



**T.C.  
GAZİANTEP İSLAM BİLİM VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**HES'LERİN ÇALIŞMA KOŞULLARININ VERİMLİLİK  
ÜZERİNE ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Kağan KONU**

Danışman  
**Prof. Dr. Osman BİLGİN**

**GAZİANTEP**

**2024**



**T.C.**  
**GAZİANTEP İSLAM BİLİM VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**  
**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**HES'LERİN ÇALIŞMA KOŞULLARININ VERİMLİLİK**  
**ÜZERİNE ETKİLERİ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Kağan KONU**

**Danışman**  
**Prof. Dr. Osman BİLGİN**

**GAZİANTEP**  
**2024**

## TEZ KABUL ve ONAYI

Kağan KONU tarafından, Prof. Dr. Osman BİLGİN danışmanlığında hazırlanan “*HES’lerin Çalışma Koşullarının Verimlilik Üzerine Etkileri*” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından .../.. ./2023 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

| Unvanı, Adı/Soyadı Üniversitesi<br>Ana Bilim/Ana Sanat Dalı | İmza | Sonuç                                                          |
|-------------------------------------------------------------|------|----------------------------------------------------------------|
| Başkan<br>Prof. Dr. Osman BİLGİN                            |      | <input type="checkbox"/> Kabul<br><input type="checkbox"/> Ret |
| Üye                                                         |      | <input type="checkbox"/> Kabul<br><input type="checkbox"/> Ret |
| Üye                                                         |      | <input type="checkbox"/> Kabul<br><input type="checkbox"/> Ret |

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY

... / ... / ...

Dr. Öğr. Üyesi Adnan AKALIN

Lisansüstü Enstitü Müdürü

## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım yüksek lisans/doktora/sanatta yeterlik tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar 'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

.../. /2024

Kağan KONU



## ÖZET

### HES'LERİN ÇALIŞMA KOŞULLARININ VERİMLİLİK ÜZERİNE ETKİLERİ

Kağan KONU  
Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
Yüksek Lisans Ocak / 2024  
Danışman: Prof. Dr. Osman BİLGİN

Dünyada ve ülkemizde elektrik ihtiyacı ve buna bağlı olarak elektrik tüketimi her geçen yıl artmaktadır. Geçmişten günümüze enerji ihtiyacı için kullanılan fosil enerji kaynakları çevre kirliliğinin ve küresel ısınmanın artmasına sebep olmaktadır. Küresel ısınmanın artması ise canlıların yaşamlarını sürdürebilmek için gerekli olan temel yaşam kaynaklarını olumsuz yönde etkilemektedir. Dünyanın ileride de yaşanılabilir bir yer olması için enerjinin en zararsız üretilmesi gerekmektedir. Bu durumun önüne geçebilmek amacıyla elektrik üretimi için kullanılan ve küresel ısınmaya neden olan fosil enerji kaynaklarının kullanımının azaltılıp yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan hidrolik enerji kaynakları dünya üzerinde kullanımının yaygınlaşması ile enerji kaynakları içerisinde çok büyük bir önem taşımaktadır. Bu sebeple Hidrolik Santrallerde en verimli şekilde enerji üretiminin yapılması da önem arz etmektedir. Bu kapsamda bu tezde Hidrolik Santrallerin verimlilikleri nehir tipi santral olan Karkamış HES örnekleminde analiz edilmektedir. Analiz neticesinde ızgara kirliliğinin verim-debi ilişkisi ortaya konulmaktadır. Karkamış HES'in çalışma verileri MATLAB programında kullanılarak makine öğrenmesi ve ızgara kirlilik tahmin çalışması yapılmıştır. Izgara kirliliğinin önlenmesi ve ızgara kirlilik tahmin programına göre santraldeki ünitelerin çalıştırılması ile verimin artıracığı yönünde öneriler sunulmuştur.

