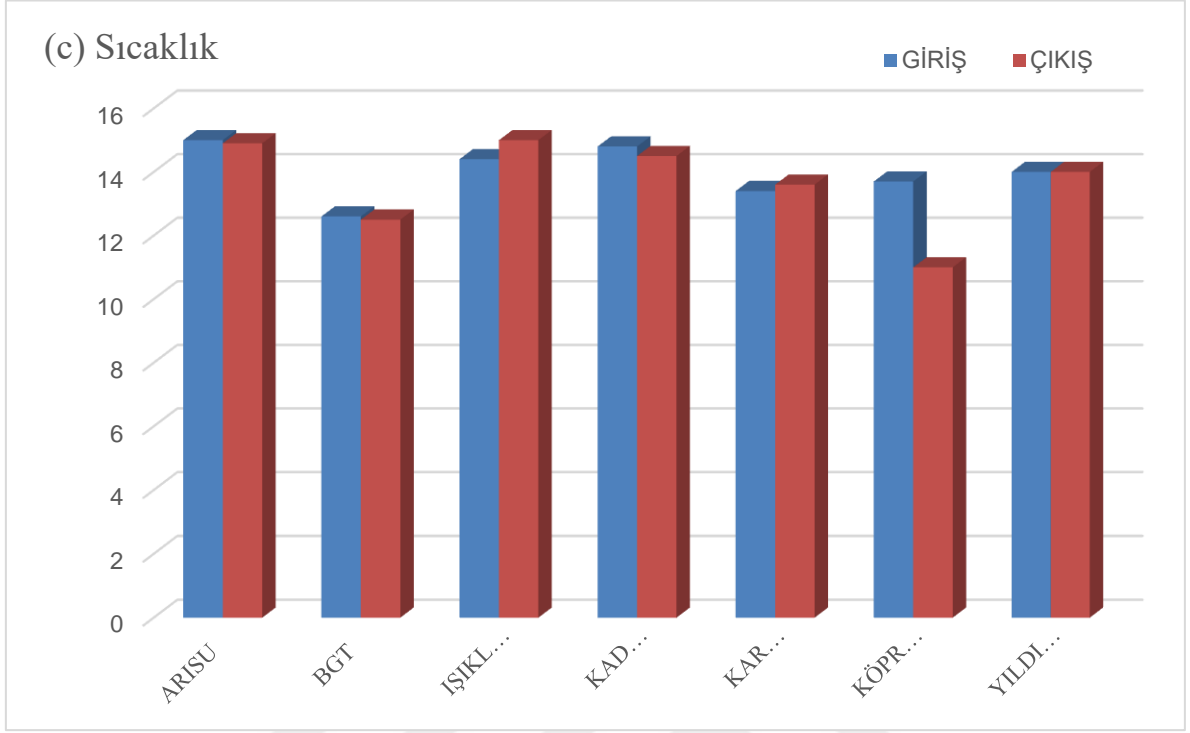
PARAMETRE	METOT	BİRİMİ	TS266 SINIRI	KARAKAYA		YILDIZLI		ARISU		BGT		IŞIKLAR	
				GİRİŞ	ÇIKIŞ	GİRİŞ	ÇIKIŞ	GİRİŞ	ÇIKIŞ	GİRİŞ	ÇIKIŞ	GİRİŞ	ÇIKIŞ
Bulanıklık	SM 2130 B	NTU	1	3,7	3,6	16,5	15,1	5,2	5,35	4,85	3,45	21,6	15,3
Askıda Katı Madde	SM 2510 B	mg/L	1	3	4	10	9	3	3	4	3	12	9
Sıcaklık	SM 4500 H+ B	°C		13,4	13,6	14	14	15	14,9	12,6	12,5	14,4	15
Renk	SM2120 C	Pt-Co	20	16	17	65	60	17	19	23	17	75	60

PARAMETRE	METOT	BİRİMİ	TS266 SINIRI	KADAHOL		KÖPRÜYANI		LALE		HORYAN	
				GİRİŞ	ÇIKIŞ	GİRİŞ	ÇIKIŞ	GİRİŞ	ÇIKIŞ	GİRİŞ	ÇIKIŞ
Bulanıklık	SM 2130 B	NTU	1	10	8,4	6,6	10,7	0,48	1,5	0,9	1
Askıda Katı Madde	SM 2510 B	mg/L	1	5	4	4	5	0	1	0	1
Sıcaklık	SM 4500 H+ B	°C		14,8	14,5	13,7	11	-	-	-	-
Renk	SM2120 C	Pt-Co	20	45	33	25	44	0	3	3	5



Şekil 47. Fiziksel parametrelere göre santral giriş çıkış suyu değişim grafikleri (a) Bulanıklık, (b)Askıda katı madde, (c) Renk, (d) Sıcaklık

Şekil 47'nin devamı



Gerek tablodan, gerekse tablo tabanlı grafiklerden anlaşılacağı üzere her fiziksel parametre için hidroelektrik santral giriş değerleri ile çıkış değerleri arasında tam bir paralellik vardır. Yani HES'e su nasıl giriyorsa öyle çıkıyordur diyebiliriz. Yine tablodan

anlaşılacağı üzere Horyan HES dışındaki tüm sular özellikle bulanıklık parametresine göre içilemez sınıfta yer almakta olup; HES giriş ve çıkış fiziksel değerlerinde giriş suyunun neredeyse hiç değişmeden çıktığını ve HES'lerin su kalitesine olumsuz her hangi bir etkisinin olmadığını rahatlıkla söyleyebiliriz.

4.10.3. Temel Analiz Sonuçlarına Göre HES'lerin Su Kalitesine Etkisi

HES giriş suyu ve HES çıkış suyu temel analiz sonuçları Tablo 15'te verilmiştir. Suyun sürekli akar durumda olması nedeniyle yükleme havuzundan alınan suyun birkaç kilometre sonraki türbinlenmiş suyun zamanına tam denk gelememesi, nümune alma hataları, türbinlenmiş sulara bazen harici dere veya yeraltı sularının da karışmış olması ve ölçüm hataları kaynaklı giriş suyu analiz değerleri ile çıkış suyu analiz değerleri arasında küçük farklılıklar görülebilmektedir. Ancak bu farklılıkların hiçbiri HES giriş suyu ile HES çıkış suyu arasındaki parametre paralelliğini bozacak düzeyde değildir. Tablo 15 değerleri dikkate alındığında HES'in giriş suyu parametreleri ile çıkış suyu parametreleri arasında paralellik vardır. Dolayısıyla HES'lerin suyun kalitesine etkisi yoktur diyebiliriz.

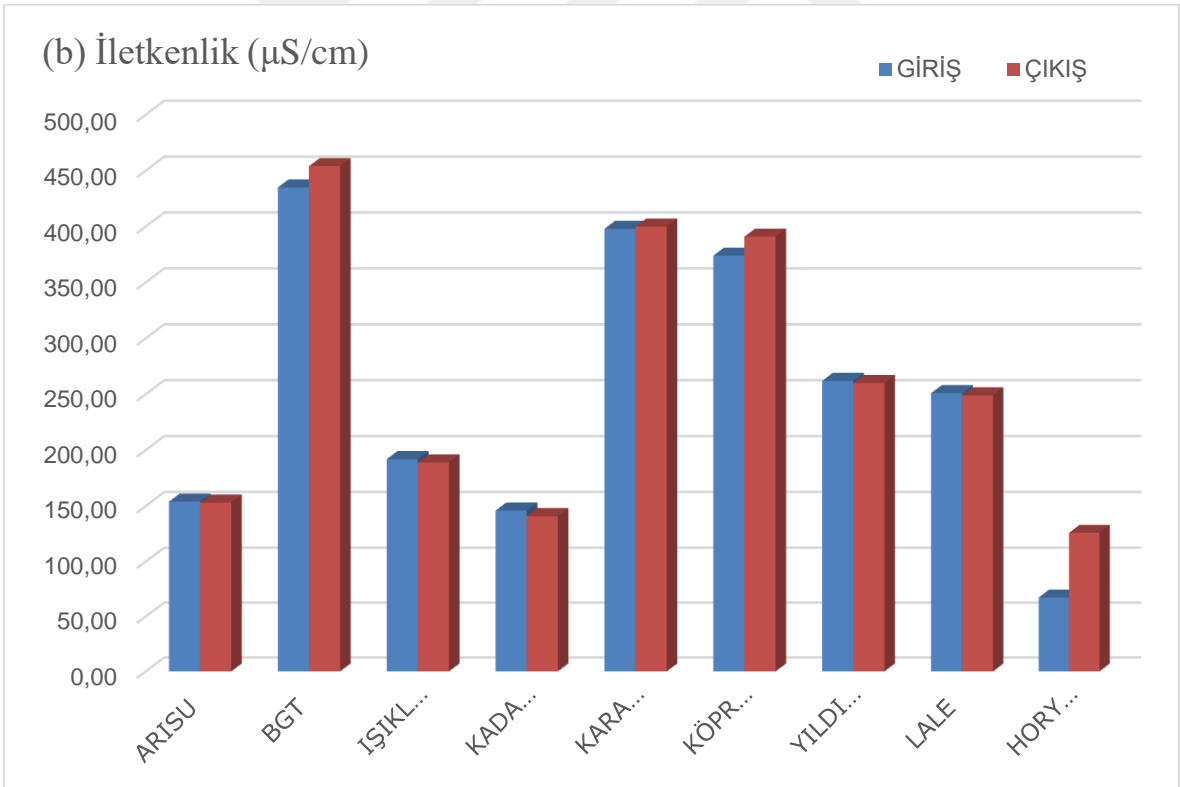
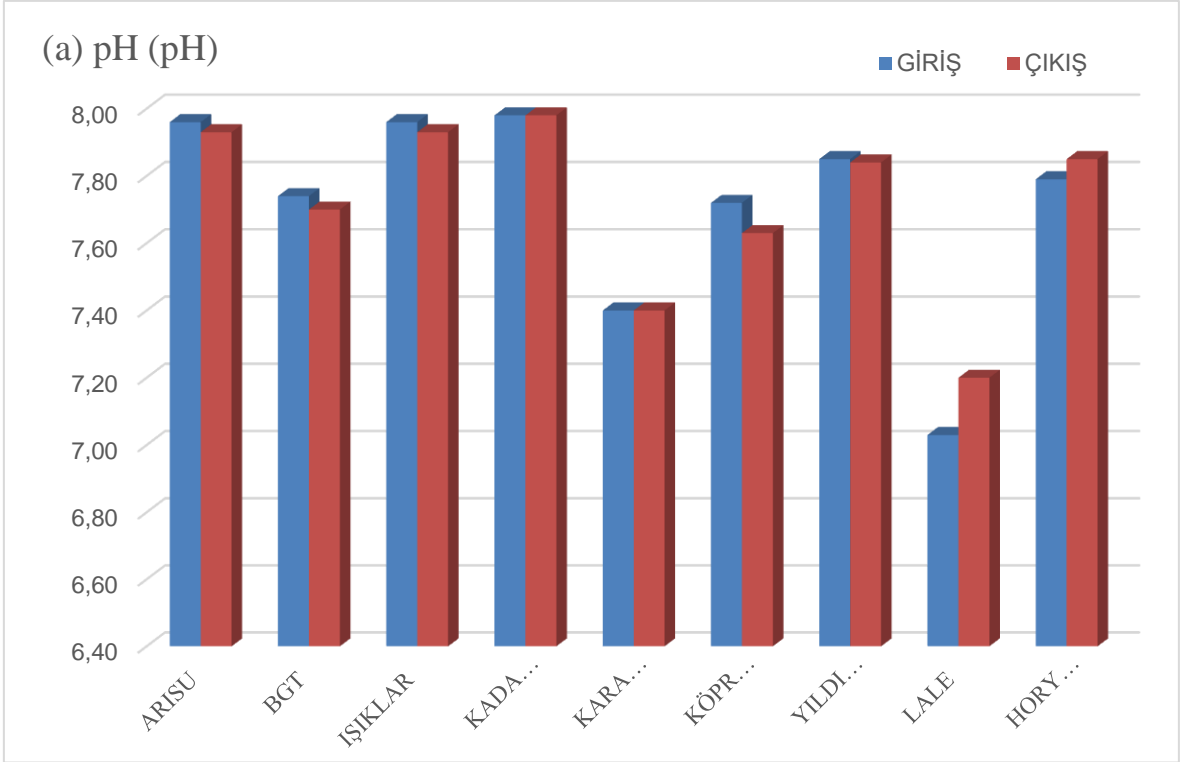
Sonuç olarak HES'lerin su kalitesini değiştirmedeği tespit edilmiştir.

