

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSALE HATLARINDAN (İÇME SUYU) ELEKTRİK ÜRETİMİNİN
EKSERJETİK SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANALİZİ

BÜŞRA USTA

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. ADNAN MİDİLLİ
TEZ JÜRİLERİ
PROF. DR. HAYDAR KÜÇÜK
PROF. DR. İSMET SEZER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

RİZE-2019
Her Hakkı Saklıdır

T.C.
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSALE HATLARINDAN (İÇME SUYU) ELEKTRİK ÜRETİMİNİN
EKSERJETİK SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANALİZİ

Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ danışmanlığında Büşra USTA tarafından hazırlanan bu çalışma Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla oluşturulan jüri tarafından 19/08/2019 tarihinde Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ

Üye : Prof. Dr. Haydar KÜÇÜK

Üye : Prof. Dr. İsmet SEZER

A. Adnan Midilli
H. Küçük
İ. Sezer


Dr. Ferhat Kalaycı
Doç. Dr. Ferhat KALAYCI
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim boyunca tüm aşamalarında bilgi ve tecrübeleriyle bana bilimsel ve teknik anlamda yardımcı olan tez danışmanım Prof.Dr. Adnan MİDİLLİ' ye teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Ayrıca, veri hesaplamalarında her türlü desteği sağlayan (bu çalışma için alınan izin belgesi ekler kısmında sunulmuştur.), her koşulda desteklerini esirgemeyen iş arkadaşlarıma, RİZESU YAP-İŞ İçme Suyu Arıtma Tesisi yöneticilerine teşekkürlerimi sunarım.

Bu günlere gelene kadar her koşulda ve her şartta yanımda olup, destek olan tez çalışmam süresince bana büyük sabır gösteren, her türlü yardımlarını ve katkılarını esirgemeyen fedakâr aileme minnettarım.

Büşra USTA

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan yazılan “İsale Hatlarından (İçme Suyu) Elektrik Üretiminin Ekserjetik Sürdürülebilirlik Analizi” başlıklı bu tezin, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim. 19/08/2019

Büşra USTA

Uyarı: Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

İSALE HATLARINDAN (İÇME SUYU) ELEKTRİK ÜRETİMİNİN EKSERJETİK SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANALİZİ

Büşra USTA

**Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışmanı: Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ**

Bu tez çalışmasında, Rize ili bünyesinde merkez belediyeye ait içme suyu hatlarının ekserjetik sürdürülebilirlik analizi yapılarak isale hatlarından elektrik üretimi araştırılmıştır. Bu kapsamda sistemin i) ekserji verimi, ii) atık ekserji oranı, iii) geri kazanılabilir ekserji oranı, iv) geri kazanılamayan ekserji oranı, v) ekserji yıkım oranı, vi) çevresel etki faktörü, vii) ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi, viii) ekserjetik yararlanma oranı, ix) ekserjetik iyileştirme potansiyeli gibi parametreler tanımlanmış ve hesaplanmıştır. Bu parametreler, Rize ili bünyesinde merkez belediyeye ait isale hatlarının mevcut durumu ve mevcut hatların iyileştirilmesi durumunda elde edilecek yeni isale hatları için hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, i) Çayeli hattının mevcut elektrik üretim potansiyeli 104 kW, çevresel etki faktörü 0,40 ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi değeri 2,49 olarak belirlendi. ii) Hastane hattının enerji üretimine uygun olmadığı fakat iyileştirme yapılırsa elektrik üretim potansiyelinin 182 kW, çevresel etki faktörünün 0,37 ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi değerinin 2,68 olabileceği hesaplandı. iii) Dosma hattından mevcut durumda üç kademede elektrik üretim potansiyeli 164 kW, 144 kW ve 154 kW fakat iyileştirme yapılırsa toplam elektrik üretim potansiyelinin 493 kW, çevresel etki faktörünün 0,36 ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi değerinin 2,77 olabileceği hesaplandı. Bununla birlikte, Çorapçılar ve Küçükköy isale hatlarında, debi değerlerinin ve net düşülerinin yetersiz oluşundan dolayı elektrik üretiminin yapılamayacağı belirlenmiştir. Sonuç olarak; Rize ili bünyesinde merkez belediyeye ait mevcut içme suyu hatlarında gerekli teknik iyileştirmelerin yapılması durumunda, bu isale hatlarının ortalama 779 kW kurulu güce sahip bir santrali besleyebileceği beklenmektedir.

2019, 44 sayfa

Anahtar Kelimeler: Hidroelektrik, Termodinamik, Enerji, Ekserji, Sürdürülebilirlik

ABSTRACT

EXERGETIC SUSTAINABILITY ANALYSIS OF ELECTRICITY GENERATION FROM TRANSMISSION LINES (DRINKING WATER)

Büşra USTA

**Recep Tayyip Erdogan University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering
Master Thesis
Supervisor: Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ**

In this thesis, the exergetic sustainability analysis of drinking water transmission lines belonging to the central municipality in Rize province is performed and electricity generation from this transmission lines is investigated. In this regard, the following parameters are defined and estimated, which are i) exergetic efficiency, ii) waste exergy ratio, iii) recoverable exergy ratio, iv) unrecoverable exergy ratio, v) exergy destruction ratio, vi) environmental impact factor, vii) exergetic sustainability index, viii) eksergetic utilisation ratio, ix) exergetic improvenet potential. These parameters are estimated for the current status of the transmission lines and the new transmission lines in case the existing transmission lines are improved. As a result of the calculations, i) Çayeli line's current electricity generation potential is 104 kW, environmental impact factor is 0.40 and exergetic sustainability index value is 2.49. ii) It was calculated that the hospital line is not suitable for energy production, but if it is improved, the electricity generation potential, environmental impact factor and exergetic sustainability index can be 182 kW, 0.37 and 2.68, respectively. iii) The electricity generation potential of Dosma transmission lines are calculated to be 164 kW, 144 kW and 154 kW. The electricity generation potential, the environmental impact factor and exergetic sustainability index of Dosma transmission lines are respectively estimated to be 493 kW, 0.36 and 2.77 if the required improvements are made. However, it is determined that electricity production cannot be performed in Çorapçılar and Küçükköy transmission lines due to insufficient water flow rates and insufficient net head. Thus, if the required technical improvements are made in the existing transmission lines, it is expected that these lines will be able to feed a power plant with an installed capacity of 779 kW, on average.

2019, 44 page

Keywords: Hydropower, Thermodynamics, Energy, Exergy, Sustainability

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	II
ÖZET	III
ABSTRACT.....	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ	IX
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Hidroelektrik Santraller	2
1.3. Hidroelektrik Santral Çeşitleri.....	3
1.3.1. Depolama Yapılarına Göre	3
1.3.2. Kurulu Güçlerine Göre	3
1.3.3. Düşüye Göre.....	4
1.3.4. Ulusal Elektrik Sisteminin Yükünü Karşılama Durumuna Göre	4
1.3.5. Santral Binasının Konumuna Göre.....	4
1.4. Bir Hidrolik Santrali Oluşturan Temel Elemanlar.....	4
1.4.1. Su Deposu	4
1.4.2. Cebri Boru.....	5
1.4.3. Su Türbini.....	5
1.4.3.1. Etki Tipi Türbinler.....	5
1.4.3.2. Reaksiyon Tipi Türbinler	5
1.4.4. Jeneratör	6
1.4.5. Transformatör.....	6
1.5. Hidroelektrik Santrallerinin Çalışma Prensibi	6
1.6. İçme Suyu Hatlarından Elektrik Üretimi	6
1.7. İçme Suyu Hatlarından Elektrik Üretiminin Enerji, Çevresel ve Sürdürülebilirlik Yönleri.....	7
1.8. İçme Suyu Hatlarından Elektrik Üretiminin Ekserji ve Sürdürülebilirlik Analizinin Gereksinimi	8
1.9. İçme Suyu İsale Hatlarından Enerji Üretimi Üzerine Yapılan Çalışmalar	9
1.10. Ekserjetik Sürdürülebilirlik Analizi İle İlgili Yapılan Çalışmalar	11
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	13

2.1.	Teorik Çalışmalar	13
2.1.1.	Genel Kabuller.....	13
2.1.2.	Sistemdeki Etkili Büyüklükler	14
2.1.2.1.	Sabit Büyüklükler	14
2.1.2.2.	Ölçülebilen Büyüklükler	14
2.1.2.3.	Hesaplanabilen Büyüklükler	15
2.1.3.	İçme Suyu Kaynaklı Hidroelektrik Santralinin Çalışma Prensibi	16
2.1.4.	İçme Suyu İsale Hattı Mevcut Durumu	17
2.2.	Teorik Çalışmalar	18
2.2.1.	Güç Üretimi İçin Parametrik Hesaplamalar	18
2.2.1.1.	Boru İçerisinden Geçen Su Hızının Hesaplanması.....	18
2.2.1.2.	Sistemde Meydana Gelen Lokal (Yerel) Kayıplar	18
2.2.1.3.	Sürtünme Katsayısının (Darcy-Weisbach) Hesaplanması	19
2.2.1.4.	Sistemde Meydana Gelen Sürekli Kayıplar	19
2.2.1.5.	Sistemde Meydana Gelen Toplam Kayıplar	19
2.2.1.6.	Net Düşünün Hesaplanması	20
2.2.2.	Güç Üretiminin Ekserji Analizi.....	20
2.2.2.1.	Isı İle Ekserji Geçiş.....	20
2.2.2.2.	İş İle Ekserji Geçiş.....	20
2.2.2.3.	Kütle İle Ekserji Geçiş	21
2.2.2.4.	Kinetik Ve Potansiyel Enerji İle Ekserji Geçiş	21
2.2.2.5.	Türbine Bırakılan Maksimum Ekserji	22
2.2.2.6.	Türbine Bırakılan Net Ekserji	22
2.2.2.7.	Boru Hattında Meydana Gelen Ekserji Kayıpları	22
2.2.2.8.	Türbinden Elde Edilen Net Ekserji.....	23
2.2.2.9.	Jeneratörden Elde Edilen Net Ekserji	23
2.2.2.10.	Transformatörden Elde Edilen Net Ekserji	24
2.2.3.	Güç Üretiminin Sürdürülebilirlik Analizi	24
2.2.3.1.	Sistemin Ekserji Verimi	25
2.2.3.2.	Atık Ekserji Oranı.....	25
2.2.3.3.	Ekserji Geri Kazanabilirlik Oranı.....	26
2.2.3.4.	Geri Kazanılamayan Ekserji Oranı.....	26
2.2.3.5.	Ekserji Yıkım Oranı.....	26
2.2.3.6.	Çevresel Etki Faktörü	26

2.2.3.7. Ekserjetik Sürdürülebilirlik İndeksi.....	27
2.2.3.8. Sistemden Ekserjetik Yararlanma Oranı.....	27
2.2.3.8. Sistemin Ekserjetik İyileştirme Potansiyeli	27
3. BULGULAR	28
4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR	35
5. ÖNERİLER	38
KAYNAKLAR	39
EKLER	43
ÖZGEÇMİŞ	44



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	İçme suyu isale hattı şematik gösterimi.....	17
Şekil 2.	Dağbaşı Ana Depo-Çayeli Maslak isale hattı güzergâhı.....	29
Şekil 3.	Dağbaşı Ana Depo-Çorapçılar Depo isale hattı güzergâhı.....	29
Şekil 4.	Dağbaşı Ana Depo-Hastane Depo isale hattı güzergâhı.....	32
Şekil 5.	Dağbaşı Ana Depo-Dosma Depo isale hattı güzergâhı.....	32
Şekil 6.	Dağbaşı Ana Depo-Küçükköy Depo isale hattı güzergâhı.....	34



TABLÖLER DİZİNİ

Tablo 1.	2015 yılı Dünya geneli birincil enerji kullanımı ve Türkiye geneli elektrik üretimi.....	3
Tablo 2.	İçme Suyu Hatlarından Enerji Üretimi Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	9
Tablo 3.	Ekserjetik Sürdürülebilirlik Analizi İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	11
Tablo 4.	Sistemdeki sabit büyüklükler.....	14
Tablo 5.	Sistemdeki ölçülebilen büyüklükler.....	15
Tablo 6.	Sistemdeki hesaplanabilen büyüklükler.....	15
Tablo 7.	Dağbaşı Depo-Çayeli Maslak arası isale hattı mevcut-iyileştirilmiş durumu.....	28
Tablo 8.	Dağbaşı Depo-Çorapçılar Depo arası isale hattı mevcut iyileştirilmiş durumu.....	30
Tablo 9.	Dağbaşı Depo-Hastane Depo arası isale hattı mevcut-iyileştirilmiş durumu	31
Tablo 10.	Dağbaşı Depo-Dosma Depo arası isale hattı mevcut-iyileştirilmiş durumu	33
Tablo 11.	Dağbaşı Depo-Küçükköy Depo arası isale hattı mevcut-iyileştirilmiş durumu.....	34