**Anahtar Sözcükler:** HES, Verimlilik, Izgara Kirliliği

# ABSTRACT

## EFFECTS OF WORKING CONDITIONS OF HEPPS ON EFFICIENCY

Kağan KONU

Gaziantep Islam Science and Technology University

Institute of Graduate Studies

Department of Electrical and Electronics Engineering

Degree

M.A January / 2024

Supervisor: Prof. Dr. Osman BİLGİN

The need for electricity and therefore electricity consumption in the world and in our country is increasing every year. Fossil energy sources used for energy needs from past to present cause increased environmental pollution and global warming. Increasing global warming negatively affects the basic living resources required for living things to survive. In order for the world to be a livable place in the future, energy must be produced in the most harmless way. In order to prevent this situation, it is necessary to reduce the use of fossil energy resources used for electricity production, cause global warming, and increase the use of renewable energy resources instead. Hydraulic energy resources, which are among the renewable energy resources, are of great importance among energy resources as their use becomes widespread in the world. For this reason, it is important to produce energy in the most efficient way in Hydraulic Power Plants. In this context, in this thesis, the efficiencies of Hydraulic Power Plants are analyzed in the Karkamış HEPP sample, which is a river type power plant. As a result of the analysis, the efficiency-flow relationship of grid pollution is revealed. Machine learning and grid pollution prediction study was carried out by using the operating data of Karkamış HEPP in the MATLAB program. Suggestions have been made to prevent grid pollution and to increase efficiency by operating the units in the power plant according to the grid pollution forecast program.

**Keyword:** HEPP, Efficiency, Trash rack.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma enerji üretiminin kıymeti bilinerek, bu alanda emek veren biri olarak enerji üretimine sağlanabilecek katkı için hazırlanmıştır. Bu süreçte başta tecrübe ve bilgisiyle desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Osman Bilgin'e, EÜAŞ ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman destekleri ile yanımda olan anneme babama, tezimde maddi manevi büyük emeği olan sevgili eşim Fatma KONU ve oğlum Ömer Alp'e sevgi dolu şükranlarımı sunarım.