Tablo 15. HES'lerin giriş ve çıkış su analizleri karşılaştırması

PARAMETRE	ÖLÇÜM METODU	BİRİMİ	TS266 /ITASHY	ARISU		BGT		IŞIKLAR		KADAHOR		KARAKAYA	
				GİRİŞ	ÇIKIŞ	GİRİŞ	ÇIKIŞ	GİRİŞ	ÇIKIŞ	GİRİŞ	ÇIKIŞ	GİRİŞ	ÇIKIŞ
pH (PH)	SM 4500 H+B	-	6,5-9,5	7,96	7,93	7,74	7,7	7,96	7,93	7,98	7,98	7,4	7,4
İletkenlik	SM 4500 H+B	µS/cm	2500	154	153	435	454	192	189	146	141	398	400
Alüminyum (Al)	EPA 200.8	µG/L	200	164,4	150,9	122,5	106,2	126,6	114,4	179,2	177,3	158,2	161,1
Demir (Fe)	EPA 200.8	µG/L	200	164	169,9	137,9	139,8	133,1	150,6	185,3	188,4	161,4	162,3
Mangan (Mn)	EPA 200.8	µG/L	50	17,64	21,71	78,97	90,93	75,43	82,69	36,65	39,27	183,1	211,8
Florür (F)	EPA 300.1	mG/L	1,5	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003	0,002
Fosfat (PO 4)	EPA 300.1	mG/L	5	0,83	<0,001	<0,001	0,32	<0,001	<0,001	0,17	0,2	<0,001	<0,001
Kalsiyum (Ca ⁺²)	EPA 300.1	mG/L	200	21,09	21,23	68,94	73,8	31,55	30,87	19,35	19,3	70,19	69,77
Magnezyum (Mg)	EPA 300.1	µG/L	50	3,95	3,95	12,29	11,86	4,03	4,22	3,63	3,37	7,07	6,96
Nitrat (NO 3)	EPA 300.1	mG/L	50	6,51	6,39	5,16	5,74	6,16	6,53	6,64	78,3	2,92	2,99
Nitrit (NO 2)	EPA 300.1	mG/L	0,5	0,018	0,018	0,04	0,04	0,019	0,02	0,019	0,019	0,017	0,019
Toplam Alkalinite	SM 2320 B	mG/L	-	58	62	200	198	80	82	60	60	193	190
Toplam Org. Karbon	LCK380	mg/L	-	2,19	3,04	1,12	0,91	0,19	0,715	4,56	5,52	2,65	2,56
Toplam Sertlik (CaCO3)	SM 2320 B	°F	-	6,8	6,9	12,2	13,4	9,5	9,4	6,3	6,2	10,4	10,09
Klorür (Cl)	EPA 300.1	mG/L	250	1,38	1,1	3,34	3,66	0,87	1,12	1,38	1,6	1,3	1,36
Potasyum (K)	EPA 300.1	mG/L	12	1,53	0,6	1,65	1,32	0,33	0,47	0,83	1,04	0,74	0,77
Sodyum (Na)	EPA 300.1	mG/L	200	3,49	3,19	9,96	9,52	2,39	2,81	3,2	3,42	5,09	4,99
Sülfat (SO4)	EPA 300.1	mG/L	250	9,29	8,66	27,06	29,32	5,52	5,99	9,05	9,57	21,08	20,86

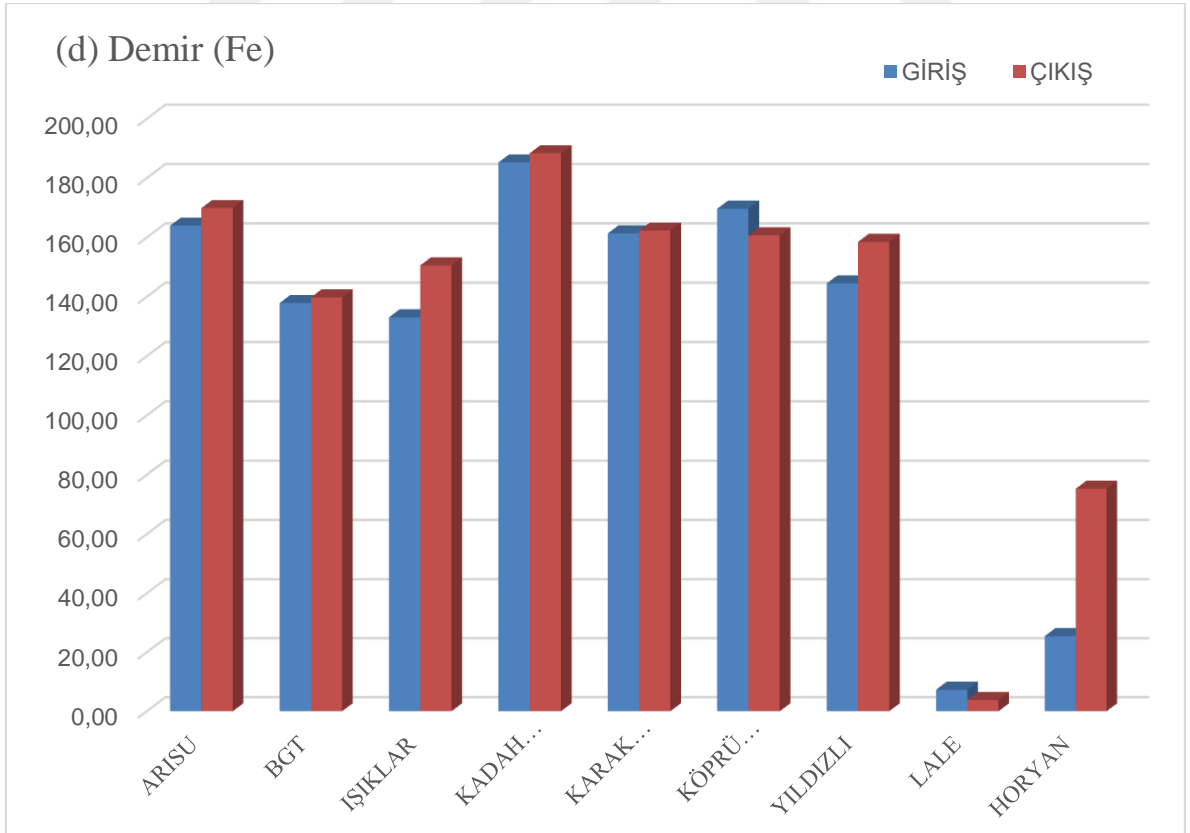
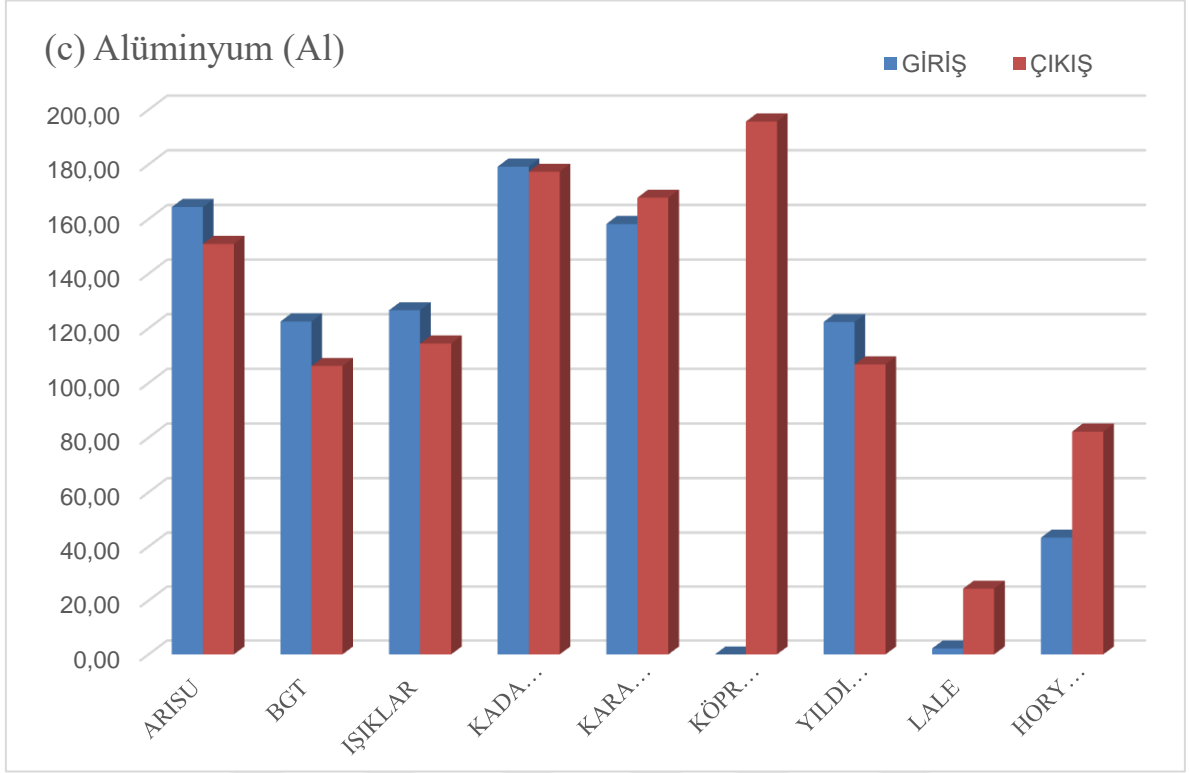
Tablo 15'in devamı

PARAMETRE	ÖLÇÜM METODU	BİRİMİ	TS266 / İTASHY	KÖPRÜYANI		YILDIZLI		LALE		HORYAN	
				GİRİŞ	ÇIKIŞ	GİRİŞ	ÇIKIŞ	GİRİŞ	ÇIKIŞ	GİRİŞ	ÇIKIŞ
pH (PH)	SM 4500 H+B	-	6,5-9,5	7,72	7,63	7,85	7,84	7,03	7,2	7,79	7,85
İletkenlik	SM 4500 H+B	µS/cm	2500	374	391	262	260	251	249	67,2	126
Alüminyum (Al)	EPA 200.8	µG/L	200	88,0,1	95,7	122,3	106,8	2,2	24,4	43,3	78
Demir (Fe)	EPA 200.8	µG/L	200	169,7	160,7	144,5	158,5	7,3	3,8	25,5	75,3
Mangan (Mn)	EPA 200.8	µG/L	50	64,75	107,4	107,4	122,8	1	0,8	0,3	1,05
Florür (F)	EPA 300.1	mG/L	1,5	0,086	0,02	0,018	0,019	-	-	-	-
Fosfat (PO 4)	EPA 300.1	mG/L	5	0,17	0,61	0,17	<0,001	-	-	-	-
Kalsiyum (Ca ⁺²)	EPA 300.1	mG/L	200	30,89	59,69	36,33	34,54	36,8	38	10,8	16,8
Magnezyum (Mg)	EPA 300.1	µG/L	50	9,97	11,14	6,22	6,49	8,12	8,16	0,96	3,6
Nitrat (NO 3)	EPA 300.1	mG/L	50	2,09	5,35	16,15	16,36	2,2	2,3	0,9	2,2
Nitrit (NO 2)	EPA 300.1	mG/L	0,5	0,021	0,023	0,059	0,065	0,015	0,011	0,011	0,006
Toplam Alkalinite	SM 2320 B	mG/L	-	104	175	96	98	110	115	26	52
Toplam Organik Karbon	LCK380	mg/L	-	0,028	0,11	2,46	5,34	3,17	3,05	0,8	280
Toplam Sertlik (CaCO3)	SM 2320 B	^o F	-	11,8	11,5	11,7	11,3	12,6	12,9	3,1	5,7
Klorür (Cl)	EPA 300.1	mG/L	250	3,8	4,24	5,36	5,37	-	-	-	-
Potasyum (K)	EPA 300.1	mG/L	12	2,86	2,42	1,38	1,12	-	-	-	-
Sodyum (Na)	EPA 300.1	mG/L	200	21,31	9,02	8,8	10,28	-	-	-	-
Sülfat (SO4)	EPA 300.1	mG/L	250	44,44	25,66	11,59	11,91	-	-	-	-