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

λ	Darcy- Weisbach Sürtünme Katsayısı
π	Pi Sayısı
ρ	Suyun Yoğunluğu (kg/m ³)
ξ_l	Sistemde Oluşan Yerel Kayıplar (m)
ξ_s	Sistemde Oluşan Sürekli Kayıplar (m)
$\Sigma\xi$	Sistemde Oluşan Toplam Kayıplar (m)
D	Boru Çapı (m)
Ex	Ekserji (kW)
Ex_j^w	Jeneratörden Elde Edilen Net Ekserji (kW)
$Ex_{k,b}$	Cebri Boruda Meydana Gelen Ekserji Kayıpları (kW)
$Ex_{k,j}$	Jeneratörde Meydana Gelen Ekserji Kayıpları (kW)
$Ex_{k,t}$	Türbinde Meydana Gelen Ekserji Kayıpları (kW)
$Ex_{k,trs}$	Transformatörde Meydana Gelen Ekserji Kayıpları (kW)
Ex_m^{Hg}	Suyun Türbine Bıraktığı Maksimum Ekserji (kW)
Ex_n^{Ho}	Suyun Türbine Bıraktığı Net Ekserji (kW)
Ex_t^w	Türbinden Elde Edilen Net Ekserji (kW)
Ex_{trs}^w	Transformatörden Elde Edilen Net Ekserji (kW)
g	Yer Çekimi İvmesi (m/s ²)
H _g	Suyun Türbine Bırakıldığı Brüt Düşü Yüksekliği (m)
H _o	Suyun Türbine Bırakıldığı Net Düşü Yüksekliği (m)
HES	Hidroelektrik Santral
k _h	Hazne Çıkışı İçin Yerel Kayıp Katsayısı
k _s	Borunun Pürüz Kalınlığı (mm)
k _v	Vana İçin Yerel Kayıp Katsayısı
L	Boru Uzunluğu (m)
Q _b	Boru İçerisinden Geçen Suyun Debisi (m ³ /s)
b	Cebri Boru
j	Jeneratör
k _b	Cebri Borudaki Kayıplar
k _j	Jeneratördeki Kayıplar

k, t	Türbindeki Kayıplar
k, trs	Transformatördeki Kayıplar
l	Yerel
m	Maksimum
g	Brüt
n	Net
o	Net (Yükseklik İçin)
s	Sürekli (Üniversal)
trs	Transformatör
W	İş



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

19. yüzyıldan bu yana kullanılan fosil yakıtlar, hızlı sanayileşme ve nüfus artışına bağlı olarak kentleşme problemleri ile çevre dengesi bozulmaya başlamış; başta karbondioksit gazı olmak üzere atmosferde bulunan sera gazlarının artması ile birlikte dünyamız ısınmaya başlamış, bu etkide küresel ısınma (sera etkisi) olarak tanımlanmıştır. Sera etkisine neden olan gazlara; karbondioksit, metan, karbon monoksit, hidrokarbonlar ve klorofloro karbonlar örnek olarak verilebilir. Küresel ısınma, evrenin var olan dengesini bozduğu kabul edildiğinde toplumun her kesiminden insanı, yaşayan canlı varlıkları yakından etkiler. Bu etkileşim devam ederken aynı hızla fosil yakıt tüketiminin de devam etmesi önümüzdeki yıllar içerisinde dünya sıcaklığının daha da artacağına ve büyük felaketlere yol açacağını göstermektedir.

Daha yaşanılabilir bir dünya, temiz bir çevre ve sağlıklı yaşam standartları için temiz enerji kaynakları arayışına gidilerek fosil yakıtların kullanımı azaltılması amaçlanmıştır. Bu yenilenebilir enerji kaynağı kavramının günümüzde önemli bir yere gelmesini sağlamıştır. Yenilenebilir enerjiyi diğer enerji çeşitlerinden farklı kılan birincil özellik dış bir etkiye gerek kalmadan yenilenebilir özellikte olması ve doğada döngü içinde yer alarak kaybolmamasıdır. Ayrıca yerli kaynaklar kullanılarak üretilen bu enerji sayesinde doğaya salınan karbon gazı en aza indirgenerek hem çevrenin korunması açısından hem de ülke olarak enerjide dışa bağımlılığın azalması konusunda önem arz etmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan hidroelektrik enerjisi, ülkemizin 3 tarafının denizler ile çevrili olması, sistemin doğada su döngüsü sürecinde toprağa geri dönüştürülen suyla tekrar kullanılabilir hale gelmesi, atık madde bulunmaması diğer yenilenebilir enerji çeşitlerinden cazip kılmaktadır. Ayrıca hidroelektrik enerjinin kullanımı, enerji sarfiyatına göre ayarlanabilir. İhtiyaç duyulan enerji az ise, regülatördeki su miktarı azaltılır, ihtiyaç duyulan enerji büyük olduğunda ise su miktarı en üst düzeye çıkarılabilir. Bu nedenle, gelecekteki kullanım için daha fazla enerji tasarrufu yapılabilir.

1.2. Hidroelektrik Santraller

Hidroelektrik enerji, su da mevcut olan potansiyel enerjiyi kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle ortaya çıkan bir enerji türüdür. Suyun yükseklik farkı ile kazandığı enerji, türbin çarklarının hareket etmesini sağlamak ve elektrik enerjisi üretimi meydana gelmektedir. Hidrolik enerji suyun debisine dolayısıyla yağış rejimine bağlıdır. Bu yüzden iklim şartlarının değişimi hidroelektrik enerji için önemlidir.

Hidroelektrik santraller, diğer enerji sistemleri ile karşılaştırıldığında işletme maliyetlerinin az olması, kullanım ömrünün uzun olması ve yüksek verimle üretim yapabilme potansiyeline sahiptirler. Fakat hidroelektrik santrallerinin enerji kaynaklarının su olması, su miktarının da doğadaki döngüye bağlı olduğunu ve döngüdeki değişimlerden etkilenebileceğini göz ardı etmemek gerekir.

Hidroelektrik santrallerinin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (URL-1);

- a) Doğada döngü halinde bulunan suyun enerjisinden elde edilmesi,
- b) Sera gazı emisyonu yaratmamaları,
- c) Kullanım süresinin uzun ömürlü olması ve yakıt maliyetinin olmaması,
- d) İşletme bakım maliyetlerinin düşük olması,
- e) Bölgesel istihdam sağlaması.

Yenilenebilir enerji kaynakları geniş bir kullanım kaynaklarına sahip olmalarına rağmen, dünya genelinde sarf edilen enerji kaynaklarına bakıldığında petrol, kömür ve doğalgaz olarak sıralanmaktadır. Yenilenebilir enerji çerçevesinde yapılan yeni atılımlar ve teknolojik ilerlemeler kapsamında temiz enerji olarak da adlandırabileceğimiz yenilenebilir enerji kullanımı gün geçtikçe artmaktadır.

Türkiye’de son yıllarda yenilenebilir enerji üretiminde ve sarfiyatında artış gözlenmektedir. Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynakları kurulu gücü 2002’de 12.277 MW iken 2016’da 33.352 MW’a yükselmiştir. 2023’te ülkemizin enerji sarfiyatının 1,2 trilyon MWh olması beklenmektedir. Bu değer 252 milyar MWh’lık kısmının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması beklenmektedir (URL-2).

Tablo 1. 2015 yılı dünya geneli birincil enerji kullanımı (URL-3'den derlenmiştir.) ve Türkiye geneli elektrik üretimi (ETKB, 2016'dan derlenmiştir.)

Dünya Geneli		Türkiye Geneli	
Kaynak	Değer	Kaynak	Değer
Petrol	%33	Kömür	%32,4
Kömür	%29	Doğal Gaz	%32,4
Doğal Gaz	%24	Hidroelektrik	%26,2
Hidroelektrik	%7	Yenilenebilir	%7,6
Nükleer	%4	Diğer	%1,4
Yenilenebilir	%3		

1.3. Hidroelektrik Santral Çeşitleri

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı bilgilerine göre hidroelektrik santraller aşağıda belirtilen şekilde sınıflandırılır (URL-1).

1.3.1. Depolama Yapılarına Göre

Depolama yapılarına göre hidroelektrik santraller, rezervuar tipli ve kanal/regülatör tipli yapılar olarak 2 başlıkta toplanır. Rezervuar tipli yapılarda su depolanarak kullanılır. Burada baraj sistemi yaygın olarak kullanılır. Çünkü barajın su tutma kapasitesinden faydalanılır. Bu tür santralleri de baraj gövdesinin tipine göre; beton, beton kemer, kaya dolgu, toprak dolgulu şekilde kendi içinde sınıflandırılabilir. Kanal/regülatör tipli yapılarda ise suyun depolaması yapılmaz. Akarsuyun doğal akım kapasitesinden faydalanılır. Burada önemli olan akarsu, nehir vb. yapıların rejim miktarıdır (Yıldız, 2016).

1.3.2. Kurulu Güçlerine Göre

Kurulu güçlerine göre hidroelektrik santraller, üretim güçlerine göre sınıflandırılır. Mikro (çok küçük) ölçekli santraller maksimum 0,1 MW' e kadar, mini (küçük) ölçekli santraller 0,1 MW - 1 MW arasında, Orta ölçekli santraller 1 MW - 10 MW arası ve büyük ölçekli sistemlerinin kurulu gücü 10 MW'ın üzerinde olacak şekilde sınıflandırılırlar. Küçük kurulu güçlü santraller ulusal enerji hatlarına katkı

sağlamaktan ziyade daha çok o bölgenin, yerleşim yerinin ihtiyacını karşılamaya yöneliktir (Kaçar, 2009).

1.3.3. Düşüye Göre

Düşülerine göre santraller; düşü yükseklikleri 10 metreden az ise alçak düşülü, 10-50 metre arasında ise orta düşülü, 50 metrenin üzerinde ise yüksek düşülü olarak sınıflandırılır. Burada önemli olan diğer bir faktör ise su debisinin miktarıdır. Çünkü düşü ve debi miktarına göre seçilecek türbin cinsi değişiklik gösterebilir (Kaçar, 2009).

1.3.4. Ulusal Elektrik Sisteminin Yükünü Karşılama Durumuna Göre

Ulusal elektrik sistemine göre sistemler daha çok kullanım sürelerine göre gruplandırılırlar. Baz yüklü hidroelektrik sistemleri; devamlı %30 'un üzerinde kullanma faktörü ile enerji üreten santrallerdir. Pik yüklü hidroelektrik sistemleri ise enerjinin en çok ihtiyaç duyulduğu sürelerde çalışan santrallerdir. Kullanım faktörü %30 'un altında olabilir. Ayrıca iki sistemin birlikte kullanıldığı hem baz hem pik yüklü hidroelektrik sistemleri olabilir (URL-1).

1.3.5. Santral Binasının Konumuna Göre

Santralin kurulacağı büyüklükte alanın durumuna göre sınıflandırılan hidroelektrik sistemler; yüzeyde, yer altında, yarı gömülü şekil de konumlu hidroelektrik santraller şeklindedir. Burada önemli olan güvenlik, topoğrafya ve jeolojik yapılar ve bölgenin doğal durumudur (URL-1).

1.4. Bir Hidrolik Santrali Oluşturan Temel Elemanlar

Genel olarak hidrolik santrali oluşturan temel elemanlar su deposu, cebri boru, su türbini, jeneratör ve transformatördür (URL-4).

1.4.1. Su Deposu

Enerji üretiminde kullanılacak suyun depolanarak istenilen debide türbine gönderilmesini sağlayan kısımdır (İlbank, 2003).

1.4.2. Cebri Boru

Cebri boru, türbin ile su birikim deposu arasındaki basınçlı borudur. Hidroelektrik tesislerinde yatırımın büyük kısmı cebri borulara aittir. Bu yüzden projelendirmesinin çok iyi hesaplanması gerekir. Borular en kısa ve pratik yoldan santrale ulaşmalıdır. Çünkü cebri boruların gereğinden fazla kullanılması hem maliyeti hemde enerji kayıplarını arttırır (URL-4).

1.4.3. Su Türbini

Hidroelektrik santrallerde suyun potansiyel enerjisi önce kinetik enerjiye daha sonrada elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu dönüşümü sağlayan mekanik aksam türbinlerdir. Türbinler, suyun akış doğrultusu, suyun etki şekli ve türbin milinin durumuna göre gruplandırılabilir. Bu özelliklere göre türbinler ikiye ayrılır (Başesme, 2003).

1.4.3.1. Etki Tipi Türbinler

Etki tipi türbinlerde akışkan atmosfer basıncında işlem görür. Pelton, Banki, Turgo türbinler etki tipi türbinlere örnektir. Pelton türbinleri, 150 metrenin üzerindeki düşümler için kullanılan türbin tipidir. Turgo türbinlerin ise kullanım alanı pelton türbinlere benzer ancak daha düşük maliyet ve daha yüksek devir sayısında çalışır. Banki türbinlerin ise en önemli farkı suyun çarklarda iki kez işlem görmesidir (URL-5).

1.4.3.2. Reaksiyon Tipi Türbinler

Reaksiyon tipi türbinler suyun basıncına ve hareketline göre güç üretirler. Hareket halinde bulunan su türbinin çarkını döndürerek mekanik enerji oluşumunu artırır. Etki tipi türbinlere kıyasla daha hızlı dönerek güç üretirler. Francis, Kaplan ya da Uskur reaksiyon tipi türbinlere örnektir. Diğer bir adı nehir türbinleri olan kaplan türbinleri, yüksek debilerde düşük yükseklikle üretim sağlarlar ve 80 metre yüksekliğin altında daha verimli çalışırlar. Francis türbinleri ise 600 metredüşüye kadar çalışabilme kapasitesine sahiptirler ve pelton türbininden en büyük farkları daha küçük boyutlarda üretilibilmeleri ve daha yüksek devir sayılarına ulaşabilmeleridir (URL-5).