# İÇİNDEKİLER

|                                                                                        |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| TEZ KABUL ve ONAYI .....                                                               | i         |
| BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI .....                                                   | ii        |
| ÖZET .....                                                                             | iii       |
| ABSTRACT .....                                                                         | iv        |
| TEŞEKKÜR.....                                                                          | v         |
| İÇİNDEKİLER.....                                                                       | vi        |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....                                                   | vii       |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                                                  | viii      |
| TABLO LİSTESİ .....                                                                    | ix        |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>                                                                   | <b>1</b>  |
| 1.1. Enerjinin Tanımı .....                                                            | 2         |
| 1.2. Enerji Kaynakları .....                                                           | 4         |
| 1.3. Yenilenebilir enerji kaynakları .....                                             | 6         |
| 1.4. HES’ler ve Çeşitleri .....                                                        | 8         |
| 1.4.1. Hidroelektrik Santraller .....                                                  | 8         |
| 1.5. HES’lerin Çalışma Koşulları .....                                                 | 10        |
| 1.6. HES’lerde Verimlilik .....                                                        | 12        |
| <b>2. MATERYAL VE METOT .....</b>                                                      | <b>14</b> |
| 2.1. Çalışmasının Konusu .....                                                         | 14        |
| 2.2. Çalışmanın Amacı ve Önemi.....                                                    | 15        |
| 2.3. Çalışmanın Sınırları .....                                                        | 15        |
| 2.4. Literatür Çalışması.....                                                          | 15        |
| 2.5. Çalışmanın Yöntemi .....                                                          | 17        |
| <b>3. KARKAMIŞ HES ÜZERİNE VERİMLİLİK ARAŞTIRMASI.....</b>                             | <b>19</b> |
| 3.1. Karkamış HES’in Yapısı ve Özellikleri.....                                        | 19        |
| 3.1.1. Karkamış HES Ana Yapıları .....                                                 | 20        |
| 3.2. Karkamış HES’in Çalışma Koşulları .....                                           | 24        |
| 3.3. Karkamış HES’te Verim Hesapları .....                                             | 26        |
| 3.4. Karkamış HES’te Çalışma Koşullarının Verimliliğe Etkisinin Ortaya Konulması ..... | 28        |
| <b>SONUÇ ve ÖNERİLER .....</b>                                                         | <b>61</b> |
| <b>KAYNAKÇA .....</b>                                                                  | <b>64</b> |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|                     |                                              |
|---------------------|----------------------------------------------|
| cm                  | : Santimetre                                 |
| DSİ                 | : Devlet Su İşleri                           |
| EİEİ                | : Elektrik İşleri Etüt İdaresi               |
| EPDK                | : Enerji Piyasası Denetleme Kurulu           |
| EÜAŞ                | : Elektrik Üretim Anonim Şirketi             |
| GW                  | : Gigawatt                                   |
| HES                 | : Hidroelektrik Santrali                     |
| m                   | : Metre                                      |
| m/sn                | : Metre/saniye                               |
| m <sup>3</sup> /kWH | : Metreküp/ kilowatt.saat                    |
| m <sup>3</sup> /sn  | : Metreküp/saniye                            |
| m <sup>3</sup>      | : Metreküp                                   |
| mA                  | : Miliamper                                  |
| MAE                 | : Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error) |
| MATLAB              | : Matrix Laboratory                          |
| mm                  | : Milimetre                                  |
| MSE                 | : Ortalama kare hata                         |
| MW                  | : Megawatt                                   |
| R <sup>2</sup>      | : Korelasyon katsayısı                       |
| RMSE                | : Ortalama kare hata kökü                    |
| RPM                 | : devir/dakika                               |
| TEİAŞ               | : Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi     |
| YSA                 | : Yapay sinir ağı                            |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1: Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması .....                                                     | 4  |
| Şekil 2: Kullanımlarına Göre Enerji Kaynakları .....                                                      | 5  |
| Şekil 3: 2010-2050 Arası Enerji Çeşitlerinin Kullanım Oranı .....                                         | 6  |
| Şekil 4: Amerika’da Kullanılan Enerji Kaynaklarının 2010-2050 Yılları Arasındaki Değişim<br>Grafığı ..... | 7  |