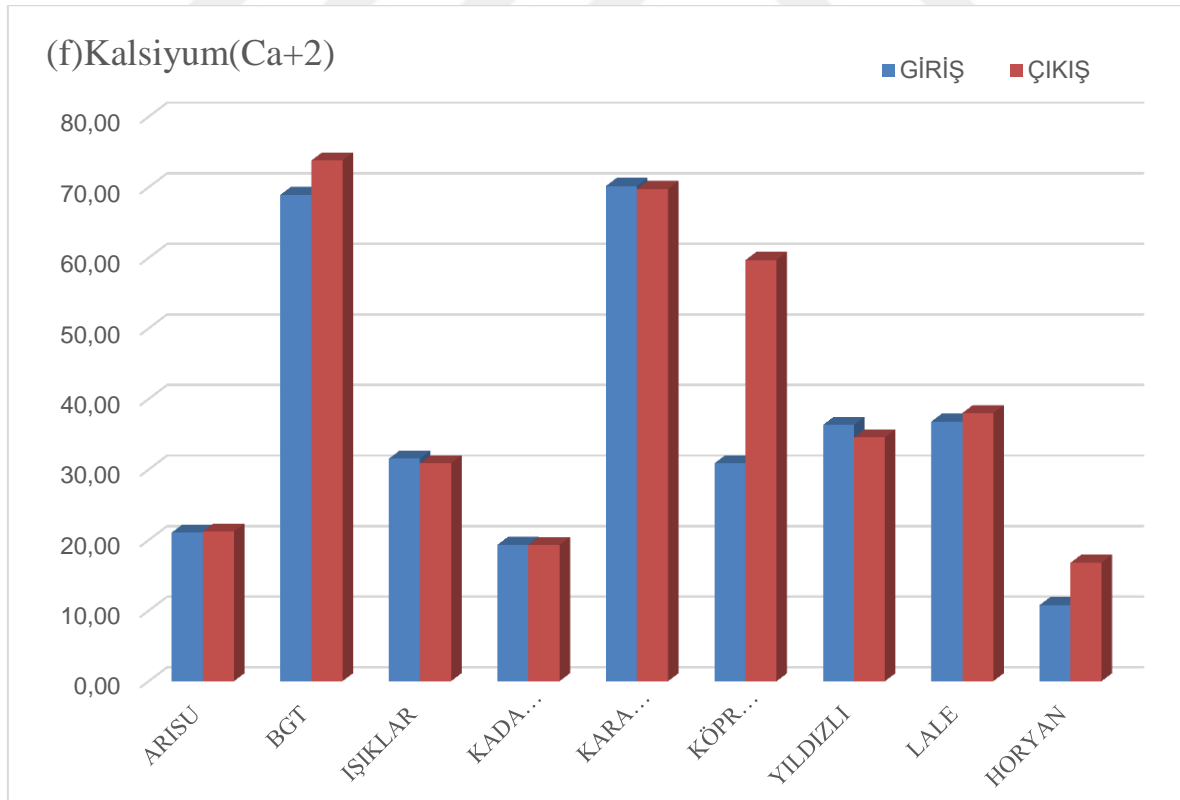
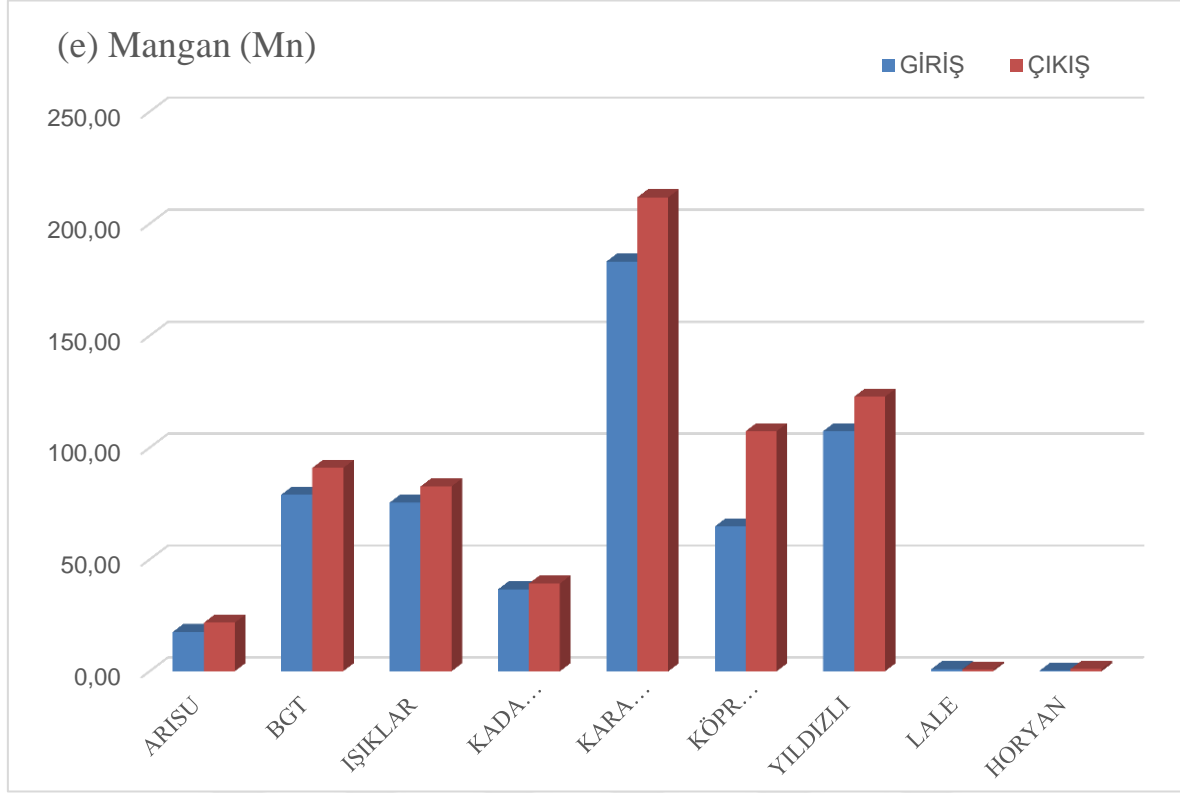


Şekil 48. Temel analiz sonuçlarına göre HES'lerin giriş-çıkış parametrelerinin karşılaştırılması a) pH b) İletkenlik c) Alüminyum (Al) d) Demir (Fe) e) Mangan (Mn) f) Florür (F) g) Fosfat (PO_4) h) Kalsiyum g) (Ca^{+2}) i) Magnezyum (Mg) j) Nitrat (NO_3) k) Nitrit (NO_2) l) Toplam Alkalinite m) Toplam Org. Karbon n) Toplam Sertlik (CaCO_3) o) Klorür (Cl) p) Potasyum (K) r) Sodyum (Na) s) Sülfat (SO_4)

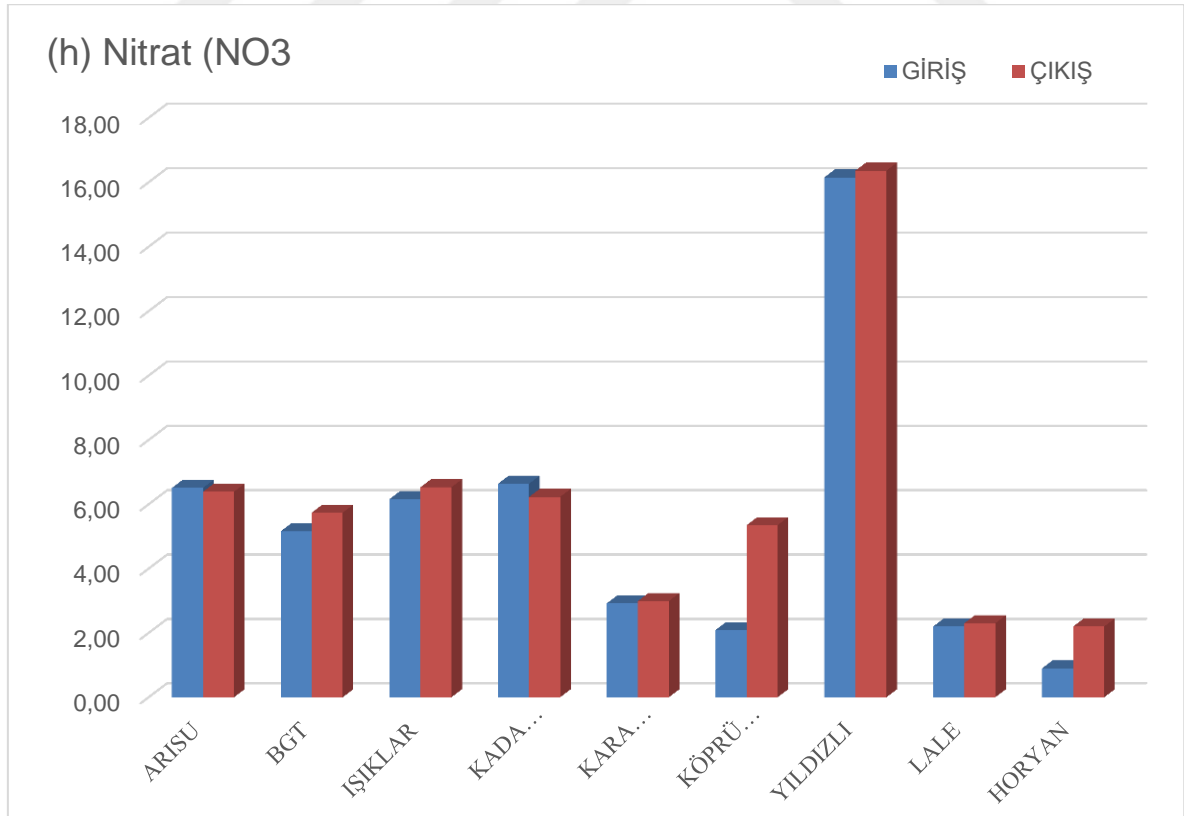
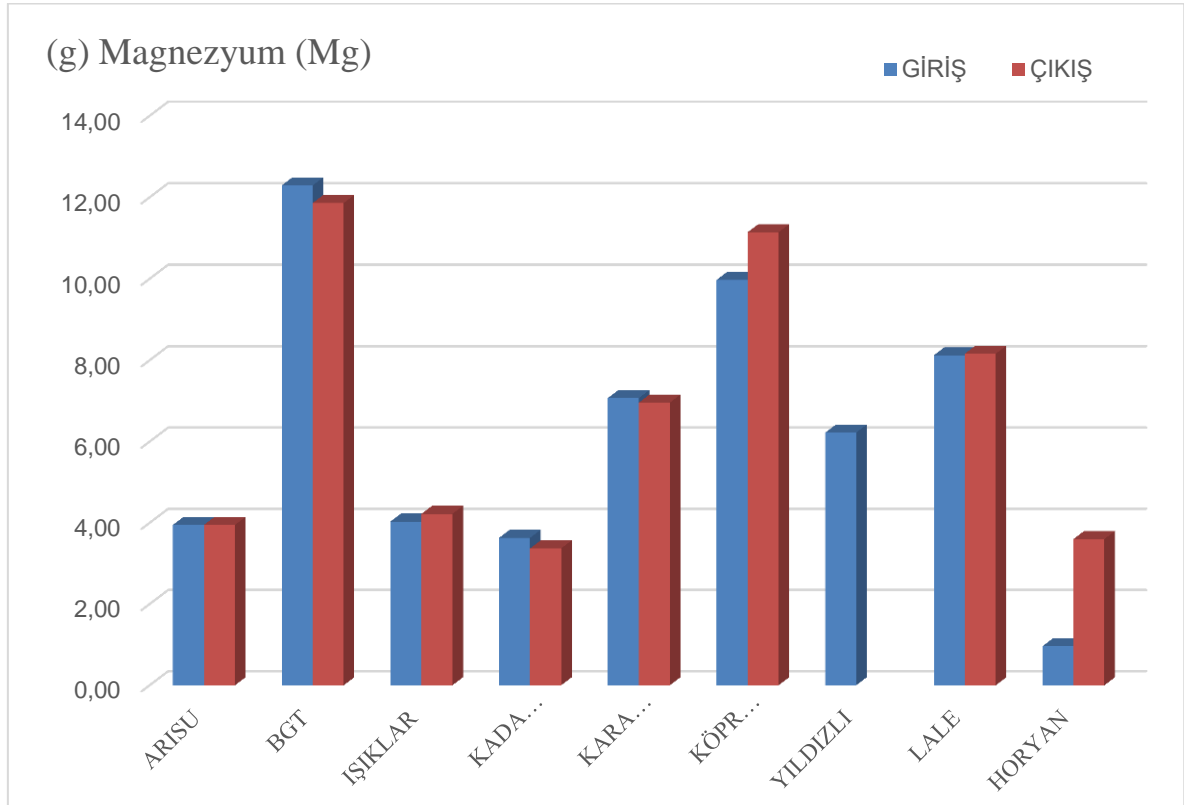
Şekil 48'in devamı