Francis türbinleri çok farklı hidrolik düşülerde ve su akış seviyelerinde kullanılabilen çok yönlü türbinler olmasından, ayrıca özellikle büyük ölçekli kaynaklı hidroelektrik santrallerde kullanıldığından dolayı günümüzde kullanılan en yaygın türbin çeşididir (Başışme, 2003).

1.4.4. Jeneratör

Jeneratör türbin milinde oluşan mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüşmesini sağlayan makine sistemdir. Döner kısım olan mıknatıs ve yanlarda bulunan sabit kısım sargılar aracılığı ile elektromotor kuvveti meydana gelir ve elektrik enerjisi çevrimi gerçekleşir (Berkün, 2005).

1.4.5. Transformatör

Jeneratörde oluşan düşük gerilimi yüksek gerilimli elektrik akımına dönüştürerek uzak mesafelere ekonomik olarak taşımak için kullanılan makinelerdir. Projeye uygun olarak santral binasının hemen yanında ya da şebeke bağlantısı arasında yapılabilir. 33 kW, 66 kW, 220 kW, 380 kW gibi gerilim kademeleri uygulanabilir (Berkün, 2005).

1.5. Hidroelektrik Santrallerinin Çalışma Prensipleri

Su miktarının fazla olduğu noktalara kurulan hidroelektrik santrallerin enerji üretimi için su belli bir noktada regülatörlerde (su tutma yapıları) biriktirilir. Bu biriken sular büyük miktarda potansiyel enerjiyi bünyelerinde barındırır. Su yüksek kottan bırakıldığında mevcut olan potansiyel enerji kinetik enerjiye dönüşür ve bu güç türbinlerin çarklarını döndürür. Çarklar dönünce türbinin diğer elemanları jeneratörler çalışır ve alternatif akım üretilir. Böylelikle suyun bünyesinde bulunan potansiyel enerji önce kinetiğe daha sonrada elektrik enerjisine dönüşür (URL-1).

1.6. İçme Suyu Hatlarından Elektrik Üretimi

Türkiye 2008 yılında 70,5 milyon nüfusa sahiptir ve nüfusun %1 yıllık ortalama büyüme oranı ile 2030 yılında 91 milyon ulaşması beklenmektedir (OECD, 2009).

Bu kapsamda, ekonomik büyüme ve nüfus artışı daha fazla elektrik ve su talebi getirmektedir. İçme suyu arıtma tesislerinde HES kurulumunun avantajları şu şekilde özetlenebilir (Teidaş, 2006):

- İçme suyu arıtma tesislerinde, su alma yapısı, iletim hattı kurulu haldedir ve tesise ait katı projeler mevcuttur. HES kurulumu için sadece santral binası ve elektromekanik teçhizata gerek vardır. Bu yüzden içme suyu arıtma tesislerinde kurulacak hidroelektrik santraller, normal santrallere göre maliyeti yaklaşık %55 oranında düşürecektir (Teidaş, 2006'dan derlendi).

- İçme suyu arıtma tesislerinde sürekli su geçişi olduğu için, tesislerin kapasite faktörü oldukça yüksektir. Aynı kurulu güçteki bir hidroelektrik santrallere göre, yıllık üretilen elektrik enerji miktarı yaklaşık iki kat daha fazladır (Teidaş, 2006'dan derlendi).

- İçme suyu arıtma tesislerinde sürekli olarak elektrik sarfıyatı vardır. Üretilen bu elektrik arıtma tesisinde kullanılabilir veya 5784 Nolu Kanun kapsamında Devlet'e satılabilir (Teidaş, 2006'dan derlendi).

- İçme suyu arıtma tesisleri yapılırken gerekli izinlerin alınmış olması, kamulaştırmaların yapılmış olmasından hidroelektrik santralleri kurulumunda tekrardan bu işlemlere gerek duyulmaz (Teidaş, 2006'dan derlendi).

- İçme suyu arıtma tesisleri üzerinde kurulan hidroelektrik santraller yaklaşık iki senede kendini amorti edeceğinden işleten kuruma bu süreden sonra ekonomik fayda sağlayacaktır (Teidaş, 2006'dan derlendi).

- İçme suyu arıtma tesislerinde görevli personel zaten mevcut olduğundan, tesisin işletim maliyeti çok az olacaktır (Teidaş, 2006'dan derlendi).

1.7. İçme Suyu Hatlarından Elektrik Üretiminin Enerji, Çevresel ve Sürdürülebilirlik Yönleri

Son zamanlarda artan enerji ihtiyacı, fosil yakıtların hızla tüketilmesi ve yaşanan çevre sorunları sonucunda yeni ve temiz enerji arayışları hız kazanmıştır. Bu nedenle hem yaşam standartlarını iyileştirmek hem de mevcut potansiyel yenilenebilir enerji ihtiyaçları dikkate alınarak temiz enerji üretimi sağlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmuştur.

Yenilebilir enerji kaynaklarından biri olan hidroelektrik enerji santralleri, insanların ihtiyaç duyduğu enerji miktarını rahatlıkla çevreye ve doğaya zarar vermeden üretebilir. Ülkemizdeki akarsu ve barajların kapasiteleri yağış rejimine bağlı olarak değişmektedir. Buralarda kurulan hidroelektrik santralleri de bu değişimden etkilenerek enerji üretiminde farklılıklara neden olmaktadır. Bu farklılıklar sonucunda yeni arayışlara gidildiğinde içme suyu hatlarından elektrik üretimi fikri ortaya çıkmıştır. İçme suyu arıtma tesisleri ister yüzey kaynağı ister yer altı kaynağı olsun insanların temiz su ihtiyacını karşılamak üzere kurulmuş ve sürekli işletim halinde olan tesislerdir. Bu nedenle her zaman bünyesinde gerekli debiyi bulundurmaları enerji üretimi için büyük bir olanaktır. Bunun için mevcut su hatları kullanılması, fazladan bir yapı maliyetinin olmaması, işletmenin kolay olması bu tip kurulumları cazip hale getirmiştir.

Bu sistemlerde önemli olan su iletiminin iletim yerlerine kesintisiz ulaşması ve en yüksek verimi elde edecek şekilde projelendirilmesidir. Doğru bir şekilde projelendirilen sistemler ile bu santrallerin kullanımının yaygınlaşması sürdürülebilir kalkınma ve ekonomik büyüme açısından büyük önem teşkil etmektedir.

1.8. İçme Suyu Hatlarından Elektrik Üretiminin Ekserji ve Sürdürülebilirlik Analizinin Gereksinimi

Enerji analizi termodinamiğin birinci kanunu kapsamında yapılırken, ekserji analizi termodinamiğin ikinci kanunu kapsamında yapılır. Enerji analizi sayesinde bir sistemin tasarlanıp tasarlanamayacağı ve mevcut sistemdeki tersinmezliklerin azaltılmasında hangi önlemlerin alınacağına karar vermek zordur. Bu yüzden ekserji analizine ihtiyaç duyulur (Dincer, 2002).

Ekserji analizi, termodinamiğin ikinci kanununa dayandığından, prosesteki verimsizliklerin daha iyi tespit edilmesini sağlar. Termodinamik; kimyasal, mekanik ve termal olaylar arasındaki ilişkilerin anlaşılması amacıyla geliştirilmiştir. Proseslerin ve güç tesislerinin artan karmaşık yapısı, enerji kullanımını optimum seviyede tutmak amacıyla termodinamik analize duyulan ihtiyaç artmıştır. Bundan dolayı termodinamik analiz yapılırken hem birinci kanun hem de ikinci kanun bir araya getiren metotlar uygulanır. Bu metodlar sayesinde tersinmezliklerden doğan enerji kayıpları ortaya

koyulur. Bundan dolayı ekserji analizi, tesislerin enerji kullanım proseslerin de değişimleri ortaya koymak adına en önemli metot olmuştur.

Ayrıca, bir sistemin çevreye ve kullandığı enerji kaynağına uygun olup olmadığını termodinamik bakımdan öğrenmek için ekserjetik sürdürülebilirlik analizi yapılır (Midilli, 2007).

Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı üzere bir sistemin verimliliğinin artırılabilmesi, çevresel etkilerinin belirlenmesi ve bu etkilerin azaltılması için ekserji ve sürdürülebilirlik analizlerinin yapılması gerekir.

1.9. İçme Suyu İsale Hatlarından Enerji Üretimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

İçme suyu isale hatlarından enerji üretimi ile ilgili olarak literatür araştırması yapılmıştır. Genellikle yapılan çalışmalar; hidroelektrik santraller üzerinden enerji üretimini, santrallerin termodinamik analiz yöntemleriyle karşılaştırılması veya içme suyu hatlarının kapasite ve özelliklerinin incelenmesini içermektedir.

Bu tez çalışmasında bahsi geçen konu ile ilgili tamamen uyuşan herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Tarama esnasında karşılaşılan literatür çalışmaları aşağıda sıralanmıştır.

Tablo 2. İçme Suyu Hatlarından Enerji Üretimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Çalışma Konusu	Referans	Çalışmanın Amacı
Analitik Modelleme	Onat.,1990.	Bir kontrol hacmine ekserji analizinin uygulanması ile sistemdeki tersinmezliklerin yerinin, çeşidinin ve miktarının bulunması için çeşitli sayısal örnekler üzerinde inceleme yapmıştır.
Analitik Modelleme	Erduranlı., 1997.	Bu çalışmada mevcut bir enerji santrali üzerinde, tesisten alınan gerçek işletme verileri kullanılarak enerji ve ekserji analizi yapılmıştır.

Tablo 2 (devam). İçme Suyu Hatlarından Enerji Üretimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Çalışma Konusu	Referans	Çalışmanın Amacı
Analitik Modelleme	Ayasun vd., 2004.	Çalışmada, içme suyu hattından elektrik üretim parametreleri belirlenmiş ve sayısal olarak formülize edilmiştir.
Analitik Modelleme	Demirhan., 2006.	Bu çalışmada hidrolik türbin tasarımları incelenmiş, türbinlerin karşılaştırılması yapılarak birbirlerine karşı üstün özellikleri belirlenmiştir.
Analitik Modelleme	Kaçar., 2009.	Akarsu tipli hidroelektrik santral modellemesi yapılarak sayısal dökümanlar ortaya koyulmuştur.
Uygulama Çalışmaları	Öztürk vd., 2009.	Türkiye'deki yenilenebilir kaynaklar hakkında bilgi verilmiş ve hidrolik güç santralleri üzerine yapılan enerji politikaları ile Avrupa'daki örnekleri karşılaştırmışlardır.
Uygulama Çalışmaları	Kahraman vd., 2009.	Temodinamik analiz yöntemiyle HES'lerin enerji verimliliğinin değerlendirilmesi yapılmıştır.
Analitik Modelleme	Uludağ., 2012.	Çalışmada, Türkiye'de belediye işletmesinde bulunan içme suyu barajlarının hidroelektrik potansiyelleri incelenerek analizleri yapılmıştır.
Analitik Modelleme	Çelik., 2014.	Bu çalışmada, bir havzanın hidroelektrik potansiyeli belirlenmiş ve sıralı küçük hidroelektrik santrallerde üretim planlaması incelenmiştir.
Uygulama Çalışmaları	Gergeri ve Toplamacı., 2017.	Bu çalışma, içme suyu iletim hatlarında basınçlı boruların kullanılmasıyla, iletim hatlarının özelliklerinin incelenmesini konu almıştır.

1.10. Ekserjetik Sürdürülebilirlik Analizi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Bir sistemin termodinamik bakımdan çevreye ve enerji kaynağına uyumlu olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan ekserjetik sürdürülebilirlik analizi, verimliliğin artırılması ve olumsuzluğa neden olabilecek etkilerin minimum düzeye indirilmesi için büyük önem taşımaktadır.

Yukarda açıklamadan da anlaşılacağı üzere, sistemde büyük önem arz eden ekserjetik sürdürülebilirlik analizi ile ilgili literatür taraması yapılarak, aşağıdaki tabloda sıralanmıştır.

Tablo 3. Ekserjetik Sürdürülebilirlik Analizi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Çalışma Konusu	Referans	Çalışmanın Amacı
Analitik Modelleme	Dincer ve Rosen., 1997	Bu çalışmada, ekserji ve çevresel etki arasındaki ilişki incelenerek, ekserji verimi ile çevresel etki arasındaki ilişki şekillendirilmiştir.
Analitik Modelleme	Midilli ve ark., 2005	Yapılan bu çalışma ile sürdürülebilir gelişimde yeşil enerjinin önemi vurgulanarak yeşil enerji teknolojileri için gerekli olan faktörleri belirlemiştir.
Analitik Modelleme	Rosen ve ark., 2008	Bu çalışmada ekserjinin verimlilik ve sürdürülebilirlik parametrelerine olumlu etkisi incelenmiştir.
Analitik Modelleme	Dincer ve Midilli, 2009	Bu çalışmada PEM yakıt pili üzerinden değerlendirme yapılarak ekserjetik sürdürülebilirlik parametreleri geliştirilmiş; ekserjetik verim, atık ekserji oranı, kullanılabilir atık ekserji oranı, kullanılamaz atık ekserji oranı gibi ekserjetik sürdürülebilir indeksi başlıkları ortaya çıkmıştır.