| Şekil 5: Debi ve Düşüye Göre Türbin Çeşitleri.....                                                        | 10 |
| Şekil 6: Karkamış Hidroelektrik Santrali .....                                                            | 19 |
| Şekil 7: Bulp Tipi Yatay Kaplan Santralin Yandan Kesiti.....                                              | 20 |
| Şekil 8: Karkamış HES Su Alma Ağzı Izgaraları .....                                                       | 21 |
| Şekil 9: Karkamış HES Anakumanda.....                                                                     | 21 |
| Şekil 10: Karkamış HES Hız Regülatörü .....                                                               | 22 |
| Şekil 11: Karkamış HES Türbin Çarkı .....                                                                 | 22 |
| Şekil 12: Karkamış HES Türbin Çarkı .....                                                                 | 23 |
| Şekil 13: Karkamış HES Ünite Generatörü.....                                                              | 23 |
| Şekil 14: Karkamış HES Anagüç Trafosu.....                                                                | 23 |
| Şekil 15: Karkamış HES Göl Havzasındaki Yosunlar.....                                                     | 25 |
| Şekil 16: Karkamış HES Su Alma Yapısı Izgaralardan Toplanan Yosunlar .....                                | 25 |
| Şekil 17: Ü-5 Şubat Ayı Veri Analizi Grafığı 1 .....                                                      | 29 |
| Şekil 18: Ü-5 Şubat Ayı Veri Analizi Grafığı 2 .....                                                      | 30 |
| Şekil 19: Ü-5 Şubat Ayı Veri Analizi Grafığı 3 .....                                                      | 31 |
| Şekil 20: Ü-6 Haziran Ayı Veri Analizi Grafığı .....                                                      | 32 |
| Şekil 21: Ü-1 Ekim Ayı Veri Analizi Grafığı.....                                                          | 33 |
| Şekil 22: Ü-2 Eylül Ayı Veri Analizi Grafığı.....                                                         | 34 |
| Şekil 23: Ü-2 Ekim Ayı Veri Analizi Grafığı 1 .....                                                       | 35 |
| Şekil 24: Ü-2 Ekim Ayı Veri Analizi Grafığı 2 .....                                                       | 36 |
| Şekil 25: Ü-3 Temmuz Ayı Veri Analizi Grafığı.....                                                        | 37 |
| Şekil 26: Ü-4 Temmuz Ayı Veri Analizi Grafığı.....                                                        | 38 |
| Şekil 27: Ü-2 Temmuz Ayı Veri Analizi Grafığı.....                                                        | 39 |
| Şekil 28: Ü-6 Temmuz Ayı Veri Analizi Grafığı.....                                                        | 40 |
| Şekil 29: Ü-6 Ağustos Ayı Veri Analizi Grafığı.....                                                       | 41 |
| Şekil 30: Karkamış HES Ü-4 ve Ü-5 Üretimi esnasından SCADA’dan Anlık Görüntü .....                        | 41 |
| Şekil 31: Karkamış HES Ü-5 Üretimi Düşü Güç Grafığı .....                                                 | 44 |
| Şekil 32: Karkamış HES Ü-5 Üretimi Debi Grafığı.....                                                      | 45 |
| Şekil 33: Karkamış HES Ü-5 Üretimi Kirlilik Grafığı .....                                                 | 45 |
| Şekil 34: Karkamış HES Ü-1 Model 1 Çalışma Grafığı .....                                                  | 47 |
| Şekil 35: Karkamış HES Ü-2 Model 1 Çalışma Grafığı .....                                                  | 49 |
| Şekil 36 : Karkamış HES Ü-3 Model 1 Çalışma Grafığı .....                                                 | 51 |
| Şekil 37 : Karkamış HES Ü-4 Model 1 Çalışma Grafığı .....                                                 | 53 |
| Şekil 38: Karkamış HES Ü-5 Model 1 Çalışma Grafığı .....                                                  | 56 |
| Şekil 39: Karkamış HES Ü-6 Model 1 Çalışma Grafığı .....                                                  | 58 |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 1: Karkamış Hes Genel Bilgileri .....                         | 20 |
| Tablo 2: Ü-5 Şubat Ayı Veri Analizi Örnek 1 .....                   | 28 |
| Tablo 3: Ü-5 Şubat Ayı Veri Analizi Örnek 2 .....                   | 29 |
| Tablo 4: Ü-5 Şubat Ayı Veri Analizi Örnek 3 .....                   | 30 |
| Tablo 5: Ü-6 Haziran Ayı Veri Analizi Örnek 1 .....                 | 31 |
| Tablo 6: Ü-1 Ekim Ayı Veri Analizi Örnek 1 .....                    | 32 |
| Tablo 7: Ü-2 Eylül Ayı Veri Analizi Örnek 1 .....                   | 33 |
| Tablo 8: Ü-2 Eylül Ayı Veri Analizi Örnek 1 .....                   | 34 |
| Tablo 9: Ü-2 Ekim Ayı Veri Analizi Örnek 1 .....                    | 35 |
| Tablo 10: Ü-3 Temmuz Ayı Veri Analizi Örnek 1 .....                 | 36 |
| Tablo 11: Ü-4 Temmuz Ayı Veri Analizi Örnek 1 .....                 | 37 |
| Tablo 12: Ü-5 Temmuz Ayı Veri Analizi Örnek 1 .....                 | 38 |
| Tablo 13: Ü-6 Temmuz Ayı Veri Analizi Örnek 1 .....                 | 39 |
| Tablo 14: Ü-6 Ağustos Ayı Veri Analizi Örnek 1 .....                | 40 |
| Tablo 15: Ü-5 ve Ü-4 Şubat Ayı Veri Analizi Örnek 1 .....           | 41 |
| Tablo 16: Ünite 5 2 Saatlik Üretiminin Dakikalık Verileri .....     | 42 |
| Tablo 17 : Ünite 1 Veri Setleri ile Yapılan Çalışma Sonuçları ..... | 48 |
| Tablo 18: Ünite 2 Veri Setleri ile Yapılan Çalışma Sonuçları .....  | 50 |
| Tablo 19: Ünite 3 Veri Setleri ile Yapılan Çalışma Sonuçları .....  | 51 |
| Tablo 20: Ünite 4 Veri Setleri ile Yapılan Çalışma Sonuçları .....  | 54 |
| Tablo 21: Ünite 5 Veri Setleri ile Yapılan Çalışma Sonuçları .....  | 56 |
| Tablo 22: Ünite 6 Veri Setleri ile Yapılan Çalışma Sonuçları .....  | 58 |