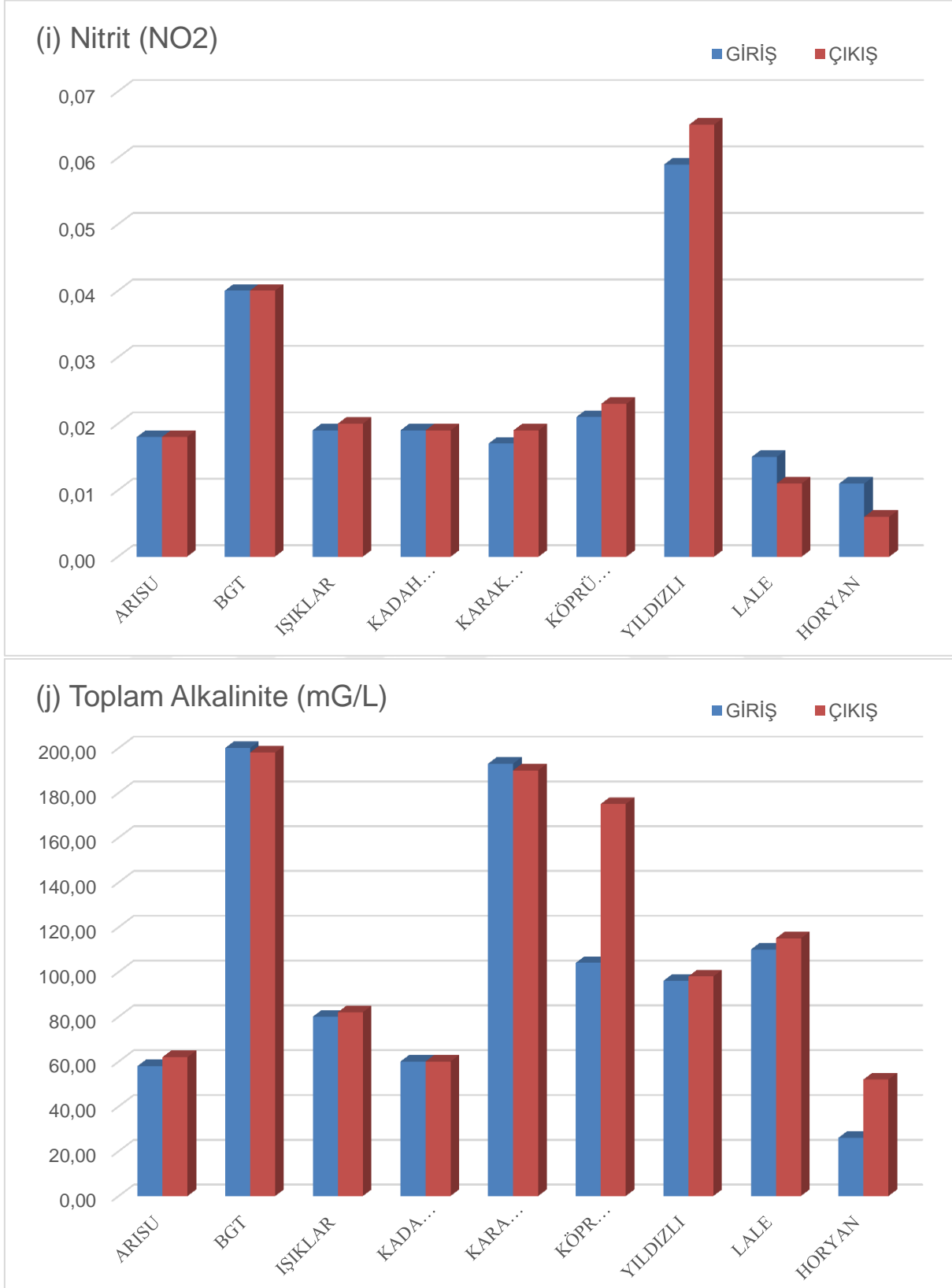
Şekil 48'in devamı



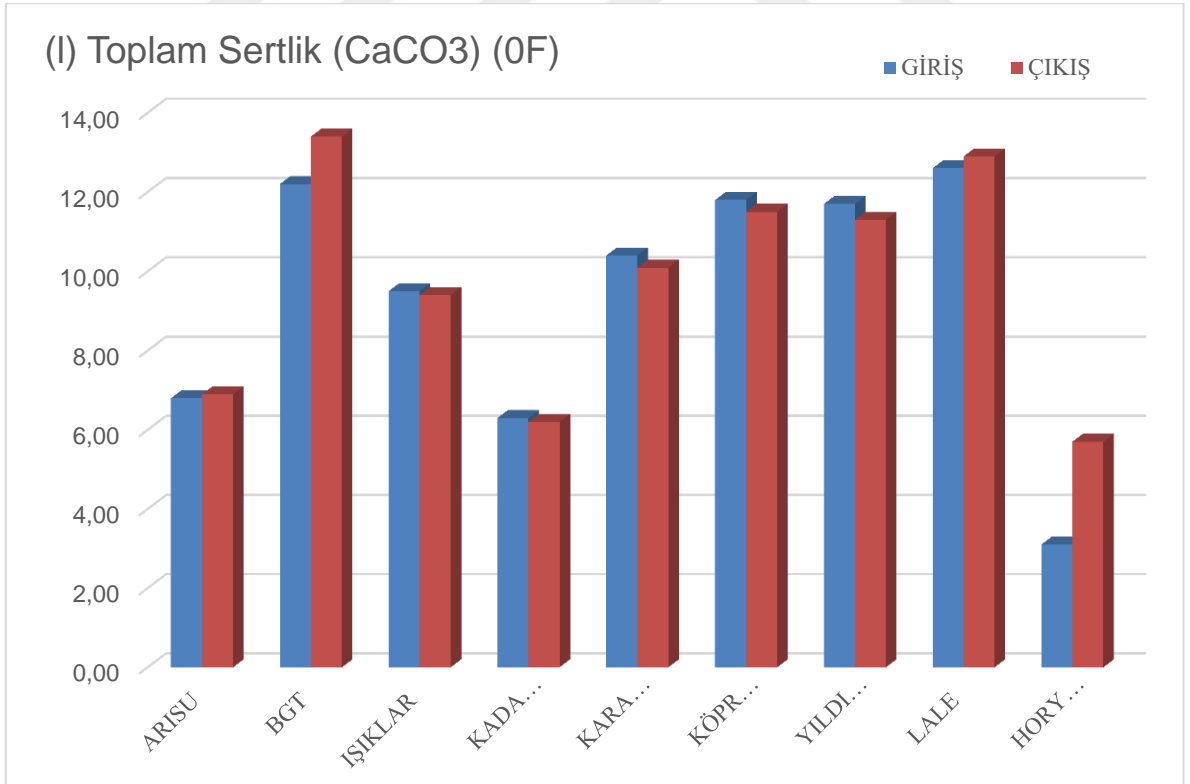
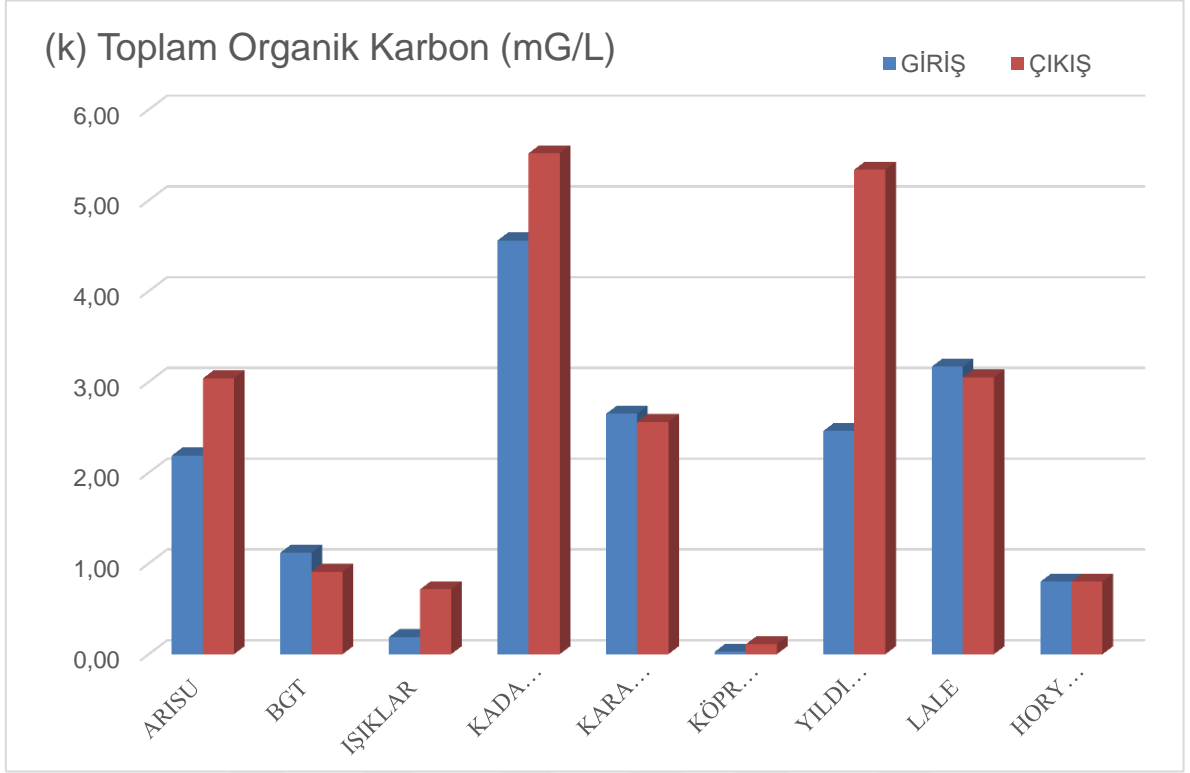
Şekil 48'in devamı