Tablo 3 (devam). Ekserjetik Sürdürülebilirlik Analizi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Çalışma Konusu	Referans	Çalışmanın Amacı
Analitik Modelleme	Küçük ve ark., 2009	Bu çalışmada kapalı devre balık yetiştiricilik sisteminin her bir ünitesinin ekserjetik performansını değerlendirmiştir.
Analitik Modelleme	Özsaban., 2009	Çalışmada, yüksek basınçlarda hidrojen depolama işleminin sürdürülebilirlik parametrelerinin detaylı bir şekilde ortaya konmuştur.
Analitik Modelleme	Onat ve Bayar., 2010	Çalışmada, güç üretim sistemlerinin sürdürülebilirlik, verim parametrelerinin maliyet etkileri incelenmiştir.
Analitik Modelleme	Midilli vd., 2012,	Bu çalışmada, Trabzon Merkez Su Ürünleri Araştırma Enstitüsünde, devridaim su ürünleri sisteminin çevresel ve sürdürülebilirlik yönleri ile ekserji parametreleri incelenmiştir.
Analitik Modelleme	Aydin vd., 2013	Bu çalışmada, bir turboprop uçağının sürdürülebilirlik performansın daha iyi anlaşılması için ayrıntılı olarak ekserji analizi incelemesi yapılmıştır.
Analitik Modelleme	Midilli ve Küçük, 2015	Bu çalışmada, tek katmanlı solar kurutma işlemi için sürdürülebilirlik parametrelerinin geliştirilerek ayrıntılı olarak değerlendirmesi yapılmıştır.
Analitik Modelleme	Ahmadi ve Toghraie., 2016	Bu çalışmada, bir güç santralinin verilerini kullanarak üretim prosesinin enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır.
Analitik Modelleme	Kaya vd., 2016	Bu çalışmada, Kerosen tipi yakıtlardan olan dodesen beslenen bir HALE İHA'sının ekserjetik sürdürülebilirlik değerlendirmesi yapılmıştır.
Analitik Modelleme	Ozsaban ve Midilli, 2016	Bu çalışmada, yüksek basınçlı hidrojen gazı sıkıştırma işleminin ekserji açısından ekolojik sürdürülebilirlik parametreleri belirlenmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Ülkemizde enerji üretim kaynağı olarak tercih edilen hidroelektrik santrallerinden elektrik üretimine farklı bir boyut kazandıracak olan içme suyu hatlarından elektrik enerjisi elde ediminin hesaplaması ve araştırılmasını konu olan bu çalışma kapsamında yapılacak olan enerji, ekserji, sürdürülebilirlik parametrelerinin belirlenmesi için kullanılacak olan analizler detaylı bir şekilde aşağıda sunulmuştur.

2.1. Teorik Çalışmalar

Bu tez çalışmasının teorik kısmında; mevcut Rize iline ait merkez sınırlarında bulunan isale hatlarının boru boyları, debileri, sistemdeki etkili büyüklükler, sistemin çalışma prensibi detaylı olarak mevcut veriler dikkate alınarak çalışılmıştır.

2.1.1. Genel Kabuller

Bu tez çalışması kapsamında, sistemde gerekli olan gücün üretilmesi için mevcut şartlar ve veriler dikkate alınarak uygun kabuller yapılmıştır. Bu kabuller aşağıda maddeler halinde listelenmiştir.

1. Rize ili Merkez ilçesi değerlendirmeye tabii tutulacağı için mevcutta bulunan isale hattının verileri; boru boyu, boru çapı, boru eğimi, hatlar arası düşü farkları, su debisi vb. parametreler ilgili kurumdan (içme suyu arıtma tesisi) temin edilmiştir.

2. Tasarımı yapılacak sistemde kullanılacak olan türbin verimi 0.90, jeneratör verimi 0.95, kavrama verimi 0.98, transformatör verimi 0.90 olarak yaygın uygulamalara göre kabul edilmiştir.

3. Sistem içindeki ara bağlantılarda meydana gelen kayıplar ihmal edilmiştir.

4. Sistemde vana kaybı dikkate alınırken vanalar tam açık pozisyonda olacak şekilde düşünülmüş ve vana için lokal kayıp katsayısı 0.5 alınmıştır. Hazne çıkış kaybı olarakta 90°'lik keskin geçiş olması halindeki durum göz önüne alınarak hazne çıkışı için lokal kayıp katsayısı 0.5 alınmıştır (Özgür, 1957).

5. Cebri borunun pürüz kalınlığı 0.05 mm kabul edilmiştir (URL-6).

6. Yer çekimi ivmesi 9.81 m/s^2 , suyun yoğunluğu ise 1000 kg/m^3 alınmıştır.

2.1.2. Sistemdeki Etkili Büyüklükler

İsale hatlarından elektrik üretimi yapabilecek şekilde tasarlanacak olan hidroelektrik santrali için gerekli enerji ve ekserji analizleri sırasında ele alınan sistemdeki etkili büyüklükler aşağıda belirtildiği üzere üç başlık altında toplanmıştır.

2.1.2.1. Sabit Büyüklükler

Tez kapsamında ele alınan sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik analizi için gerekli olan sabit büyüklükler literatürde bulunan farklı kaynaklardan derlenerek aşağıda sunulmuştur.

Tablo 4. Sistemdeki sabit büyüklükler

Sabit Büyüklük	Anlamı	Birim	Değer	Referans
k_v	Vana için lokal (yerel) kayıp katsayısı	-	0.5	(Özgür, 1957)
k_h	Hazne çıkışı için lokal (yerel) kayıp katsayısı	-	0.5	(Özgür, 1957)
k_s	Cebri borunun pürüz kalınlığı	mm	0.05	(URL-6)

2.1.2.2. Ölçülebilen Büyüklükler

Bu tez çalışması kapsamında bazı büyüklükler sabit olarak literatürden alınmış ve hesaplamalarda bu sabit büyüklükler kullanılmıştır. Fakat sabit büyüklüklerin yanı sıra, sistemin farklı noktalarında ölçülmesi gereken büyüklüklerde bulunmaktadır. Bu büyüklükler sistem hali hazırda kullanıldığı için, mevcut içme suyu sisteminden ve arıtma tesisi bünyesinde bulunan kaynaklardan alınarak belirlenmiştir. Bu değerler ölçülebilen büyüklükler başlığı altında toplanarak, aşağıda çizelgede belirtilmiştir.

Tablo 5. Sistemdeki ölçülebilen büyüklükler

Ölçülebilen Büyüklük	Anlamı	Birim	Değer
Q_b	Debi	m^3/s	0.01- 0.79 (Hıza ve çapa bağlı olarak hesaplanabilir.)
D	Cebri boru çapı	m	0.4 ve 1
L	Cebri borunun uzunluğu	m	Eğim açısına bağlı hesaplanabilir.
V	Borudan geçen suyun hızı	m/s	Debiye ve çapa bağlı olarak hesaplanabilir.
α	Cebri borunun yatayla yaptığı açı	Derece	45 ve 75
H_g	Brüt Düşü	m	70-150

2.1.2.3. Hesaplanabilen Büyüklükler

Tez çalışması dâhilinde sabit ve ölçülebilen büyüklükler kullanılarak enerji, ekserji ve sürdürülebilirlik analizleri için hesaplanacak büyüklükler aşağıda sunulmuştur.

Tablo 6. Sistemdeki hesaplanabilen büyüklükler

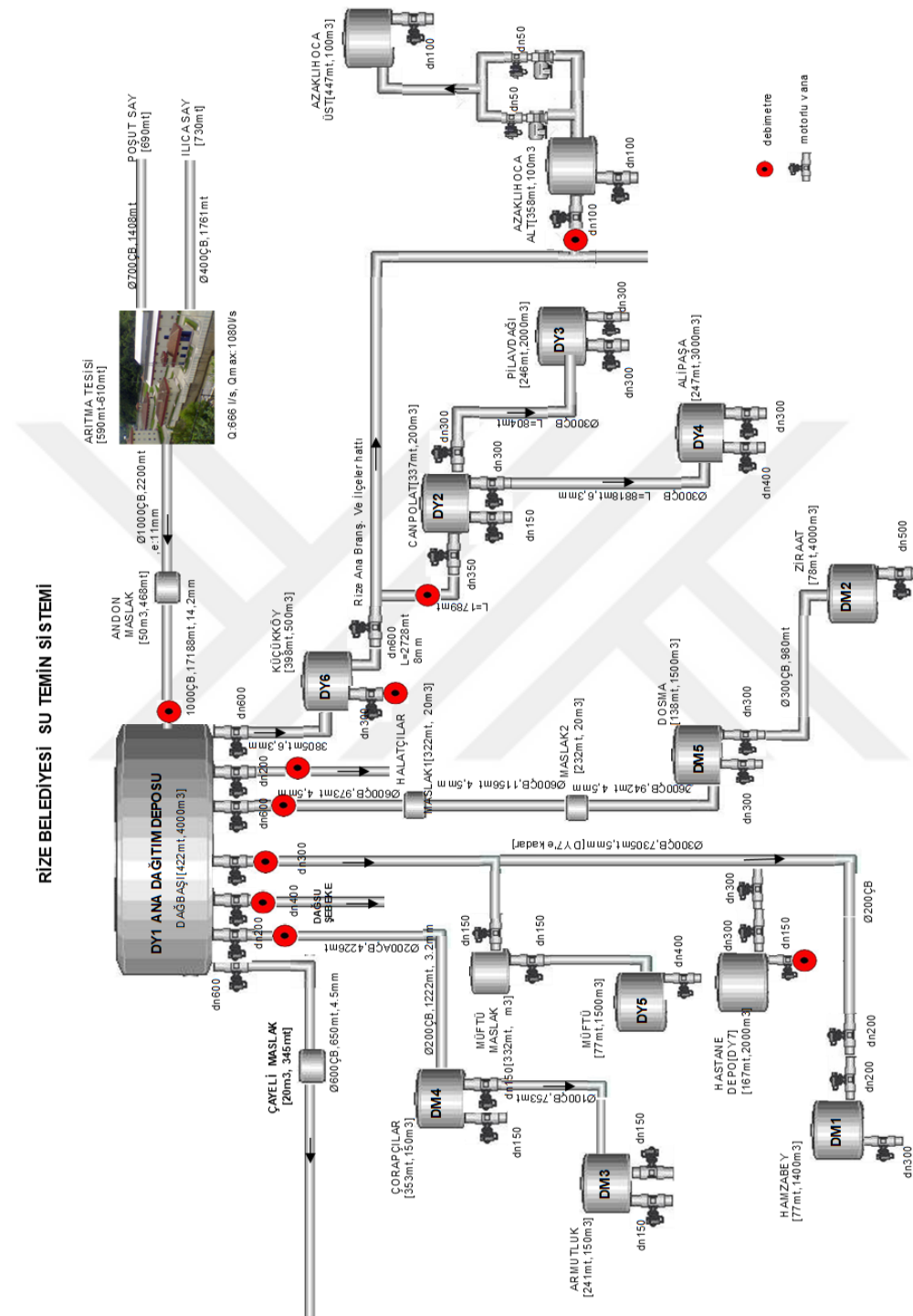
Hesaplanabilen büyüklük	Anlamı	Birim
V	Cebri borudan geçen suyun hızı	m/s
Q_b	Debi	m^3/s
A	Cebri borunun kesit alanı	m^2
L	Cebri borunun uzunluğu	m
ξ_l	Sistemde meydana gelen lokal (yerel) kayıplar	m
ξ_s	Sistemde meydana gelen sürekli kayıpları	m
$\Sigma\xi$	Sistemde meydana gelen toplam kayıplar	m
H_0	Suyun türbine bırakıldığı net düşü	m
P_n	Suyun türbine bıraktığı net güç	kW
P_t	Türbinden elde edilen net güç	kW
P_j	Jeneratörden elde edilen net güç	kW
P_{tr}	Transformatörden elde edilen net güç	kW

Tablo 6 (devam). Sistemdeki hesaplanabilen büyüklükler

Hesaplanabilen büyüklük	Anlamı	Birim
Ex_m^{Hg}	Suyun türbine bıraktığı maksimum ekserji	kW
Ex_n^{Ho}	Suyun türbine bıraktığı net ekserji	kW
$Ex_{k,b}$	Cebri boruda meydana gelen ekserji kayıpları	kW
$Ex_{k,t}$	Türbinde meydana gelen ekserji kayıpları	kW
Ex_t^w	Türbinden elde edilen net ekserji	kW
$Ex_{k,j}$	Jeneratörde meydana gelen ekserji kayıpları	kW
Ex_j^w	Jeneratörden elde edilen net ekserji	kW
$Ex_{k,trs}$	Transformatörde meydana gelen ekserji kayıpları	kW
Ex_{trs}^w	Transformatörden elde edilen net ekserji	kW
ee	Sistemin ekserji verimi	Boyutsuz
wer	Atık Ekserji Oranı	Boyutsuz
err	Ekserji Geri Kazanabilirlik Oranı	Boyutsuz
eur	Geri Kazanılamayan Ekserji Oranı	Boyutsuz
edr	Ekserji Yıkım Oranı	Boyutsuz
eif	Çevresel Etki Faktörü	Boyutsuz
esi	Ekserjetik Sürdürülebilirlik İndeksi	Boyutsuz
λ	Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı	Boyutsuz

2.1.3. İçme Suyu Kaynaklı Hidroelektrik Santralinin Çalışma Prensibi

Genel olarak kullanılan hidroelektrik santrallerden tek fark kaynak bazındadır. Nehir, akarsu vb. kaynaklar kullanılarak tasarlanan santrallerde yataktan belli kanallar vasıtasıyla biriktirilen su, debi ayarlandıktan sonra cebri borular ile türbine gönderilir. İçme suyu kaynaklı tasarımda ise boru hatları şehir şebekesini beslediği için borularda sürekli akış mevcuttur. İhtiyaç debisi veya fazlasına göre sistem tasarımı yapılır ve bu sisteme uygun olarak seçilen türbinler sayesinde suyu ekstra olarak birikim haznesinde bekletmeye gerek yoktur. Sürekli akışta belirlenen en ideal noktaya yerleştirilen türbinler sayesinde enerji üretimi yapılarak su sonrasında tekrardan şebekeye verilir.