# 1. GİRİŞ

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan hidrolik enerjinin kullanımında suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüşmesi prosesine ve bu prosesteki tüm kayıplara neden olan durumlara değinilecektir. Sonrasında Karkamış HES örnekleminde bu durumlar incelenip kirlilik faktörünün ayrıntılı analizi yapılacaktır. Bu analizde; üretimdeki verim, debi üzerinden ele alınarak verimin kirlilikle olan ilişkisi ortaya konulacaktır. Literatürde HES’lerde verimliliği ele alan birçok çalışma mevcuttur. Ülkemizde yapılan çalışmalarda suyun mevsimsel olarak tahmini ile birlikte üretilecek enerji verimi tahmini, iklimsel değışikliklerin verime etkisi, çalışma koşullarının veri olarak girilip verimlilik tahmininin yapılması, cebri boru çeşitleri ile verim ilişkisi, üretimin haftalık- aylık rezervuar durumuna göre planlanması, kaplan türbinlerde verimlilik çalışmaları dolayısı ile genellikle su havzası düşü ilişkisi durumunu konu alan çalışmalar görölmektedir. Yabancı ölkelerde yapılan çalışmalarda ızgara kirliliğinin hem deneysel olarak hem de gerçek uygulamalı olarak ölçüldüğü çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda ızgara tasarımı, kirliliğin akışa ve düşüye etkisi üzerinden verimlilik çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada da HES’lerdeki çalışma koşullarından ızgara kirlilik faktörünün üretim verimliliğine etkisinin analizi yapılacaktır. Bu bağlamda Karkamış HES özelinde yapılan bu çalışma kirlilik problemi yaşayan diğler santrallere ve kirlilik verim analizi yapacak diğler çalışmalara katkı sağlaması düşünölmektedir.

Nehir tipi santraller üzerinden Karkamış HES özelinde kirliliğin çalışmaya etkisi analiz edilecektir. Bu analizde her ünitenin çalışma verileri benzer koşullarda kıyaslanmıştır. Santral ızgara kirliliğinin enerji üretim verimine etkisi debi üzerinden incelenmiştir. Debi verisinin kirlilik ile ilişkisi ortaya konmuştur. Bu veriler ışığında yapay sinir ağıları ile çalışma verileri alınarak kirlilik değlerleri tahmin edilecek şekilde makine öğrenmesi çalışılmıştır. Bu çalışmada MATLAB programı kullanılmıştır. Programda birden çok modelle çalışılmıştır. Kirlilik tahminleri her ünite için ayrı ayrı elde edilmiş olup sonuç ve bulgular değlendirilmiştir. Kirlilik tahminlerine göre yapılacak üretim ile ünite çalışmalarının daha verimli olmasını amaçlanmaktadır. Ayrıca kirliliğe neden olan kaynaklarının tespiti yapılmıştır. Bu analiz çerçevesinde ortaya çıkan kaynakların doğal ve beşeri olarak çözümleri ile alakalı yapılmış çalışmalar araştırılmıştır. Bu araştırmalar çerçevesinde tüm kirlilik kaynaklarının Karkamış HES’e verebileceği zararları engellemek için çözüm önerileri sunulmuştur. Bu kirliliği

engelleyecek önlemlerin alınması ile hem Karkamış HES için hem de benzer santrallere ızgara kirliliğinin en aza indirgenmesinin çözüm olabileceği düşünülmüştür.