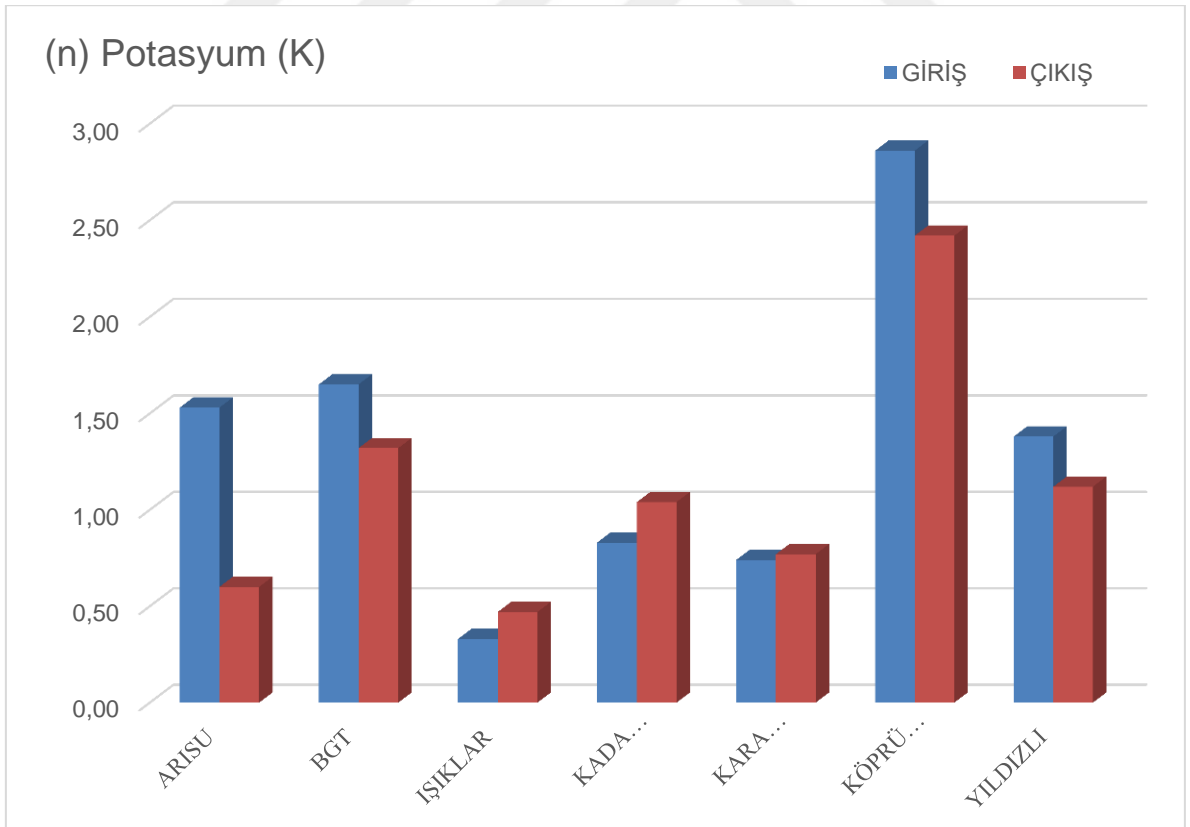
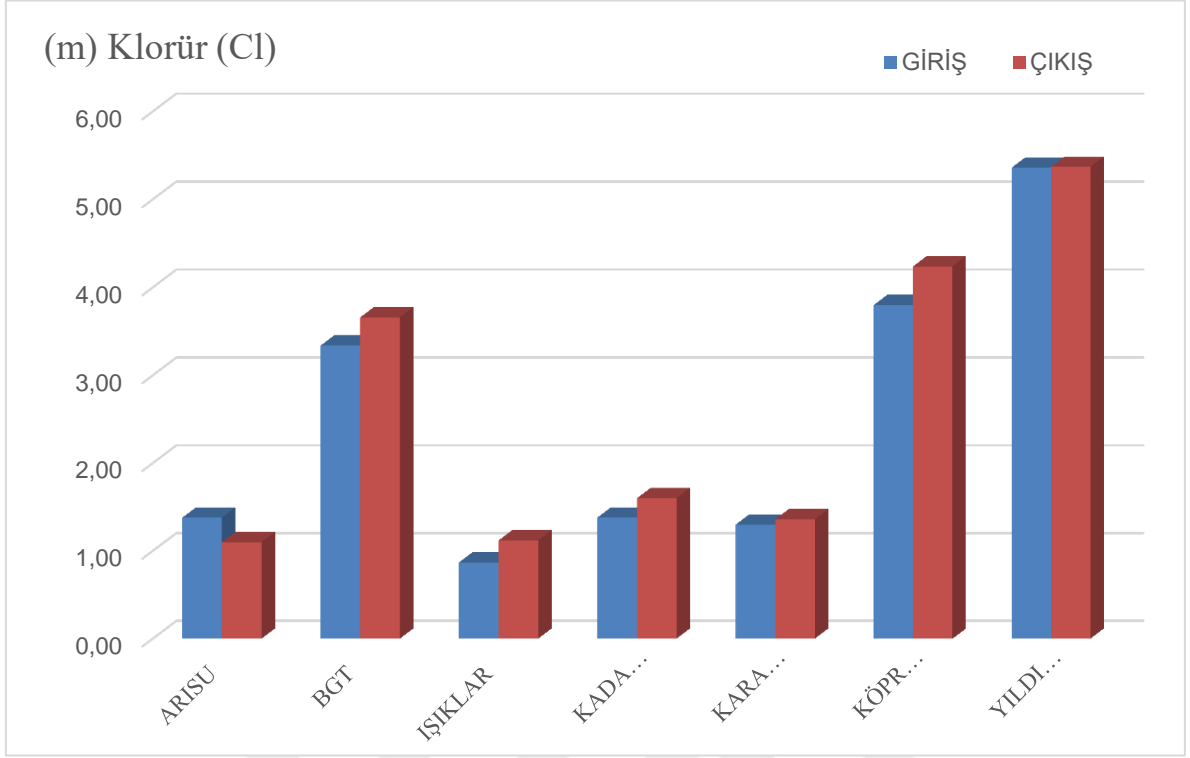
Şekil 48'in devamı



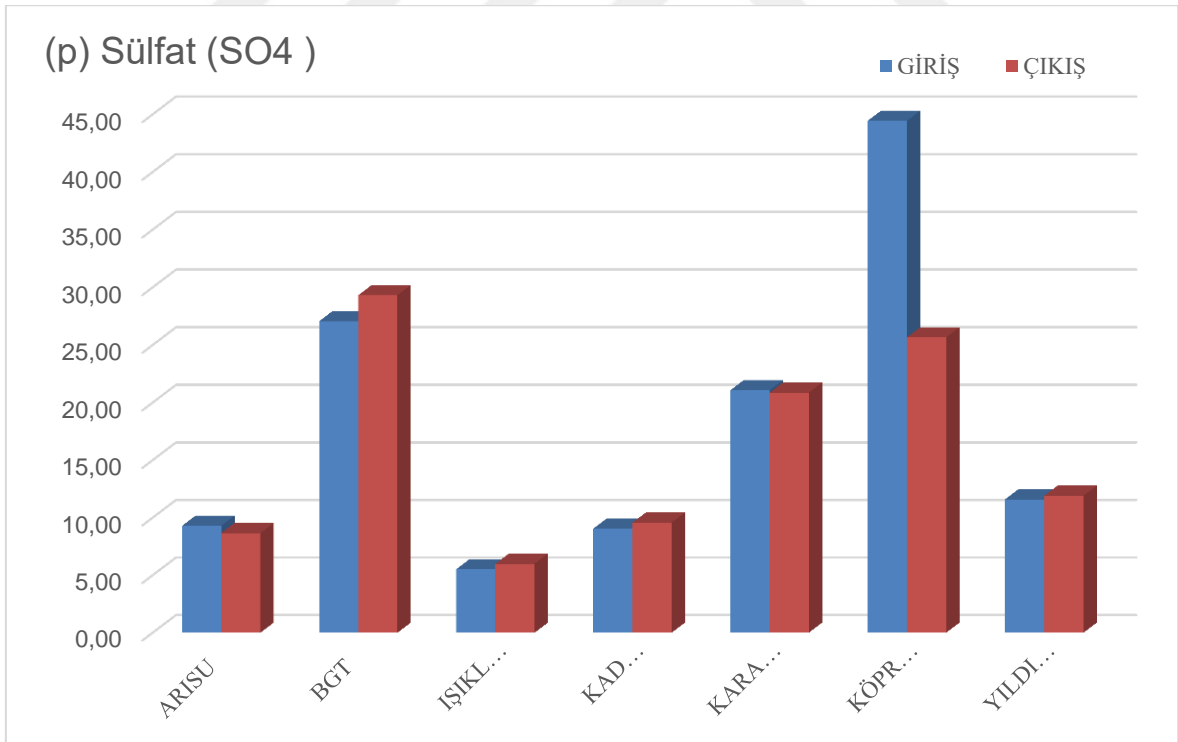
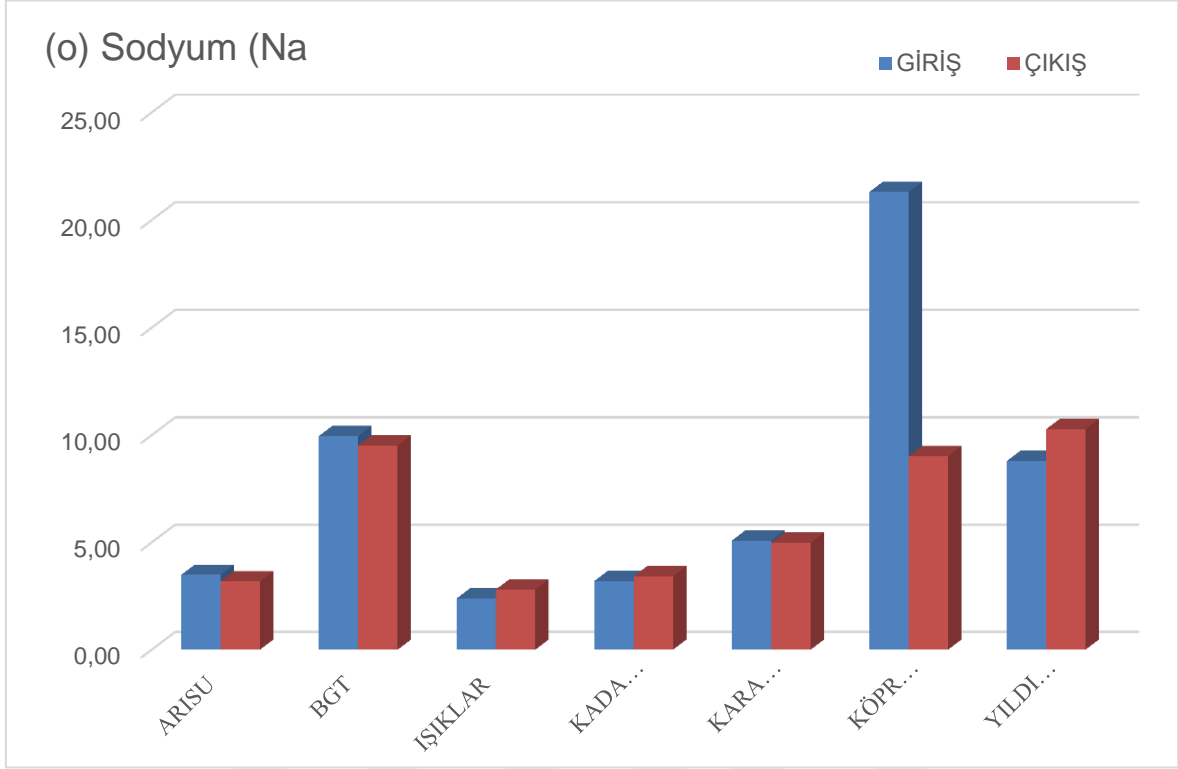
Şekil 48'in devamı



Şekil 48'in devamı



Şekil 48'in devamı



Yapılan temel analiz sonuçlarına göre HES'lerin giriş-çıkış sularına ait pH, iletkenlik, alüminyum (Al), Demir (Fe), Mangan (Mn), Florür (F), Fosfat (PO₄), Kalsiyum

(Ca⁺²), Magnezyum (Mg), Nitrat (NO₃), Nitrit (NO₂), Toplam Alkalinite, Toplam Organik Karbon, Toplam Sertlik (CaCO₃), Klorür (Cl), Potasyum (K), Sodyum (Na) ve Sülfat (SO₄) parametrelerinin karşılaştırıldığı Şekil 48'den de anlaşılacağı üzere Tüm HES'lerin tüm parametrelerinin giriş değerleri ile çıkış değerleri arasında paralellik mevcuttur. Daha önce de değinildiği üzere ölçüm hataları, numune alma hataları, suyun sürekli değişken (akar) oluşu, çıkış suyuna zaman zaman dere veya yeraltı sularının karışıyor olması, giriş-çıkış sularının senkronize alınamaması, regülatörlerde biriken teresubat ve çamurların giriş suyunda tespit edilememesi, çıkış suyunun yüksek kavitasyon etkisi ile zemindeki çökelmiş malzemeleri hareketlendirerek çıkış suyuna katması gibi etkenlerden dolayı küçük sapmalara rastlanılabilmektedir.