Şekil 1. İçme suyu isale hattı şematik gösterimi (Rizesu Yap-İş, 2019'dan derlenmiştir).

2.2. Teorik Çalışmalar

Termodinamik analiz kapsamında yapılacak hesaplamalar için gerekli olan ayrıntılı hesaplamalar aşağıda belirtilmiştir. İçme suyu isale hattı şematik gösterimi (Rizesu Yap-İş, 2019'dan derlenmiştir).

2.2.1. Güç Üretimi İçin Parametrik Hesaplamalar

2.2.1.1. Boru İçerisinden Geçen Su Hızının Hesaplanması

$$V = \frac{Q_b}{A} \quad (2.1)$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (2.2)$$

D: Cebri borunun çapı (m)

V: Cebri boru içerisindeki suyun hızı (m/s)

Q_b : Cebri boru içerisindeki suyun debisi (m^3/s)

A: Cebri borunun kesit alanı (m^2)

2.2.1.2. Sistemde Meydana Gelen Lokal (Yerel) Kayıplar

Sistemdeki yerel kayıplar aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır (Çengel ve Cimbala, 2014).

$$\xi_l = \frac{k_v^2}{2g} \quad (2.3)$$

ξ_l : Sistemde meydana gelen lokal kayıplar

k_v : Lokal kayıp katsayısı (Vana kaybı için)

k_h : Lokal kayıp katsayısı (Hazne çıkış kaybı için)

g: Yer çekimi ivmesi (m/s^2)

2.2.1.3. Sürtünme Katsayısının (Darcy-Weisbach) Hesaplanması

Darcy-Weisbach sürtünme katsayısının hesaplanması için aşağıda sunulan Barr ve Colebrook-White denklemleri (Featherstone, 1995) kullanılmıştır.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left[\frac{k_s}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right] \quad (2.4)$$

Re: Reynold sayısı

k_s : Cebri borunun pürüz kalınlığı (mm)

2.2.1.4. Sistemde Meydana Gelen Sürekli Kayıplar

Sistemde meydana gelen sürekli kayıplar olarak cebri borudan geçen suyun boru cidarına sürtünmesinden dolayı meydana gelen kayıplar dikkate alınmıştır. Sistemde meydana gelen sürekli kayıplar aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır (Şekerdağ, 2016).

$$\xi_s = \frac{\lambda L v^2}{2gD} \quad (2.5)$$

ξ_s : Sistemde meydana gelen sürekli kayıplar

λ : Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı

L: Cebri borunun uzunluğu (m)

2.2.1.5. Sistemde Meydana Gelen Toplam Kayıplar

Sistemde meydana gelen lokal (yerel) ve sürekli kayıpların toplamı sistemde meydana gelen toplam kayıpları vermektedir. Dolayısıyla toplam kayıplar aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır (Berkün, 2005).

Toplam kayıplar = (Toplam lokal (yerel) kayıplar) + (Sürekli kayıplar)

$$\Sigma \xi = \Sigma \xi_l + \Sigma \xi_s \quad (2.6)$$

$\Sigma\xi$: Sistemde meydana gelen toplam kayıplar

2.2.1.6. Net Düşünün Hesaplanması

Hidrolik güç santralının tasarlanmasında kullanılan önemli kriterlerden biri de düşüdür. Brüt düşüden sistemde meydana gelen toplam kayıplar çıkarıldığı zaman net düşü elde edilir ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır (Anagnostopoulos, 2007).

Net düşü = (Brüt düşü yüksekliği) – (Toplam kayıplar)

$$H_o = H_g + \Sigma\xi \quad (2.7)$$

H_g : Suyun türbine bırakıldığı maksimum yükseklik (brüt düşü) (m)

H_o : Brüt düşüden kayıplar çıkarıldığı zaman elde edilen net düşü (m)

2.2.2. Güç Üretiminin Ekserji Analizi

Bu bölümde, genel olarak bir sistemde meydana gelen ekserji transfer mekanizmalarından bahsedilmiştir. Hidroelektrik enerji sistemlerinin ekserji analizi kısmında incelenen parametreler alt başlıklar halinde aşağıda sunulmuştur.

2.2.2.1. Isı İle Ekserji Geçişi

Mutlak sıcaklık T değerinde, belirli bir yerdeki Q ısı geçişine, daima aşağıda verilen denklemde belirtilen miktarda ekserji geçişi (Ex_{ist}) eşlik eder (Anagnostopoulos, 2007).

$$\dot{Ex}_{ist} = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \dot{Q} \quad (2.8)$$

2.2.2.2. İş İle Ekserji Geçişi

Ekserji yararlı iş potansiyelidir ve iş ile gerçekleşen ekserji geçişi aşağıda verildiği gibi tanımlanabilir. Mil işi ve elektrik işi gibi, iş ile gerçekleşen ekserji geçişi, işin kendisine eşittir (Borgnakke and Sonntag, 2007).

$$\begin{aligned}\dot{E}_{x_{i\dot{s}}} &= \dot{W} - \dot{W}_{\text{çevre}} \rightarrow (\text{Sınır işi için}) \\ \dot{E}_{x_{i\dot{s}}} &= \dot{W} \rightarrow (\text{İşin diğer şekilleri için})\end{aligned}\quad (2.9)$$

2.2.2.3. Kütle İle Ekserji Geçişi

Kütle, enerji ve entropi yanında ekserji de içerir ve bir sistemin ekserji, enerji ve entropi içeriği kütle ile orantılıdır. Aynı zamanda, sistemin içine veya dışına taşınabilen ekserji, entropi ve enerji miktarları, kütle akış miktarları ile orantılıdır ve kütle akışı ile gerçekleşen ekserji transferinin değeri aşağıdaki gibi hesaplanır (Borgnakke and Sonntag, 2007).

$$\Phi = (h-h_0) + T_0 (s-s_0) - T_0 (s_2-s_1) + (v^2/2) + (gz) \quad (2.10)$$

$$\dot{E}_{x_{\text{kütle}}} = (\dot{m} \phi) \quad (2.11)$$

2.2.2.4. Kinetik ve Potansiyel Enerji İle Ekserji Geçişi

Kinetik enerji, mekanik enerjinin bir şeklidir ve bu nedenle tamamen işe çevrilebilir. Bundan dolayı, bir sistemin kinetik enerjisinin iş potansiyeli veya ekserjisi, çevrenin sıcaklığı ve basıncı ne olursa olsun kinetik enerjinin kendisine eşittir. Aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Çengel, 2015).

$$\dot{E}_{x_{ke}} = \dot{m} ke = \left(\frac{v^2}{2} \right) \quad (2.12)$$

Burada v , sistemin bulunduğu çevreye göre göreceli hızıdır. Potansiyel enerjide, mekanik enerjinin bir şeklidir ve bu nedenle tamamen işe çevrilebilir.

Bundan dolayı, bir sistemin potansiyel enerjisinin ekserjisi, çevrenin sıcaklığı ve basıncı ne olursa olsun potansiyel enerjinin kendisine eşittir. Aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\dot{E}_{x_{pe}} = \dot{m} pe = (g z) \quad (2.13)$$

Burada g yerçekimi ivmesi, z ise sistemin bulunduğu ortamdaki referans düzlemine göre göreceli yüksekliğıdır. Böylece kinetik ve potansiyel enerjilerin ekserjileri kendilerine eşittir ve tamamen iş için kullanılabilirler (Çengel, 2015).

2.2.2.5. Türbine Bırakılan Maksimum Ekserji

Türbine bırakılan maksimum ekserji değeri olarak; suyun türbine bırakıldığı brüt düşüden elde edilebilecek ekserji değeri olup genel olarak aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanabilir (Kaçar, 2009).

$$\dot{E}_{X_m}^{Hg} = \frac{\dot{Q}_b H_g \rho g}{1000} = 9.81 \dot{Q}_b H_g \quad (2.14)$$

$\dot{E}_{X_m}^{Hg}$: Türbine bırakılan maksimum ekserji (kW)

H_g : Suyun türbine bırakıldığı maksimum yükseklik (Brüt düşü) (m)

2.2.2.6. Türbine Bırakılan Net Ekserji

Bir hidroelektrik santralde, suyun türbine bırakıldığı brüt düşüden kayıpların çıkarılmasıyla elde edilen net düşüden elde edilebilecek net ekserji aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır (Kaçar, 2009).

$$\dot{E}_{X_n}^{Ho} = \frac{\dot{Q}_b H_o \rho g}{1000} = 9.81 \dot{Q}_b H_o \quad (2.15)$$

$\dot{E}_{X_n}^{Ho}$: Suyun türbine bıraktığı net ekserji (kW)

H_o : Suyun türbine bırakıldığı net yükseklik (Net düşü) (m)

2.2.2.7. Boru Hattında Meydana Gelen Ekserji Kayıpları

Cebri boru hattında, suyun boru cidarlarına sürtünmesinden ve boru hattındaki vana, hazne çıkışı vb. elemanlardan dolayı ekserji kayıpları meydana gelmektedir. Cebri boru hattında meydana gelen ekserji kayıpları aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$\dot{E}_{X_{k,b}} = E_{X_m}^{Hg} - E_{X_n}^{Ho} \quad (2.16)$$

$\dot{E}_{X_{k,b}}$: Boru hattında meydana gelen ekserji kayıpları (kW)

2.2.2.8. Türbinden Elde Edilen Net Ekserji

Türbinden elde edilen net ekserji miktarı; suyun türbine bıraktığı net ekserji ve türbin verimi ile doğrudan ilişkilidir. Türbinden elde edilen net ekserji miktarı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$\dot{E}_{X_t}^w = \frac{\dot{Q}_b H_o \rho g \eta_t}{1000} = 9.81 \dot{Q}_b H_o \eta_t \quad (2.17)$$

$$\dot{E}_{X_t}^w = E_{X_n}^{Ho} \eta_t \quad (2.18)$$

Türbinde meydana gelen ekserji kayıpları da aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\dot{E}_{X_{k,t}} = \dot{E}_{X_n}^{Ho} - \dot{E}_{X_t}^w \quad (2.19)$$

$\dot{E}_{X_{k,t}}$: Türbinde meydana gelen ekserji kayıpları (kW)

$\dot{E}_{X_t}^w$: Türbinden elde edilen net ekserji (kW)

η_t : Türbin verimi

2.2.2.9. Jeneratörden Elde Edilen Net Ekserji

Jeneratörden elde edilebilecek net ekserji değeri, türbin tarafından jeneratöre gönderilen net ekserji ve jeneratör verimine bağlı olarak değişmektedir.

Jeneratörden elde edilen net ekserji aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\dot{E}_{X_{p,j}}^w = \frac{\dot{Q}_b \rho H_o g \eta_t \eta_j}{1000} = 9.81 \dot{Q}_b H_o \eta_t \eta_j \quad (2.20)$$

$$\dot{E}_{X_j}^w = \dot{E}_{X_t}^w \eta_j \quad (2.21)$$

Jeneratörde meydana gelen ekserji kayıpları aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır;

$$\dot{E}_{x_{k,j}} = \dot{E}_{x_t}^w - \dot{E}_{x_j}^w \quad (2.22)$$

$\dot{E}_{x_{k,j}}$: Jeneratörde meydana gelen ekserji kayıpları (kW)

$\dot{E}_{x_j}^w$: Jeneratörden elde edilen net ekserji (kW)

η_j : Jeneratör verimi

2.2.2.10. Transformatörden Elde Edilen Net Ekserji

Transformatörden elde edilen net ekserji değeri, jeneratörden transformatöre gönderilen net ekserji ve transformatör verimiyle doğru orantılı olarak değişmektedir. Transformatörden elde edilen net ekserji değeri aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$E_{x_{trs}}^w = \frac{\dot{Q}_b \rho H_o g \eta_t \eta_j \eta_{trs}}{1000} = 9.81 \dot{Q}_b H_o \eta_t \eta_j \eta_{trs} \quad (2.23)$$

$$\dot{E}_{x_{trs}}^w = E_{x_t}^w \eta_j \quad (2.24)$$

Transformatörde meydana gelen ekserji kayıpları aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır;

$$\dot{E}_{x_{k,trs}} = \dot{E}_{x_j}^w - \dot{E}_{x_{trs}}^w \quad (2.25)$$

$\dot{E}_{x_{k,trs}}$: Transformatörde meydana gelen ekserji kayıpları (kW)

$\dot{E}_{x_{trs}}^w$: Transformatörde elde edilen net ekserji (kW)

η_{trs} : Transformatör verimi

2.2.3. Güç Üretiminin Sürdürülebilirlik Analizi

İçme suyu hatlarından elektrik üretimi için gerekli olan net ekserji ihtiyacını sağlayacak şekilde termodinamik incelemesi yapılan çalışmanın enerji

sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi için aşağıdaki temel kriterler kesinlikle dikkate alınmalıdır.