### **1.1. Enerjinin Tanımı**

Enerji var oluşun temel taşıdır. Tüm canlı ve cansız varlıkların hepsinin bir enerjisi vardır. Enerjisi biten ya da olmayan şeylerin varlığı sona ermektedir. Pamir enerjiyi, eski Yunan dilindeki karşılığı olarak işe dönüştürülen şey anlamında kullanmaktadır. Fizikteki kullanımı ile enerji, bir fiziksel sistemin ne kadar iş yapabileceğini ya da ne kadar ısı değiş tokuşu yapabileceğini göstermektedir (Pamir, 2017: 36). Bu bağlamda fizikte enerji bir “güç” tür ve bir hareketin başlaması için mutlaka bir “güç”e ihtiyaç vardır.

Tüm maddenin yapısında, belli bir miktar enerji, iş yapabilecek güç vardır. Bu güç bir iş yapmıyorsa, potansiyel enerji enerji olarak nitelendirilir. Maddenin özündeki bu gizli gücü yanma, düşme, sürtme, sürtünme veya benzer bir fiziksel ya da kimyasal olay neticesinde açığa çıkarmak ve bu güçten faydalanarak, iş yapabiliriz. Maddelerin yapısındaki bu durağan veya potansiyel enerjinin temel kaynağını, güneş oluşturmaktadır. Çünkü herhangi bir biyolojik, jeolojik, fizyolojik, fiziksel veya kimyasal olay ile güneşten çıkan radyasyon, maddelerin yapısında birikmiş ve zamanla dönüşüme uğrayarak, potansiyel bir güç durumuna gelmiştir (Coşkun,O & Doğanay,H,2020). Doğadaki tüm varlıkların bir enerjisi vardır. Enerjisi dönüştürülüp kullanılabilen maddeler ise enerji kaynakları olarak adlandırılmaktadır. Bu enerji kaynakları iş için gerekli diğer enerji kaynaklarına dönüştürebilir. “Kesinlikle maddelerin yapısında, potansiyel enerji bulunmaktadır. Ancak, maddelerin tümünden içerisindeki potansiyel enerjiyi dönüştürerek ekonomik olarak kinetik enerji elde edemeyeceğimizi aşıkardır. Enerji kaynaklarının bazılarında ekonomik olacak şekilde enerji üretilebilir” Coşkun,O & Doğanay,H,2020:2) Böylece enerji ile fizik kuralları dahilinde akla gelebilecek tüm işler gerekli makineler aracılığı ile yapılabilir. Nitekim insan günümüzde neredeyse tüm işlerini enerji kaynağı olduğu sürece yaptırabilecek bir kabiliyete sahiptir. Ancak enerji kaynağının olmadığı veya kullanılmadığı yerde bu kabiliyetlerin hiçbir manası kalmamaktadır. Bu sebeple geçmişte olduğu gibi bugünde insanoğlu enerjiye ulaşmak için çabalamaktadır. Günümüzde bilgi kaynaklarının ve ulaşılabilirliğin fazla olması enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi, enerji üretiminin ve enerji tüketiminin de daha verimli ve çevreci yapılmasının önünü açmıştır. Enerji

kaynaklarının çeşitlenmesi ve kullanımının artmasına bağlı olarak enerji kaynaklarının yaşama etkisi, çevreye etkisi ve insanlara faydası tespit edilebilir hale gelmiştir.