HES'lerin giriş suyu ile çıkış suyu parametreleri tamamen birbirine paraleldir. Gerek eser miktarlar üzerinde yapılan incelemelerde, gerek fiziksel değişkenlerde gerek se temel analizlerden de anlaşılacağı üzere HES'lerin su kalitesi üzerinde olumsuz bir etkisine rastlanılamamıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmamızda Esiroğlu HES tesisinde pelton tipi türbin kullanılarak içme suyundan elektrik üretilmiş, türbin seçimleri, yük kayıpları, ekipman seçiminin kritik olanları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar ve incelemelerde içme suyundan elektrik üretiminde hidrolik yük kayıplarının ticari HES hidrolik yük kayıplarından biraz daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun temel nedeni mevcut içme suyu tesislerinin enerji üretebilecekleri düşünülmeden isale hatlarının yapılmış olmasıdır.

İçme suyundan elektrik enerjisi üretim sistemleri ilave cebri boru, yükleme havuzu, iletim tünelleri gibi yüksek maliyetli inşai yapılara gerek duyulmadan ve mevcut hidromekanik ekipman üzerinden yapılabileceği, bunun da sadece çok küçük bir verim kaybına neden olacağı görülmüştür.

Esiroğlu HES için yatırım değeri 2 milyon Euro üzerinde olmasına karşılık yıllık üreteceği 16 GWh üzerindeki elektriğin piyasa değerinin 1.6 milyon Euro üzerinde olduğu görülmüştür. Yapılan finansal analizlerde iç karlılığı %50 düzeyinde hesaplanan santralin geri ödeme periyodu 2 yılın biraz üzerinde bulunmuştur. Geri ödeme periyodu 15 yıldan az olan sistemlerin yatırım yapılabilir olduğu düşünöldüğünde Esiroğlu HES benzeri, içme suyundan elektrik üretim tesislerinin ekonomik olarak çok yüksek karlılığa sahip olduğu tespit edilmiştir.

Karakaya mikro HES tesisinde PaT (Pumps as Turbine) kullanılarak içme suyundan elektrik enerjisi üretilmiştir. Sistem 100kW gücünde tasarlanmasına rağmen dizayn eksikliklerinden dolayı basınç ve debinin değiştirdiği, bu değişimler nedeni ile sistemin ortalama 76kW gücünde elektrik ürettiği tespit edilmiştir. Mikro HES'in üretici debi-verim-basınç-güç verileri ve grafikleri yerinde yapılan ölçüm ve hesaplamalarla test edilmiş; üretici verilerinin sahada elde edilen veriler ile uyumlu olduğu görülmüştür. Yapılan finansal analizlerinde 44 bin USD maliyete sahip olan Karakaya mikro HES'in TİSKİ'ye yıllık 30 bin USD kadar katkıda bulunarak yapım maliyetini 2 yıldan çok daha kısa bir sürede geri kazandıracığı tespit edilmiştir.

Ayrıca türbinlerin su kalitesine etkileri üzerine çalışmalar yapılmış, kuyruk suyunun içme suyu olarak kullanıldığı santrallerin su kalitesine etkileri incelenmiş; HES'lerin su kalitesini olumsuz etkilemediği ortaya konmuştur.

Sonuç olarak içme suyundan elektrik enerjisi üretimi düşük maliyetli, uygulanabilirliği kolay ve yatırım masraflarını çok kısa bir sürede (1-4 yıl arası) geri kazandırabilen tesisler olduğu görülmüştür. Suyun kalitesine herhangi bir olumsuz etkileri de yoktur. Dolayısı ile HES'lerin su-kanal idarelerine ve belediyelere ekonomik anlamda yüksek katma değer katacağı, içme suyunun daha yüksek kalitede ve daha düşük fiyatlara vatandaşa ulaştırılmasında katkıda bulunacağı ayrıca içme suyu üzerindeki fiyat artışı baskılarını kısmen azaltarak doğrudan vatandaşın cebine hitap edeceği görülmüştür.

2020 yılı için su sektörü elektrik tüketiminin 1000TWh'i aşacağı hesaplanmaktadır. (www.iea.org/weo/water/) [3]. Temin, tuzdan arındırma, dağıtım, yeniden kullanım, arıtma, ve iletim başta olmak üzere su ile ilgili hemen her alanda enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle su-kanal idarelerinin en önemli gider kalemlerinden biri de enerji giderleridir.

Trabzon İçmesuyu ve Kanalizasyon İdaresi'nin (TİSKİ) 2019 yılı elektrik tüketimi 37.294.202,20 kWh olup; 2019 yılı elektrik harcaması 26.773.635,20TL dir. Yalnızca elektrik giderleri TİSKİ'nin 2019 yılı toplam harcama bütçesi olan 266.487.341,11TL'nin %10'unun üzerindedir. Diğer belediye ve su kanal idarelerinde de durum çok farklı değildir. Diğer tüm elektrik üretim tesislerinden daha az yatırım ve daha az işletme bedeli ile devreye alınabilecek içme suyu tesislerinden enerji üretim santralleri mevzuatlarda sağlanan kolaylıklara rağmen çok az bir kısmı devreye alınmıştır..

İçme suyundan elektrik üretiminin üstünlüklerini şu şekilde sıralayabiliriz;

- Su şebekelerinde kaybolmakta olan enerjiyi ülke ekonomisine kazandırır
- Çevreye zarar vermezler
- Su kalitesine olumsuz etkileri yoktur.
- Gerilim düşümü ve ENH kayıpları genelde çok düşüktür
- İlave ENH kapasite yatırımları yok denecek kadar azdır.
- İlk yatırım değerleri çok düşüktür, genelde sadece santral üretim için yeterlidir.
- Yatırım geri dönüş süreleri kısadır
- İçme suyu için ön havalandırma görevi yapabilirler.
- Basıncı azaltıp, tesisat ömrünü uzatırlar
- Karbon salınımını azaltırlar.
- İçme suyunun enerjiye bağımlılığını azaltırlar.
- İçme suyu fiyatlarının daha düşük seviyelerde tutulmasına imkan sağlarlar.

- Su-kanal idarelerinin yatırım imkanlarını arttırmaları.
- Su tahsis kararları olduğundan DSİ izinleri kolaylıkla alınabilmektedir
- Sürekli üretim yapabilirler, mevsimsel değişkenlikleri yoktur veya çok azdır.
- Öncelikli su tahsis hakkına sahiptirler
- Küresel ısınmadan ve iklim değişikliğinden çok az etkilenirler

İçme suyundan elektrik üretiminde dikkat edilecek hususları da şu şekilde sıralayabiliriz;

- İçme suyu debileri genelde gün içi değişken olduğundan sadece bazı türbin tiplerine elverişlidirler
- Debileri genelde nehir-baraj tipi HES'lerden daha düşüktür
- Ana isale hatları hariç düşük güçlerdedirler
- Nüfus dağılımına benzer bir coğrafi dağılım gösterirler
- By-Pass hattı zorunlulukları vardır
- Mambanın mansaptan yüksek olduğu eğimli coğrafyalarda verimlidirler
- Sulu soğutma sistemlerine veya yenilebilir yağlama sistemlerine ihtiyaç duyabilirler
- İçme suyu üretiminin zamanlama ve debileri, elektrik üretim zamanlama ve debileri ile çelişkilidir.
- Biriktirmeli sistemlerde içme suyu baraj ve göletlerin dolu tutulmasını engelleyeceğinden üretimleri azalabilmektedir.
- Puant üretime uygun değildir. Suyun sürekliliği esastır.

Bu çalışmanın ana iki teması olan elektrik üretiminin içme suyu kirliliğine sebebiyet vermediği ve belediyeler ile su-kanal idarelerinin mevcut potansiyellerinden yararlanarak lisanssız elektrik üretmelerinin her açıdan faydalarına olacağı hesaplamalar ve labaratuvar çalışmalarıyla da ortaya konulmuştur. Sadece enerji amaçlı HES'lerin yatırım geri dönüş süreleri 8-20 yılı bulurken örnek seçtiğimiz içme suyu HES hesapları 2. Yılı aşmadan sistemin yatırım değerini kazandıracağını göstermektedir.

6. KAYNAKLAR

1. <https://www.enerjiatlasi.com/elektrik-uretimi/> 28.08.2019.
2. <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik> 13.02.2020.
3. www.iea.org 28.08.2019
4. Bakis, R., The Current Status and Future Opportunities of Hydroelectricity, Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 2, 3, 2007, 259-266.
5. Yüksek, O., Kömürcü, M. I., Yüksel, I., Kaygusuz, K., The role of hydropower in meeting Turkey's electric energy demand, Energy Policy, 34, 17, 2006, 3093-3103
6. Yüksel, I., Hydropower in Turkey for a clean and sustainable energy future, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12, 6, 2008, 1622-1640.
7. Dursun, B., ve Gokcol, C., The role of hydroelectric power and contribution of small hydropower plants for sustainable development in Turkey, Renewable Energy, 36, 4, 2011, 1227-1235.
8. Okot, D. K., Review of small hydropower technology. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 26, 2013, 515-520.
9. Kholifah, N., Setyawan, A. C., Wijayanto, D. S., Widiastuti, I., & Saputro, H., Performance of Pelton turbine for hydroelectric generation in varying design parameters. In IOP conference series: materials science and engineering (Vol. 288, No. 1, p. 012108). IOP Publishing.
10. Chouhan, K., Kishorey, G., & Shah, M., Modelling, fabrication & analysis of pelton turbine for different head and materials. International Journal of Computational Engineering Research (IJCER), 7, (02), 2017, 1-17.
11. Židonis, A., Panagiotopoulos, A., Aggidis, G. A., Anagnostopoulos, J. S., & Papanonis, D. E., Parametric optimisation of two Pelton turbine runner designs using CFD. Journal of Hydrodynamics, Ser. B, 27, (3), 2015, 403-412.
12. Patel, K., Patel, B., Yadav, M., & Foggia, T., Development of Pelton turbine using numerical simulation. In IOP conference series: Earth and environmental science (Vol. 12, No. 1, p. 012048). IOP Publishing.
13. Benzon, D., Židonis, A., Panagiotopoulos, A., Aggidis, G. A., Anagnostopoulos, J. S., & Papanonis, D. E. (2015). Impulse turbine injector design improvement using Computational Fluid Dynamics. Journal of Fluids Engineering, 137, (4), 041106.