- Yenilenebilir kaynaktan elektrik üretimi,
- Çevresel etki yaratmayan enerji üretim sistemi,
- Türbininden elde edilen mil işinin yenilenebilir kaynak tarafından sağlanması.

Ekserjetik sürdürülebilirlik analizini yapmadan önce sistemin ekserji analizi yapılmalıdır. İçme suyu hatlarından elektrik üretimi için projelendirilecek olan hidroelektrik santrallerin termodinamik yönleri düşünüldüğünde aşağıda sıralanan sürdürülebilirlik indikatörleri literatürden (Midilli ve Dincer, 2009; Midilli vd., 2012; Aydın vd., 2013; Midilli ve Küçük, 2015; Kaya vd., 2016; Ozsaban ve Midilli, 2016) yararlanılarak türetilabilir ve hesaplanabilir.

2.2.3.1. Sistemin Ekserji Verimi

Bir sistemin ekserji verimi en genel formda aşağıdaki gibi hesaplanır (Midilli vd., 2012; Kaya vd., 2016).

$$\text{Ekserji Verimi} = \frac{\text{Faydalı Çıktının Ekserjisi}}{\text{Toplam Ekserji Girişi}} \quad (2.26)$$

2.2.3.2. Atık Ekserji Oranı

Atık ekserji oranı aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Midilli ve Dincer, 2009; Aydın vd., 2013).

$$\text{Atık Ekserji Oranı} = \frac{\text{Toplam Ekserji Yıkımı} + \text{Toplam Ekserji Kaybı}}{\text{Toplam Ekserji Girişi}} \quad (2.27)$$

2.2.3.3. Ekserji Geri Kazanabilirlik Oranı

Ekserji geri kazanabilirlik oranı aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Midilli ve Dincer, 2009; Ozsaban ve Midilli, 2016).

$$\text{Ekserji Geri Kazanılabilirlik Oranı} = \frac{\text{Boru Hattındaki Ekserji Kaybı}}{\text{Toplam Ekserji}} \quad (2.28)$$

2.2.3.4. Geri Kazanılamayan Ekserji Oranı

Geri kazanılamayan ekserji oranı aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Midilli ve Dincer, 2009; Ozsaban ve Midilli, 2016).

$$\text{Geri Kazanılamayan Ekserji Oranı} = \frac{\text{Sistemde Meydana Gelen Toplam Ekserji Yıkımı}}{\text{Suyun Türbine Bıraktığı Toplam Ekserji}} \quad (2.29)$$

2.2.3.5. Ekserji Yıkım Oranı

Ekserji yıkım oranı aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Midilli ve Dincer, 2009; Midilli ve Küçük, 2015; Ozsaban ve Midilli, 2016).

$$\text{Ekserji Yıkım Oranı} = \frac{\text{Sistemde Meydana Gelen Toplam Ekserji Yıkımı}}{\text{Suyun Türbine Bıraktığı Toplam Ekserji}} \quad (2.30)$$

2.2.3.6. Çevresel Etki Faktörü

Çevresel etki faktörü aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Midilli ve Dincer, 2009; Aydın vd., 2013; Kaya vd., 2016).

$$\text{Çevresel Etki Faktörü} = \frac{\text{Atık Ekserji Oranı}}{\text{Sistemin Ekserji Verimi}} \quad (2.31)$$

2.2.3.7. Ekserjetik Sürdürülebilirlik İndeksi

Ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Midilli ve Dincer, 2009; Aydın vd., 2013; Kaya vd., 2016).

$$\text{Ekserjetik Sürdürülebilirlik İndeksi} = \frac{\text{Sistemin Ekserji Verimi}}{\text{Atık Ekserji Oranı}} \quad (2.32)$$

2.2.3.8. Sistemden Ekserjetik Yararlanma Oranı

Sistemden ekserjetik yararlanma oranı aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Midilli ve Dincer, 2009; Midilli ve Küçük, 2015; Ozsaban ve Midilli, 2016).

$$\text{Sistemden Ekserjetik Yararlanma Oranı} = 1 - \frac{\text{Sistemde Meydana Gelen Toplam Ekserji Yıkımı} + \text{Toplam Ekserji Kaybı}}{\text{Beklenmedik Kayıplar Sonrası Net Güç Çıkışı}} \quad (2.33)$$

2.2.3.8. Sistemin Ekserjetik İyileştirme Potansiyeli

Sistemin ekserjetik iyileştirme potansiyeli aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Midilli ve Dincer, 2009; Midilli ve Küçük, 2015; Ozsaban ve Midilli, 2016).

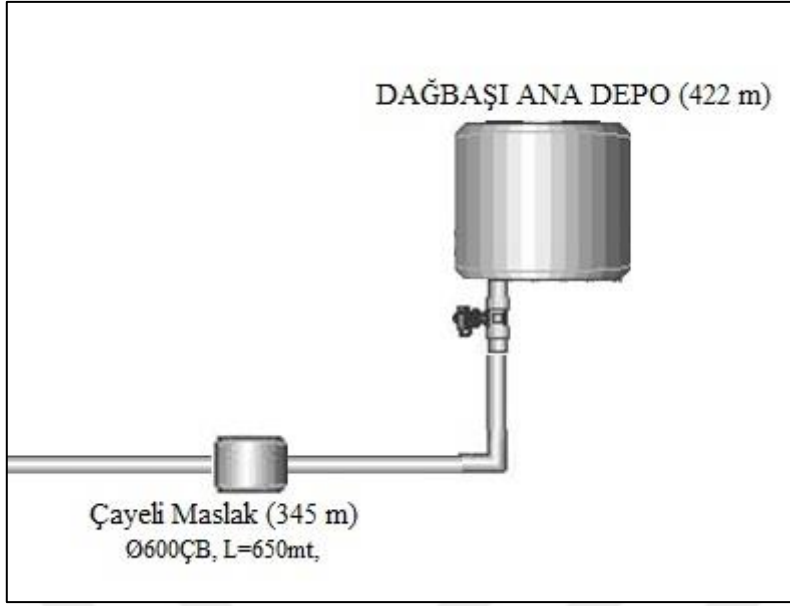
$$\text{Sistemin Ekserjetik İyileştirme Potansiyeli} = \frac{\text{Sistemin Ekserji Verimi}}{\text{Sistemden Ekserjetik Yararlanma Oranı}} \quad (2.34)$$

3. BULGULAR

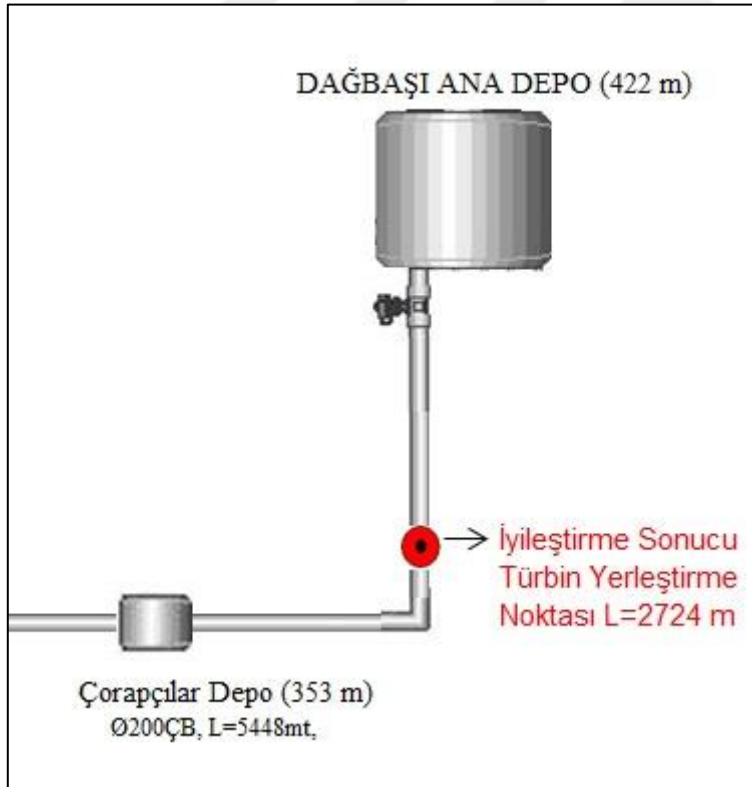
Bu tez çalışması kapsamında, mevcut isale hatları taranarak suyun gücünden yararlanarak elektrik enerjisi üretebilme potansiyelleri araştırılmış ve incelenmiştir. Bu kapsamda, 1995 yılında yapımına başlanan Rize Merkez isale hatları mevcut durumda elektrik üretimi için uygun değildir. Dolayısıyla, mevcut hatlarda teknik iyileştirmelerin yapılması durumunda bu hatlardan elektrik üretiminin yapılabileceği belirlenmiştir. Rize Merkez isale hatlarının elektrik üretim potansiyelleri bakımından mevcut durum analizi ve iyileştirme yapıldıktan sonraki durumları aşağıda tablo halinde sunulmuştur.

Tablo 7. Dağbaşı Depo–Çayeli Maslak Arası İsale Hattı Mevcut-İyileştirilmiş Durumu

Parametreler	Birim	Mevcut Durum	İyileştirilmiş Durum
Debi	m ³ /sn	0,202	
Uzunluk	m	650	
Net Düşü	m	74	
Boru Çapı	m	0,6	
Kurulu Güç	kW	104	
Suyun Türbine Bıraktığı Net Ekserji		148	
Boru Hattındaki Ekserji Kaybı		5,27	
Sistemde Meydana Gelen Toplam Ekserji Yıkımı		36,31	
Sitemin Ekserji Verimi	%	0,68	
Atık Ekserji Oranı	%	0,27	
Ekserji Geri Kazanabilirlik Oranı	%	0,03	
Geri Kazanılamayan Ekserji Oranı	%	0,24	
Ekserji Yıkım Oranı	%	0,24	
Çevresel Etki Faktörü		0,40	
Ekserjetik Sürdürülebilirlik İndeksi		2,49	
Sistemden Ekserjetik Yararlanma Oranı	%	0,60	
Sistemin Ekserjetik İyileştirme Oranı	%	0,08	
Üretilen Elektrik (20 Saatlik)	kWh	2.080	



Şekil 2. Dağbaşı Ana Depo- Çayeli Maslak İsale Hattı Güzergâhı



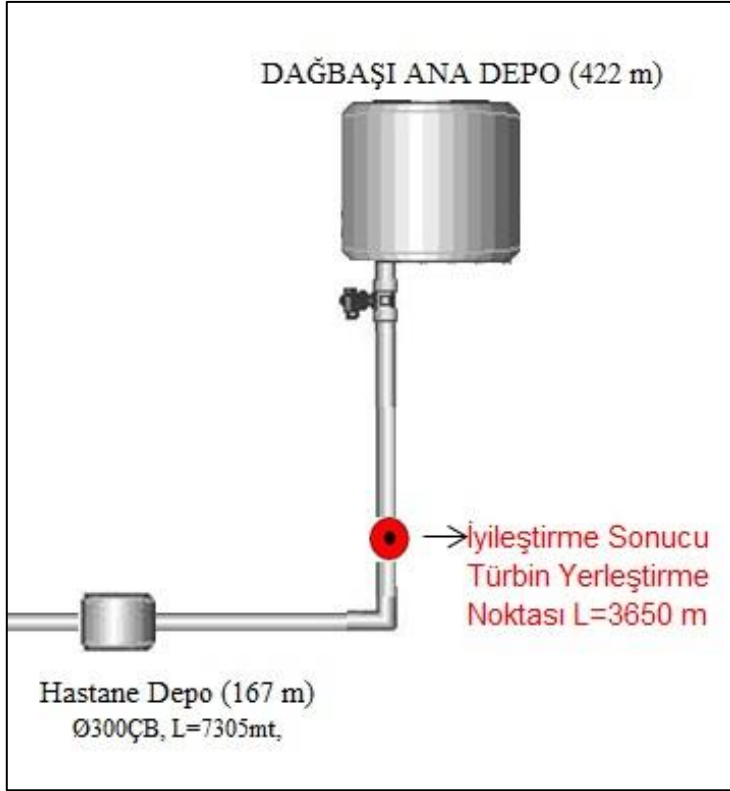
Şekil 3. Dağbaşı Ana Depo- Çorapçılar Depo İsale Hattı Güzergâhı

Tablo 8. Dağbaşı Depo–Çorapçılar Depo Arası İsale Hattı Mevcut-İyileştirilmiş Durumu