Enerji insan yaşamında olmazsa olmaz olgulardan biridir. Fakat bununla birlikte enerji ve enerjiye bağlı olarak ortaya çıkan çevre sorunları da her geçen gün artmaktadır. Kullanılan enerjilerin çevreye olan zararlılarını tamamen yok etmek ya da azaltmak oldukça önemlidir. Gelişmiş ülkelerde enerji kullanımının çevreye olan olumsuz etkisi diğer azgelişmiş ülkelere nazaran oldukça fazladır. Bu durumda her bir enerji doğada bulunan bir döngünün veya maddenin kullanılması ile üretildiğinden az ya da çok düzeni bozmaktadır. Burada dünya düzenine olan etkinin en aza indirilmesi fayda sağlayacaktır (Doğan, 2011:37)

Enerji yaşamı kolaylaştırmak, konforlu hale getirmek ve güçlü olabilmek için kullanılabilir. İnsanoğlu da hayatını düzenini ve amaçlarını bu doğrultuya koyduğu için enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Buradan bakıldığında toplumların enerji kaynaklarına ulaşmak, üretmek, dönüştürmek ve kullanılabilir hale getirmek en önemli amaçlarındandır. Ülkeler, bu hedef için yarışacak, çalışacaktır. Çünkü enerjiyi elinde tutan gücü de eline almış demektir. Bu sebeple enerji, dünyaya yön veren politikaların savaşların ve gelecek planlarının en önemli argümanı olmuştur. Enerji kaynaklarını doğru-verimli kullanamayan, enerji üretemeyen ülkeler bağımlı olmuş ve ağır bedeller ödemektedir.

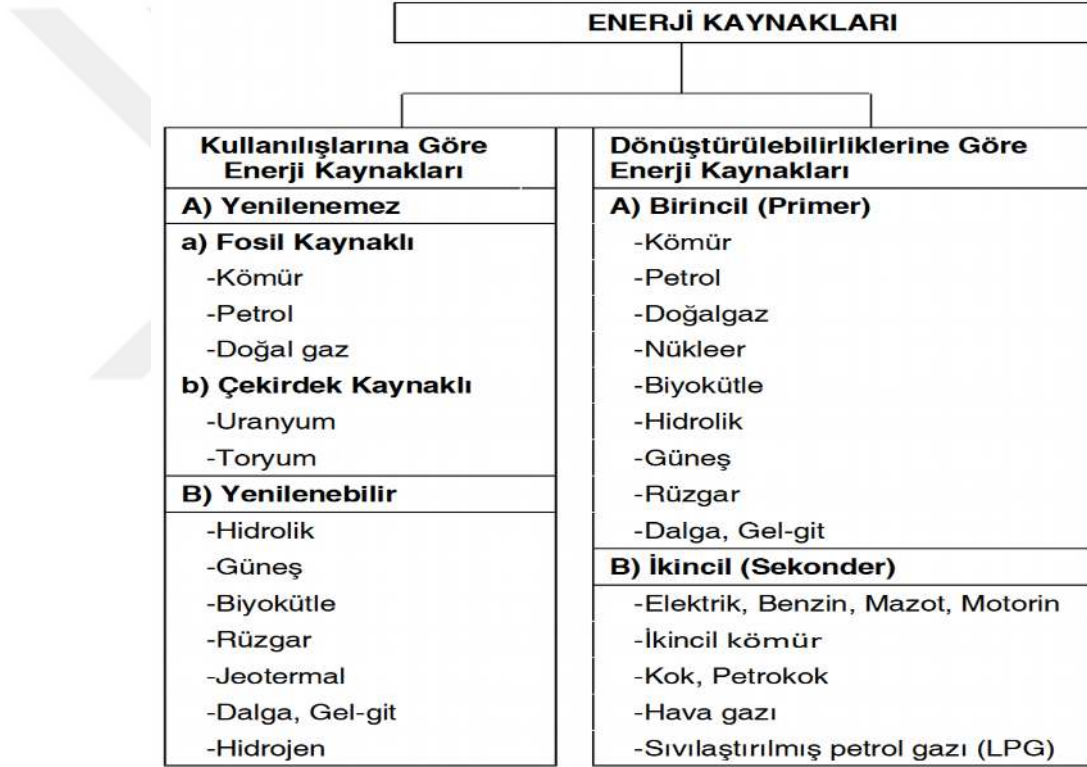
Enerji; gelişmişlik düzeyi farketmeksizin tüm ülkeler açısından oldukça önemlidir. Ülkelerin gelişmişliğinde enerji üretimi kadar enerji tüketimi de bir kriter olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda enerji tüketiminin seviyesi bir ülkenin gelişmişlik kriteri olarak değerlendirilmektedir. Özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerin için yüksek ekonomik büyüme için gerekli olan en temel faktör enerjidir (Ayyıldız vd.,2014). Ülkelerin, sürdürülebilir ekonomik büyümeyi sağlayabilmelerinde enerji verimliliğinde kat edilecek olumlu gelişmeler oldukça önemlidir. Eyüboğlu ve diğerlerinin yapmış olduğu çalışmada gelişmekte olan ülkelere yenilenebilir enerji kullanımının ve yatırımlarının yeterli olmadığı üzerinde durulmuştur. Ayrıca çalışmada sürdürülebilir hedeflere ulaşabilmek için yenilenebilir enerjinin kullanımının tek başına yeterli olmadığı da ele alınmıştır. Güçlü enerji politikalarının arttırılması ve verimli enerji teknolojilerinin kullanılması gerekmektedir (Eyüboğlu vd.,2021:34).