14. Perrig, A., Avellan, F., Kueny, J. L., Farhat, M., & Parkinson, E. (2006). Flow in a Pelton turbine bucket: numerical and experimental investigations. *Journal of fluids engineering*, 128, (2), 350-358.
15. Perrig, A., Farhat, M., Avellan, F., Parkinson, E., Garcin, H., Bissel, C., ... & Favre, J. (2004). Numerical flow analysis in a Pelton turbine bucket. In *Proceedings of the 22nd IAHR Symposium on Hydraulic machinery and systems*, Stockholm, Sweden (Vol. 1, No. CONF, pp. 1-13). International Association For Hydraulic Research.
16. Xiao, Y. X., Han, F. Q., Zhou, J. L., & Kubota, T. (2007). Numerical prediction of dynamic performance of Pelton turbine. *Journal of Hydrodynamics*, Ser. B, 19(3), 356-364.
17. [https://www.google.com/search?q=Santrallerin+g%C3%BCn+i%C3%A7i+enerji+kayna%C4%9F%C4%B1+t%C3%BCrlerine+g%C3%B6re+%C3%A7al%C4%B1%C5%9Fmas%C4%B1+\(TE%C4%B0A%C5%9E+2018\)&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiQ5P2Ko4jnAhUH06YKHRAQD04Q_AUoA3oECAwQBQ&biw=1366&bih=667#imgsrc=qfJtT2ga863IM](https://www.google.com/search?q=Santrallerin+g%C3%BCn+i%C3%A7i+enerji+kayna%C4%9F%C4%B1+t%C3%BCrlerine+g%C3%B6re+%C3%A7al%C4%B1%C5%9Fmas%C4%B1+(TE%C4%B0A%C5%9E+2018)&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiQ5P2Ko4jnAhUH06YKHRAQD04Q_AUoA3oECAwQBQ&biw=1366&bih=667#imgsrc=qfJtT2ga863IM). 16.01.2020.
18. <http://enerjikaynagi.blogspot.com/p/alternatif-enerji.html> 16.01.2020.
19. Aggidis, G. (2010). Performance envelopes of hydro turbines.
20. Binama, M., Su, W. T., Li, X. B., Li, F. C., Wei, X. Z., & An, S. (2017). Investigation on pump as turbine (PAT) technical aspects for micro hydropower schemes: A state-of-the-art review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 148-179.
21. Hossain, I. M., Ferdous, S. M., Salehin, S., Saleque, A. M., & Jamal, T. (2014). Pump-as-turbine (PAT) for small scale power generation: A comparative analysis. In *2014 3rd International Conference on the Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET)*, (pp. 1-5). IEEE.
22. <http://microhydroturbine.com/cross-flow.html>. 13.01.2020.
23. https://www.erbakan.edu.tr/storage/files/department/elektrikelektronikmuhendisligi/Editor/DERS/YElkEnrUrt/Hidroelektrik_Enerji_T%C3%BCrbinleri.pdf#page=9&zoom=100,90,738. 13.01.2020.
24. <https://www.aemdessau.de/tr/ueruenler/trifaze-jeneratoerler/asenkron-jeneratoerler.html> 16.01.2020.
25. <http://www.hydrolink.cz/en/pelton-turbines/hhp-v-type-vertical-compact-pelton-turbine-5.html>. 14.01.2020.
26. <https://acim.nidec.com/en-us/motors/leroy-somer/news-and-media/press-releases/2017/hydroelectricity-a-complete-offer-of-innovative-solutions-for-energy-generation>. 14.01.2020.

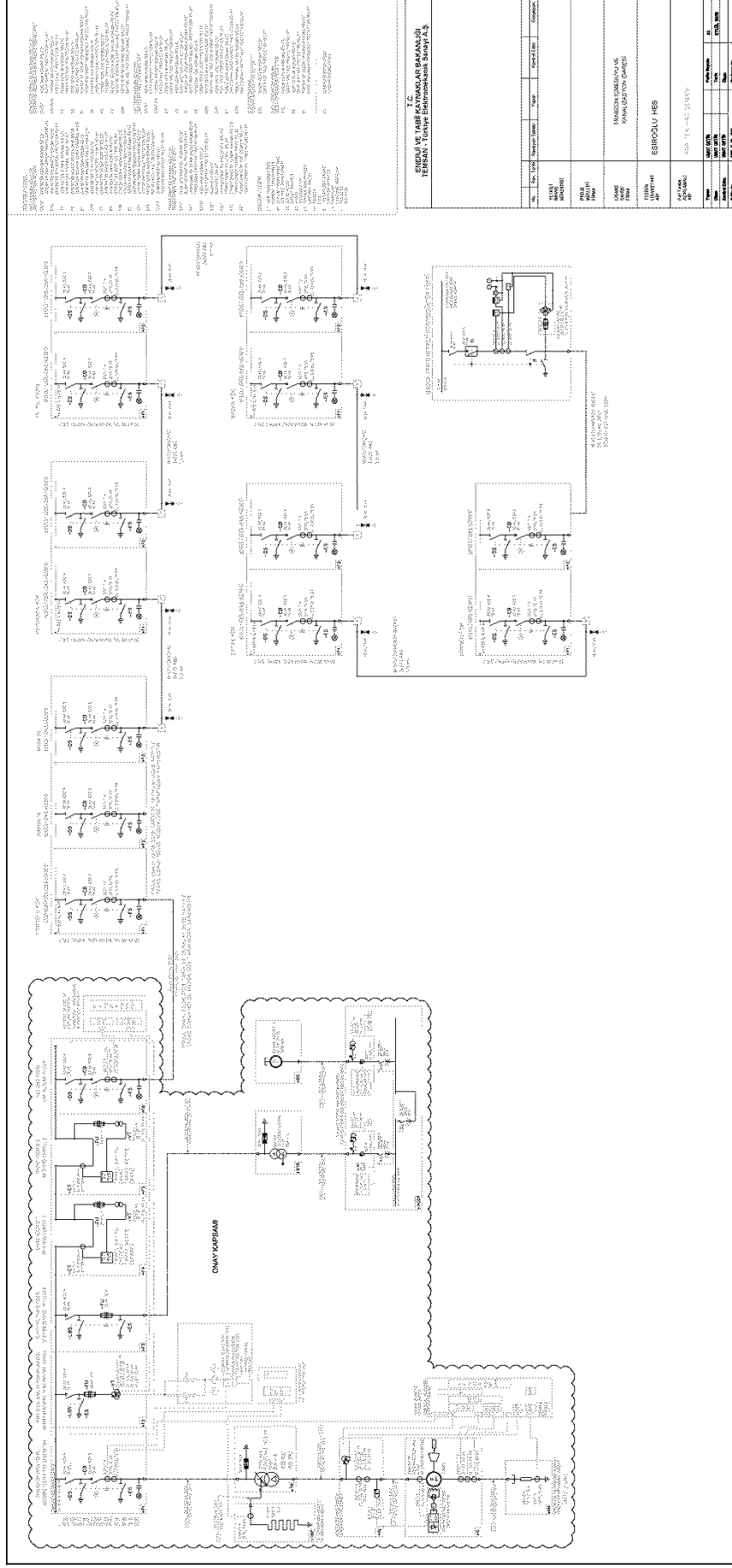
27. http://www.fibaelektrik.com/wp-content/uploads/2017/07/Dry_Type_Transformer.jpg. 14.01.2020.
28. <https://www.teksan.com/dizel-jeneratör-setleri/> 14.01.2020.
29. <https://www.thevalveagency.com/plunger-valve.html> 14.01.2020.
30. <http://www.kayse.com.tr/uploads/pdf/y-tipi-yatay-flatorlu-seviye-kontrol-vanasi.pdf> 14.01.2020.
31. Nurşen, E. C., Yeğin, Ö. Ü. M., & Yiğit, K. S. Santrifüj Pompaların Hidrolik Türbin Olarak Kullanılması.
32. Alkan, O. F. (2019). Türbin Olarak Kullanılan Santrifüj Pompalarda Asenkron Jeneratörün Yük Kontrol Tasarımı, Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü.
33. <https://www.bilgiustam.com/resimler/2008/03/12013769on4.jpg> 16.01.2020.
34. Apaydın, M., Üstün, A. K., Kurbam, M., & Filik, Ü. (2009). Rüzgar Enerjisinde Kullanılan Asenkron Jeneratörler. V. Yenilenebilir Enerji Kaynakaları Sempozyumu, Diyarbakır.
35. Yıldız Teknik Üniversitesi 0124730 - Rüzgâr ve Güneş Enerjili Güç Sistemleri Ders Notu.
36. <https://sbu.saglik.gov.tr/Ekutuphane/kitaplar/css43.pdf>. 22.12.2019
37. Odası, T. E. M. (2011). Doğu Karadeniz Bölgesi HES Teknik Gezisi Raporu.
38. <https://docplayer.biz.tr/59147328-Izmir-icme-suyu-ana-dagitim-sisteminde-alternatif-isletme-seceneklerinin-belirlenmesi.html>. 17.01.2020.
39. <https://forum.donanimhaber.com/dc-ile-ac-motor-surucu-arasindaki-fark--18572241> 02.02.2020
40. Eraydın, F. (2019). Hidroelektrik santrallerde net düşü değişiminin aktif güç çıkışı üzerine etkisinin incelenmesi (Master's thesis, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü).
41. Özdemir, M. T., Orhan, A., & Cebeci, M. (2011). Çok Küçük Hidrolik Potansiyellerin Enerji Üretim Amacı İle Yerel İmkânlarla Değerlendirilmesi. Elektrik-Elektronik Ve Bilgisayar Sempozyumu, 5-7.
42. Yıldız, M., Çelebioğlu, K., Albayrak, K. (2011). "Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Metotları İle Pompa-Türbin Tasarımı" Tesisat Dergisi, 191. Sayı
43. Akyüz, H., Şencan, A. (2017). "İşletmede Olan Bir Hidroelektrik Santralin Nehir Suyu Kalitesine Etkisi". DSİ Teknik Bülteni, Sayı: 125, Temmuz 2017, 8-24.

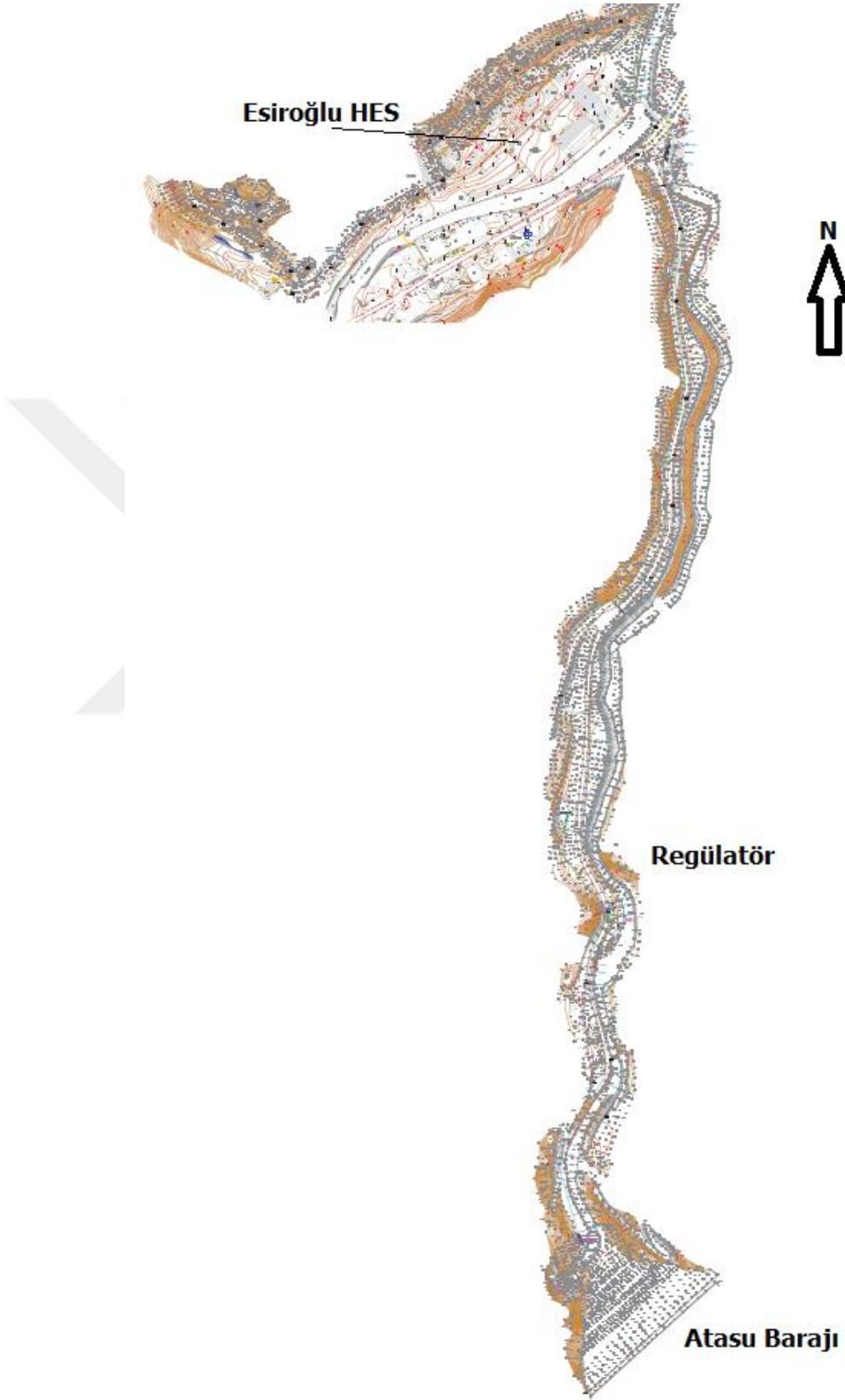
44. KARA, M. E. (2011). İzmir içmesuyu ana dağıtım sisteminde alternatif işletme seçeneklerinin belirlenmesi (Doctoral dissertation, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).
45. <https://www.tiski.gov.tr/icerik/detay.aspx?Id=3517> 12.02.2020