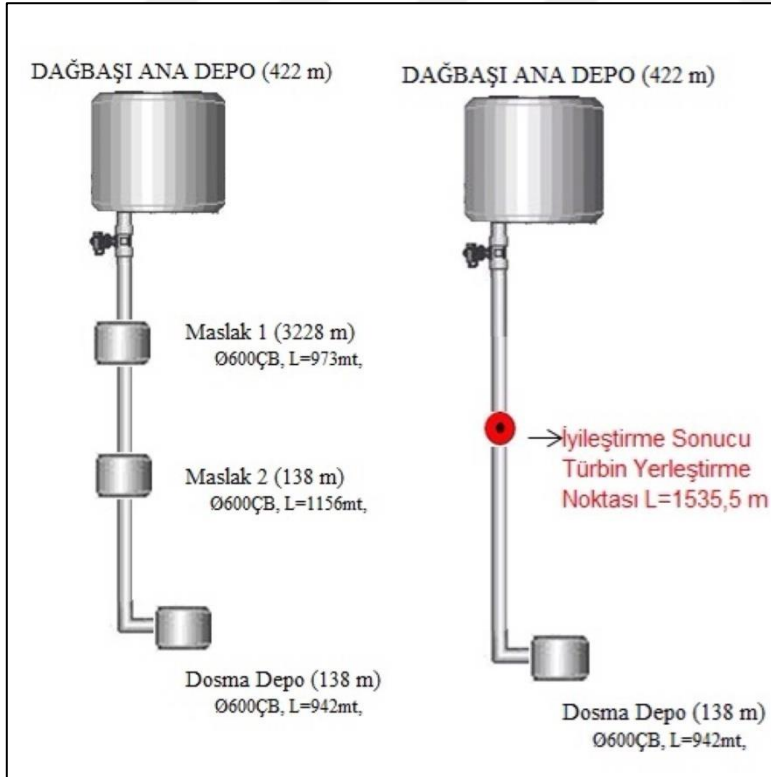
Parametreler	Birim	Mevcut Durum	İyileştirilmiş Durum
Debi	m ³ /sn	0,002	0,002
Uzunluk	m	5448	5448
Net Düşü	m	68	69
Boru Çapı	m	0,2	0,5
Kurulu Güç	kW	0,74	0,74
Suyun Türbine Bıraktığı Net Ekserji		1,05	1,05
Boru Hattındaki Ekserji Kaybı		0,01	0
Sistemde Meydana Gelen Toplam Ekserji Yıkımı		0,26	0,26
<i>Sitemin Ekserji Verimi</i>	%	0,69	0,70
<i>Atık Ekserji Oranı</i>	%	0,25	0,25
<i>Ekserji Geri Kazanabilirlik Oranı</i>	%	0,01	0,00
<i>Geri Kazanılamayan Ekserji Oranı</i>	%	0,24	0,25
<i>Ekserji Yıkım Oranı</i>	%	0,24	0,25
<i>Çevresel Etki Faktörü</i>		0,36	0,35
<i>Ekserjetik Sürdürülebilirlik İndeksi</i>		2,75	2,85
<i>Sistemden Ekserjetik Yararlanma Oranı</i>	%	0,64	0,65
<i>Sistemin Ekserjetik İyileştirme Oranı</i>	%	0,06	0,05
Üretilen Elektrik (20 Saat)	kWh	14,8	14,8

Tablo 9. Dağbaşı Depo–Hastane Depo Arası İsale Hattı Mevcut-İyileştirilmiş Durumu

Parametreler	Birim	Mevcut Durum	İyileştirilmiş Durum
Debi	m ³ /sn	0,105	0,105
Uzunluk	m	7305	3650
Net Düşü	m	---	251
Boru Çapı	m	0,3	0,6
Kurulu Güç	kW	---	182
Suyun Türbine Bıraktığı Net Ekserji		---	259,41
Boru Hattındaki Ekserji Kaybı		---	4,12
Sistemde Meydana Gelen Toplam Ekserji Yıkımı		---	63,79
<i>Sitemin Ekserji Verimi</i>	%	---	0,69
<i>Atık Ekserji Oranı</i>	%	---	0,26
<i>Ekserji Geri Kazanabilirlik Oranı</i>	%	---	0,02
<i>Geri Kazanılmayan Ekserji Oranı</i>	%	---	0,24
<i>Ekserji Yıkım Oranı</i>	%	---	0,24
<i>Çevresel Etki Faktörü</i>		---	0,37
<i>Ekserjetik Sürdürülebilirlik İndeksi</i>		---	2,68
<i>Sistemden Ekserjetik Yararlanma Oranı</i>	%	---	0,63
<i>Sistemin Ekserjetik İyileştirme Oranı</i>	%	---	0,06
Üretilen Elektrik (20 Saatlik)	kWh	---	3640



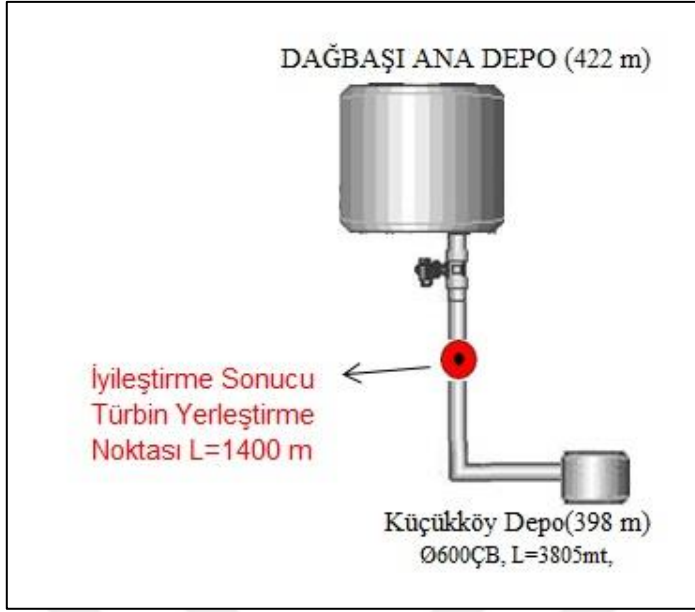
Şekil 4. Dağbaşı Ana Depo- Hastane Depo İsale Hattı Güzergâhı



Şekil 5. Dağbaşı Ana Depo- Dosma Depo İsale Hattı Güzergâhı

Tablo 10. Dağbaşı Depo–Dosma Depo Arası İsale Hattı Mevcut-İyileştirilmiş Durumu

Parametreler	Birim	Mevcut Durum			İyileştirilmiş
		Maslak 1	Maslak 2	Depo	Durum
Debi	m ³ /sn	0,254	0,254	0,254	0,254
Uzunluk	m	973	1156	942	1536
Boru Çapı	m	0,6	0,6	0,6	0,8
Net Düşü	m	94	83	88	282
Kurulu Güç	kW	164	144	154	493
Suyun Türbine Bıraktığı Net Ekserji		234	206	219	703
Boru Hattındaki Ekserji Kaybı		15,5	18,4	15,0	5,0
Sistemde Meydana Gelen Toplam Ekserji Yıkımı		57,5	50,6	53,9	172,9
<i>Sitemin Ekserji Verimi</i>	%	0,66	0,64	0,66	0,70
<i>Atık Ekserji Oranı</i>	%	0,29	0,31	0,29	0,25
<i>Ekserji Geri Kazanabilirlik Oranı</i>	%	0,06	0,08	0,06	0,01
<i>Geri Kazanulamayan Ekserji Oranı</i>	%	0,23	0,23	0,23	0,24
<i>Ekserji Yıkım Oranı</i>	%	0,23	0,23	0,23	0,24
<i>Çevresel Etki Faktörü</i>		0,45	0,48	0,45	0,36
<i>Ekserjetik Sürdürülebilirlik İndeksi</i>		2,25	2,09	2,23	2,77
<i>Sistemden Ekserjetik Yararlanma Oranı</i>	%	0,55	0,52	0,55	0,64
<i>Sistemin Ekserjetik İyileştirme Oranı</i>	%	0,10	0,12	0,10	0,06
Üretilen Elektrik (20 Saatlik)	kWh	3280	2880	3080	9860



Şekil 6. Dağbaşı Ana Depo- Küçükköy Depo İsale Hattı Güzergâhı

Tablo 11. Dağbaşı Depo-Küçükköy Depo Arası İsale Hattı Mevcut-İyileştirilmiş Durumu

Parametreler	Birim	Mevcut Durum	İyileştirilmiş Durum
Debi	m ³ /sn	0,162	0,162
Uzunluk	m	3805	1400
Boru Çapı	m	0,6	0,7
Net Düşü	m	14	22
Kurulu Güç	kW	16	25
Suyun Türbine Bıraktığı Net Ekserji		22,5	35,6
Boru Hattındaki Ekserji Kaybı		15,6	2,5
Sistemde Meydana Gelen Toplam Ekserji Yıkımı		5,54	8,76
Sitemin Ekserji Verimi	%	0,41	0,66
Atık Ekserji Oranı	%	0,55	0,29
Ekserji Geri Kazanabilirlik Oranı	%	0,41	0,06
Geri Kazanılamayan Ekserji Oranı	%	0,15	0,23
Ekserji Yıkım Oranı	%	0,15	0,23
Çevresel Etki Faktörü		1,34	0,45
Ekserjetik Sürdürülebilirlik İndeksi		0,75	2,23
Sistemin Ekserjetik Yararlanma Oranı	%	0	0,55
Sistemden Ekserjetik İyileştirme Oranı	%	0,75	0,11
Üretilen Elektrik (20 Saatlik)	kWh	320	500

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, Rize ili Merkez ilçesinin içme suyu hatları incelenerek enerji üretebilme potansiyellerine bakılmıştır. Mevcut hatlarının verileri içme suyu arıtma tesisinden alınarak gerekli termodinamik analizler yapılmış, üretim potansiyeli olmayan hatlar için iyileştirme olanakları geliştirilmiştir. Tüm sonuçlar aşağıda detaylı bir şekilde maddeler halinde belirtilmiştir.

Dağbaşı Ana Depodan Çayeli Maslağa giden hat 0,6 metre çelik boru olup 650 metre uzunluğundadır. Borudan geçen hacimsel debi miktarı $0,202 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak hesaplanmıştır. Net düşüsü 74 metredir. Yapılan işlemler sonucu hatta kurulacak hidroelektrik santralin kurulu gücü 104 kW olacağı hesaplanmıştır. Suyun türbine bıraktığı net ekserji 148 kW ve boru hattındaki ekserji kaybı 5,27 kW bulunmuştur. Ekserjetik sürdürülebilirlik analizi sonucunda, ekserji yıkımı 36,31, ekserji verimi 0,68, ekserji geri kazanılabilirliği 0,03, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2,49, sistemden ekserjetik yararlanma 0,6, sistemin ekserjetik iyileştirme oranı 0,08 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, Çayeli Maslak hattı iyileştirme yapılmasına gerek duyulmadan enerji üretimine uygundur.

Dağbaşı Ana Depodan Çorapçılar mevkiine giden hat 0,2 metre çelik boru olup 5448 metre uzunluğundadır. Borudan geçen hacimsel debi miktarı $0,002 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak belirlenmiştir. Net düşüsü 68 metredir. Bu değerler sonucunda yapılan termodinamik hesaplamalarda 0,74 kilowatt üretim yapılabileceği ortaya çıkmıştır. Suyun türbine bıraktığı net ekserji 1,05 kW ve boru hattındaki ekserji kaybı 0,01 kw bulunmuştur. Ekserjetik sürdürülebilirlik analizi sonucunda, ekserji yıkımı 0,26, ekserji verimi 0,69, ekserji geri kazanılabilirliği 0,01, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2,75, sistemden ekserjetik yararlanma 0,64, sistemin ekserjetik iyileştirme oranı 0,06 olarak hesaplanmıştır. Hat debisinin az olmasından kaynaklı elektrik enerjisi üretimi ihtiyacı karşılayabilecek düzeyde değildir. Boru çapı ya da boru uzunluğu değiştirilse dahi bu hattan enerji üretimi verimli olmayacak, yatırım masraflarını karşılayamayacaktır. Sonuç olarak, Çorapçılar hattı iyileştirme yapılsa bile enerji üretimi için uygun değildir.

Dağbaşı Ana Depodan Hastane mevkiine giden hat 0,3 metre çelik boru olup 7305 metre uzunluğundadır. Borudan geçen hacimsel debi miktarı 0,105 m³/sn olarak belirlenmiştir. Boru hattının çok uzun olması ve boru çapının küçük seçilmesi sonucunda toplam kayıplar çok yüksek çıkmış buda net düşüyü olumsuz yönde etkilemiştir. Bu hattan enerji üretiminin sağlanabilmesi için hatta iyileştirme yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda boru çapı 0,6 metreye çıkartılabilir ve boru boyu 3650 metreden maslak yardımıyla bölünebilir. Bu iyileştirme sonucunda 182 kilowattlık üretim yapılması planlanmaktadır. Suyun türbine bıraktığı net ekserji 259,41 kW ve boru hattındaki ekserji kaybı 4,12 kW bulunmuştur. Ekserjetik sürdürülebilirlik analizi sonucunda, ekserji yıkımı 63,79, ekserji verimi 0,69, ekserji geri kazanılabilirliği 0,02, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2,68, sistemden ekserjetik yararlanma 0,63, sistemin ekserjetik iyileştirme oranı 0,06 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, Hastane hattı ancak iyileştirme yapılırsa enerji üretimine uygun hale gelmektedir.