8. EKLER

Ek 1. O.G. Tek Hat Şeması



Ek 2. Esiroğlu HES Ana İsale Hattı Ölçümleri

Ek 3. Esiroğlu HES Hidrolik Kayıpları

a) Esiroğlu HES Giriş Izgarası Boyutlandırma ve Yük Kayıpları

Esiroğlu HES giriş izgarası boyutlandırma ve yük kayıpları Eşitlik (4) de ifade edilen formül kullanılarak hesaplanmış ve 0.0588 m olarak bulunmuştur.

$$H_{Izg} = \beta \left(\frac{s}{w} \right)^{4/3} \frac{v_2^2}{2g} \sin \alpha \quad (7)$$

- Tasarım Debisi (Q) = 1.70 m³/s
- Izgarada Su Hızı (V_{iz}) = 1.12 m/s
- Izgara Açısı (α) = 90.00 °
- Izgara Net Yüksekliği (h_{net}) = 1.40 m
- Şekil Katsayısı (β) = 0.92
- Izgara Çubuk Aralığı (w) = 0.02
- Izgara Çubuk Kalınlığı (s) = 0.01
- Çubuk Sayısı (n) = 99
- **Izgara Yük Kaybı = 0.0588 m**

b) Giriş Kaybı

Esiroğlu HES giriş kaybı miktarı hesaplanmıştır ve 0.05 m olarak bulunmuştur.

- Cebri Boru Çapı (D_p) = 1.40 m
- Cebri Boruda Su Hızı (V_p) = 1.10 m/s
- Hız Yüğü (H_v=V_p²/2g) = 0.062 m
- Giriş Kayıp Katsayısı (K_{inlet}) = 0.10 m
- **Giriş Kaybı (K_{inlet}×H_v) = 0.06 m**

c) Cebri Boru Boyunca Yük Kayıpları

Esiroğlu HES 1400mm'lik cebri boru kısmı boyunca yük kaybı miktarı hesaplanmıştır ve cebri boru yük kaybı (H_p) 0.26 m olarak bulunmuştur.

- Cebri Boru Çapı (D_p) = 1.40 m
- Cebri Boruda Su Hızı (V_p) = 1.10 m/s
- Hız Yüğü (H_v=V_p²/2g) = 0.062 m
- Cebri Boru Boyu (L_p) = 1255,53 m
- Viscosity (ν) = 1.31E-06
- Pürüzlülük (Epoxy Kaplı Boru) (k) = 5E-08 mm
- k/D = 4.17E-08
- f = 0.00395
- **Cebri Boruda Yük Kaybı (H_p) = 0.26 m**

Ek 3'ün devamı

Esiroğlu HES 1000mm'lik cebri boru kısmı boyunca yük kaybı miktarı hesaplanmıştır ve cebri boru yük kaybı (H_p) 0.238 m olarak bulunmuştur.

- Cebri Boru Çapı (D_p) = 1.00 m
- Cebri Boruda Su Hızı (V_p) = 2.164 m/s
- Hız Yüğü ($H_v=V_p^2/2g$) = 0.239 m
- Cebri Boru Boyu (L_p) = 312,06 m
- Viscosity (ν) = 1.31E-06
- Pürüzlülük (Epoxy Kaplı Boru) (k) = 5E-08 mm
- k/D = 4.17E-08
- f = 0.00395
- **1000 mm Cebri Boruda Yük Kaybı (H_p) = 0,238 m**

Cebri Borudaki Toplam Yük Kaybı (H_p) = 0,238 m + 0,26 m = 0,5 m

d) Dirsek Yük Kayıpları

Esiroğlu HES dirsek yük kayıpları Eşitlik (5) de ifade edilen formül kullanılarak hesaplanmış ve dirsekler toplam yük kaybı $H_{vb} = 0.19$ m olarak bulunmuştur.

$$H_{vb} = \left(0.15 + 0.3 \frac{D_p}{R} \right) \frac{V_p^2}{2g} \propto \frac{V_p^2}{90} \quad (8)$$

1400mm cebri boru için dirsek yük kayıpları;

- Dirsek Açıları (D) = derece
- Cebri Boru Çapı (D_p) = 1.40 m
- Cebri Boruda Su Hızı (V_p) = 1.10 m/s
- Hız Yüğü ($H_v=V_p^2/2g$) = 0.062 m
- Toplam Dirsek Yük Kayıp Katsayısı (K_{vb}) = 0.39

Cebri Boru 1400mm'lik Kısım Dirsekleri Toplam Yük Kaybı (H_{vb1}) = 0.024 m

1000mm cebri boru için dirsek yük kayıpları;

- Dirsek Açıları (D) = derece
- Cebri Boru Çapı (D_p) = 1.00 m
- Cebri Boruda Su Hızı (V_p) = 2.165 m/s
- Hız Yüğü ($H_v=V_p^2/2g$) = 0.239 m
- Toplam Dirsek Yük Kayıp Katsayısı (K_{vb}) = 0.10

Cebri Boru 1000mm'lik Kısım Dirsekleri Toplam Yük Kaybı (H_{vb1}) = 0.10 m

Cebri Boru Dirsekleri Toplam Yük Kaybı = 0,024 m + 0,10 m = 0,124 m

Ek 3'ün devamı

e) Redüksiyon Yük Kayıpları

Esiroğlu HES redüksiyon yük kaybı Eşitlik (5) ve (6) te ifade edilen formüller kullanılarak hesaplanmış ve redüksiyon yük kaybı $H_{red} = 0.02$ m olarak bulunmuştur.

$$H_{red} = \left(1 - \frac{A_r}{A_p}\right)^2 \frac{V_r^2}{2g} \quad (9)$$

- Cebri Boru Çapı (D_p) = 1.00 m
- Cebri Boruda Su Hızı (V_p) = 2.165 m/s
- Redüksiyon Boru Çapı (D_r) = 0.600 m
- Redüksiyon Su Hızı (V_r) = 6.01 m/s
- Redüksiyon Kayıp Katsayısı (K_r) = 0.20
- **Redüksiyon Yük Kaybı (H_{red}) = 0.295m**

Toplam Yük Kaybı = 1.0598 m hesaplanmıştır.

Borunun eski oluşu nedeni ile oluşacak yük kayıpları dikkate alındığında toplam yük kaybı 1,50 metre alınacaktır.

ÖZGEÇMİŞ

Sadık DERTLİ, 1970 yılında Trabzon'da dünyaya geldi. İlk ve orta öğreniminin ardından 1987 yılı Trabzon Lisesini bitirdi. Ön lisansını Karadeniz Teknik Üniversitesi, Ordu Meslek Yüksek Okulu, Elektrik bölümünde tamamladı. Pazarlamacılık, nakliyat, teknik servis gibi farklı iş alanlarında çalıştı. 1991 yılında Mülga Köy Hizmetlerine atandı. 1993-1995 yılları arasında vatani görevini tamamladı. 2001 yılı Elektrik Elektronik Mühendisliğinde Lisans mezuniyetinin ardından eğitime bir süre ara verdi. Şuan, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimine devam etmekte ayrıca Trabzon İçme suyu ve Kanalizasyon İdaresinde (TİSKİ) Enerji Şube Müdürü olarak görev yapmakta olup; evli ve 4 çocuk babasıdır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma kapsamındaki Esirođlu HES; Hazine ve Maliye Bakanlıđı Merkezi Finans ve İhale Birimi ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlıđınının ortaklařa yűrűttűđű Belediyeler İçin Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliđine Yűnelik Tedarik (EuropeAid/139703/IH/SUP/TR) kapsamında AB hibe fonlarından 2.500.000,00 EURO hibe ile desteklenmiřtir. Katkılarından dolayı Enerji ve Tabii kaynaklar Bakanlıđına, Merkezi Finans ve ihale Birimine, AB Tűrkiye Delegasyonuna, ayrıca,

Proje sűresince çeřitli konularda destek olan Bűyűkřehir Belediyesine, DSİ Genel Műdűrlűđűne; TEİAŐ'a, TEDAŐ'a, Trabzon YİKOB'a, DSİ 22. Bűlge Műdűrlűđű'ne TEMSAN'a, Maçka Belediyesine, Çoruh EDAŐ'a, labaratuvar kullanımı ve enerji verileri bařta olmak űzere projeler sűresince desteklerini yanımda hissettiđim TİSKİ'ye;

Yaklařık 10 milyon Euro'luk toplam hibe bűtesinin 2,5 milyon Euro'sunun sıfır karbon salınımlı Esirođlu HES projeye tahsis edilmesinden dolayı bařta Yűksel MALKOÇ olmak űzere Hakan Őener AKATA, Nurettin Cemil GűKPINAR, Muhammet Necip ERİM, Ahmet ANIL, Mustafa ÇALIŐKAN ve tűm emeđi geçen ETKB camiası mensublarına;

Projeyi Uluslararası Lűtfi Kırdar Kongre ve Sergi Sarayı'nda gerçekleřtirilen 10. Enerji Verimliliđi Forumu ve Fuarı'na dahil edip (<http://www.evf.gov.tr/sadik-dertli>) tűm belediye ve su-kanal idarelerine potansiyel farkındalık oluřturan, sunum yapmamızı ve bilgilerimizi paylařmamızı sađlayan Yűksel MALKOÇ ve Bilal DűZGŪN'e;

Proje ve Őartnameleri ingilizce olarak iki ayda hazırlayıp teslim ederek CFCU programına yetiřtiren Gűrdal KIRMIZI, Metin MISIRDALI ve KVM műhendislik ailesine;

Proje ve ihale sűrecinde mesai kavramını unutup sabahlara kadar alıřan CFCU alıřanları A.Damla ATALAY, Hűseyin TAN ve Can Rıza AFACAN'a;

Farklı alanlardaki kritik katkı ve desteklerinden dolayı TİSKİ camiasından Celal ŐENTŲRK, Yusuf Ziya HATIPOđLU, Seçil ORHAN, Metin BERBER, Bahadır KARAAđAçLI, Emine ŐZTŲRK AKÇAY, Demet MAZLUM, Tuđrul MEMİŐOđLU, Aysel TOKLU, Samet YILMAZ, Hatice GűKTŲRK, Volkan KAHVECİ, Őenay SARI ŐZBALIKI, Nevzat KAMILOđLU, Ahmet BAYRAKTAR, İnci ALGAN, Hakan KILINÇ, Volkan UZUN ve Neřat KURT'a;

Yapım süresince yüklemine olmayan ilave ve taleplerimizi karşılayarak mükemmel yakın tesislerin ortaya çıkmasını sağlayan Gilkes İngiltere, Sevede Mimarlık ve Gilkes Türkiye ekiplerine;

Çalışmanın yürütülmesinde her türlü desteği ile yanımda olan danışman hocam, rektörüm Prof.Dr.H.İbrahim OKUMUŞ ve Dr. Öğr. Üyesi Hakan KAHVECİ'ye;

Her türlü maddi, teknik, idari ve manevi desteği veren, başta Trabzon Büyükşehir belediye başkanımız Murat ZORLUOĞLU Genel Müdürüm Ali TEKATAŞ, Genel Müdür Yardımcılarım Yılmaz GÖRMÜŞ, Emrah ÇAYIRLI ve Muhammet MAZLUM, Daire Başkanlarım Kutluhan GÜLTEKİN, İsmail Eşref KÜLTÜR ve Ekrem UZUNALİ olmak üzere tüm idarecilerime;

Evini açıp haftalarca sabahlara kadar karşılıksız destek veren Doç Dr Cihan TOPÇU ve Şennur TOPÇU'ya

Bu uzun süreçte gösterdikleri sabır ilgi ve anlayıştan dolayı eşime ve çocuklarıma Nihayetsiz teşekkürlerimi sunarım.