Dağbaşı Ana Depodan Dosma mevkiine giden hat 600 mm çelik boru olup toplamda 3071 metre uzunluğundadır. Borudan geçen hacimsel debi miktarı 0,254 m³/sn olarak belirlenmiştir. Şehir merkezinin büyük bir kısmını besleyen bu hattın taşıdığı debi miktarı çok fazla olup, hat çok uzun olarak projelendirilmiştir. Basınç sorununu ortadan kaldırmak amacıyla mevcut sistemde hat üzerinde iki adet maslak bulunmaktadır. Bu maslaklarda suyun debisinde herhangi bir değişiklik olmamakta sadece suyun enerjisi kırılmaktadır. Mevcut sistem üzerinde enerji üretim projelendirmesi yapılırsa; birinci bölüm olan Dağbaşı Ana depo – Dosma Maslak 1 arasında 973 metrelik hattan 164 kilowatt enerji, Dosma Maslak 1 – Dosma Maslak 2 arasında 1156 metrelik hattan 144 kilowatt enerji, Dosma Maslak 2 – Dosma Depo arasında 942 metrelik hattan ise 154 kilowatt enerji üretiminin yapılabileceği hesaplanmıştır. Bu şekilde üç ayrı noktadan enerji üretimi yapılması ekstra olarak türbin maliyetine ve yatırım maliyetlerine neden olacaktır. Zaten enerji kırması için kullanılan maslaklar ortadan kaldırılarak, hattın boru çapı 0,8 metreye yükseltip, toplamda 3071 metre uzunluğundaki boru boyu ise 1535,5 metrede konumlandırılıp işletmeye alındığında hem suyun enerjisi kırılmış olacak hemde daha fazla enerji üretimi kazancı sağlanabilecektir. Bu şekilde yapılacak bir iyileştirme sonucunda, suyun türbine bıraktığı net ekserji 703 kW ve boru hattındaki ekserji kaybı 5 kW bulunmuştur. Ekserjetik sürdürülebilirlik analizi sonucunda, ekserji yıkımı 172,9, ekserji verimi 0,7,

ekserji geri kazanılabilirliği 0,01, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2,77, sistemden ekserjetik yararlanma 0,64, sistemin ekserjetik iyileştirme oranı 0,06 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak Dosma hattından mevcut maslaklardan dolayı ayrı ayrı 164 - 114 - 154 kW enerji elde edilirken iyileştirme sonucunda maslaklar iptal edilerek hattan 703 kW enerji elde edilmesi mümkündür.

Dağbaşı Ana Depodan Küçükköy mevkiine giden hat 0,6 metre çelik boru olup 3805 metre uzunluğundadır. Borudan geçen hacimsel debi miktarı $0,162 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak belirlenmiştir. Net düşüsü 14 metredir. Bu hattan hesaplanan üretim miktarı ise 16 kilowatttır. Üretimin bu denli düşük olmasının nedeni net düşünün düşük olmasıdır. Boru boyu ve boru çapı değiştirilse bile üretim miktarı net düşüden dolayı yüksek oranda artmamaktadır. Sistemden enerji elde edimi için depo yerinin değiştirilmesi baştan projelendirilmesi gerektirir. Ayrıca bu hattın devamından ilçe belediyelerde su temini sağladığı için deponun yerinin değiştirilmesi bütün sistemin yeniden projelendirmesini gerektirmektedir. Üretim kapasitesi bu maliyeti karşılayamayacağından kaynaklı bu hat, enerji üretimine elverişli değildir. Sonuç olarak, Küçükköy hattı iyileştirme yapılsa bile elektrik üretimi olarak uygun değildir.

5. ÖNERİLER

Rize ili Merkez ilçesine ait isale hatları incelenmiş ve bu tez çalışması ortaya çıkmıştır. Yapılan çalışma doğrultusunda öncelikle mevcut sistem üzerinden bir inceleme yapılmış hatların enerji üretimi için uygunluğu kontrol edilmiştir. Bu kontrol doğrultusunda sadece bir hattın (Çayeli) mevcut sistem ile enerji üretimi yapılabileceği diğer hatlar için ise iyileştirmeler yapılması gerektiği gözlemlenmiştir.

Yapılan iyileştirmeler genel olarak boru çapı ve boru uzunluğu değiştirilerek yeniden dizayn edilmesi gerektiği görülmüştür. Bu tarz bir sistemin yeniden dizayn edilmesi pek mümkün değildir. Çünkü belediyelerin vatandaşlara kesintisiz su temini sağlama zorunluluğu vardır. Bu soruna çözüm olarakta mevcut hatlar yerine yeni hatların inşası gerçekleştirilebilir. Bunun için yeniden projelendirilmede; arazi temini, inşaat masrafları vb. etmenler göz önüne alınmalıdır. Ayrıca küresel ısınmanın doğrultusunda değişen iklim koşullarından dolayı Rize Merkez ve 9 ilçe belediyesinin su teminini sağlayan Andon İçme Suyu Arıtma Tesisinin su kaynaklarında ki azalma ve bazı mevsimsel zamanlarda debi yetersizliği problemleri de göz önüne alınmalıdır. Böyle büyük bir yatırım projelendirilmeden önce sistem bütün boyutlarıyla gözden geçirilmelidir.

KAYNAKLAR

- Ahmadi, G.R., Toghraie, D., 2016.** Energy and exergy analysis of montazeri steam power plant in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 454–463.
- Anagnostopoulos, J.S. and Papantonis, D.E., 2007.** Optimal sizing of a run-of-river small hydro power plant. *Energy Conversion and Management*, 48, 2663–2670.
- Ayasun, S., Midilli, A., Bilgil, A., 2004.** Electricity production from drinking water lines by using turbine-generator coupling. *The First Cappadocia International Mechanical Engineering Symposium*, Cappadocia, 14-16 July.
- Aydin H., Turan O., Karakoc T.H., Midilli A., 2013.** Exergo-sustainability indicators of a turboprop aircraft for the phases of a flight. *Energy Conversion and Management*, 58, 550-560.
- Bartle, A., 2002.** Hydro power potential and development activities. *Energy Policy*, 30, 1231–1239.
- Başeşme, H., 2003.** Hidroelektrik santraller ve hidroelektrik santral tesisleri, EÜAŞ Genel Müdürlüğü Hidrolik Santraller Dairesi Başkanlığı Yayınları. Ankara, Türkiye.
- Berkün, M., 2005.** Su kaynakları mühendisliği, Birsen yayınevi, 1. Baskı.
- Borgnakke, C., Sonntag, R., 2018.** Termodinamiğin temelleri, Palme yayıncılık, 8. Baskı, Güngör, A. (Ç. Ed.).
- Bostancı, N., 2005.** İçme suyu temini sistemlerinde karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri. II. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, İzmir, 21-24 Eylül, 775-785.
- Cumalı, A., 1963.** Cazibe ile gelmekte olan içme suyu isale hatlarının işletme tazyiklerine göre iktisadi çözüm tarzı. *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, No 98, 41-47.
- Çağlısoy, T., 2010.** İçme Suyu Şebekelerinde Boru Türünün Maliyete Etkisi ve İldem-Kayseri Örneği. Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Türkiye, 111 s.
- Çelik, M.A., 2004.** İçme Suyu Şebekelerinin Optimum Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, Türkiye, 40 s.
- Çengel, Y. ve Boles, M.A., 2015.** Mühendislik termodinamik yaklaşımıyla, Palme yayınevi, 7. Baskı, Pınarbaşı, A. (Ç.Ed.).
- Çengel, Y. ve Cimbala, J.M., 2014.** Akışkanlar mekaniği temelleri ve uygulamaları, Palme yayınevi, 3. Baskı, Engin, T. (Ç.Ed.).

- Dincer, I., 2002.** The role of exergy in energy policy making. *Energy Policy*, 30, 137–149.
- Dincer, I. and Rosen M., 2005.** Thermodynamic aspects of renewables and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 9, 169–189.
- Dincer, I. and Rosen M., 2004.** Effect of varying dead-state properties on energy and exergy analyses of thermal systems. *International Journal of Thermal Sciences*, 43, 121–133.
- Erduranlı, P., 1997.** Enerji Santraline Ekserji Analizinin Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi. Zonguldak Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, Türkiye, 85 s.
- Featherstone R.E. and Nalluri C., 1995.** Civil engineering hydraulics, 3rd Edition, Blackwell Science Ltd., Oxford, 399.
- Gerger, R. ve Toplamacı, M., 2017.** İçme suyu iletim hatlarında kullanılan boru tiplerinin ekonomik analizi. *HU J. of Eng.*, 71-77.
- Hooda, P.S., Edwards, A.C., Anderson, H.A., Miller, A., 2000.** A review of water quality concerns in livestock farming areas. *Science of The Total Environment*, 250(1), 143-167.
- İlbank., 2013.** İçme Suyu Tesisleri Etüt, Fizibilite ve Projelerinin Hazırlanmasına Ait Teknik Şartname. İller Bankası Anonim Şirketi, Ankara, Türkiye.
- Kaçar, O., 2009.** Akarsu Tipi Bir Hidroelektrik Santralden Güç Üretiminin Termodinamik Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, Türkiye, 78 s.
- Kahraman G., Yucel H.L., and Oztop H.F., 2009.** Evaluation of energy efficiency using thermodynamics analysis in a hydro power plant: A case study. *Renewable Energy*, 34, 1458-1465.
- Karpuzcu, M., 2005.** Su Temini ve Çevre Sağlığı, Kubbealtı Neşriyat.
- Kaya N., Turan O., Midilli A., Karakoc T.H., 2016.** Exergetic sustainability assessment of a HALE UAV using dodecene fuel. *International Journal of Exergy*, 21, 87-109.
- Küçük, H., Midilli, A., Özdemir, A., Çakmak, E. and Dincer, I., 2009.** Exergetic performance analysis of a recirculating aquaculture system. *Energy Conversion and Management*, 51, 1033 – 1043.
- Midilli, A., Dincer, I. and Ay, M., 2005.** Green energy strategies for sustainable development. *Energy policy*, 34, 3623-3663.
- Midilli A. and Dincer I., 2007.** Key strategies of hydrogen energy systems for sustainability. *International Journal of Hydrogen Energy*, 32, 511–524.

- Midilli, A. and Dincer, I., 2009.** Development of some exergetic parameters for PEM fuel cells for measuring environmental impact and sustainability. *International Journal of Hydro Genenergy*, 34, 3858 – 3872.
- Midilli, A., Kucuk, H., Dincer, I., 2012.** Environmental and sustainability aspects of a recirculating aquaculture system. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 31(4), 604-611.
- Midilli A., Kucuk H., 2015.** Assessment of exergetic sustainability indicators for a single layer solar drying system. *International Journal of Exergy*, 16: 278-292.
- Onat, N. and Bayar, H., 2010.** The sustainability indicators of power production systems. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14, 3108-3115.
- Önal, E. ve Yarbay, R., 2010.** Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli ve geleceği. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Sayı 18, s. 77-96.
- Özgür, C., 1957.** Pratik hidrolik problemleri, Teknik kitaplar yayınevi, 6. Baskı.
- Ozsaban M., Midilli A., 2016.** A parametric study on exergetic sustainability aspects of high-pressure hydrogen gas compression. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41, 5321-5334.
- Ozsaban, M., 2009.** Yüksek Basınçta Hidrojen Depolama İşleminin Termodinamik Modellenmesi ve Enerji Sürdürülebilirlik Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, Türkiye, 117 s.
- Özturk, M., Bezir, N.C. and Ozek N., 2009.** Hydro power–water and renewable energy in Turkey: Sources and Policy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 605–615.
- Öztürk, Y., 1996.** Kahramanmaraş İlinde İçme ve Kullanma Suyu İhtiyacının Tespiti. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 95 s.
- Somaraki, M., 2003.** A the sissubmitted for the degree of master in science, In *Energy System Sand the Environment, A Feasibility Study of a Combined Wind – Hydro Power Station in Greece*. University of Strathclyde Department of Mechanical Engineering, Glasgow, 88.
- Şekerdag, N., 2016.** Akışkanlar mekaniği ve hidrolik problemleri, Nobel Akademik Yayıncılık, 4. Baskı.
- Uludağ, A., 2012.** İçme Suyu Arıtma Tesislerinde Hidroelektrik Potansiyeli Değerlendirilmesinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, Türkiye, 71 s.

White, F.M., 2004. Akışkanlar mekaniği, Literatür yayınları, 4. Baskı, Ayder, E. (Ç.Ed.).

URL-1, 2019. http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/h_hidrolik_nedir.aspx (1 Ağustos 2019)

URL-2, 2019. <https://docplayer.biz.tr/26013210-2017-yili-butce-sunumu-t-c-enerji-ve-tabii-kaynaklar-bakani-sayin-dr-berat-albayrak-in-2017-yili-butcesini-tbmm-plan-ve-butce-komisyonu-na-sunusu.html> (1 Ağustos 2019)

URL-3, 2019. <https://biomasspower.gov.in/document/Reports/bp-energy-outlook-2016.pdf> (1 Ağustos 2019)

URL-4, 2019. http://www.yonenerji.com/dosyalar/hidro_elektrik.pdf, 2005. (1 Ağustos 2019)

URL-5, 2019. <https://www.muhendisbeyinler.net/hidroelektrik-santrallerde-kullanilan-turbin-tipleri/> (1 Ağustos 2019)

URL-6, 2019. <http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana58/boru.pdf> (1 Ağustos 2019)

EKLER



RIZESU YAP-IŞ BİRLİK BAŞKANLIĞI

Andon İçme Suyu Arıtma Tesisinde Çevre Mühendisi unvanı ile görev yapan; Büşra USTA 'nın yüksek lisans tezi kapsamında Andon içme suyu hatlarından elektrik üretimi konusunda parametrik çalışma yapmasında kurumumuzca bir sakınca yoktur.



ÖZGEÇMİŞ

Büşra USTA 1994 yılında Rize-Merkez’de doğdu. 2012 yılında Çayeli Ahmet Hamdi Nurzan İshakoğlu Anadolu Lisesi’ni bitirdi. Lisans eğitimini Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde tamamladı. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Eylül 2016’da yüksek lisans öğrenimine başladı ve halen bu öğrenimine devam etmektedir. Rizesu Yap-İş Andon İçme Suyu Arıtma Tesisi’inde çevre mühendisi olarak görev yapmaktadır.