Türkiye enerji potansiyeli olarak zengin bir ülkedir. Ancak ülkemiz günümüzde enerji üretimini doğrudan kendi imkanlarıyla karşılamaktan uzak durumdadır. Enerjiye

dair yapılan çalışmaların desteklenmesi, bunun üzerine ARGE ve rehabilitasyon çalışmalarının artması ile enerjinin veriminin ve üretiminin artması muhtemeldir. Söz konusu çalışmalara önem veren milletlerin enerji alanlarında başarılı adımlar attığı söylenebilmektedir.

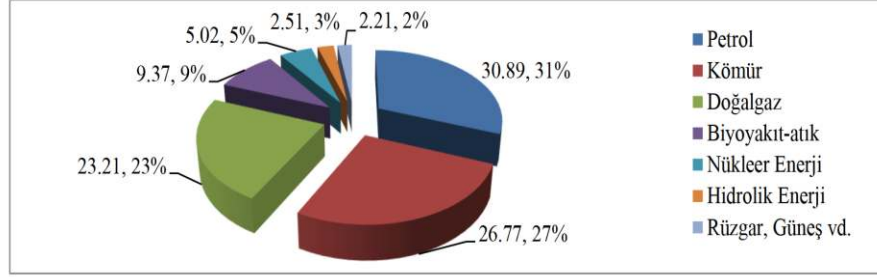
## 1.2. Enerji Kaynakları

Enerji, çeşitli formlara dönüşerek ihtiyaca binaen kullanılabilen vazgeçilemez bir ihtiyaçtır. “Enerji, mekanik (potansiyel ve kinetik), ısı, elektrik, kimyasal ve nükleer gibi farklı türlerde bulunabilir. Uygun yöntemlerle bir türden diğerine dönüşebilmekte olup, farklı şekillerde sınıflandırılabilir” (Koç, Şenel 2013: 33). Bahsi geçen sınıflandırmaya ait şekil aşağıdaki gibidir.



Şekil 1: Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması

Kullanılışlarına göre enerji kaynakları ele alınacak olursa bu kaynakların yenilenebilir olması veya tükenebilir olmasına göre ayırım yapılmaktadır. Fosil kaynaklı olanlar günümüzde en çok kullanılan enerji kaynaklarıdır. IEA'dan alınan verilere göre Arı ve Yılmaz tarafından oluşturulan tabloya aşağıda yer verilmektedir.



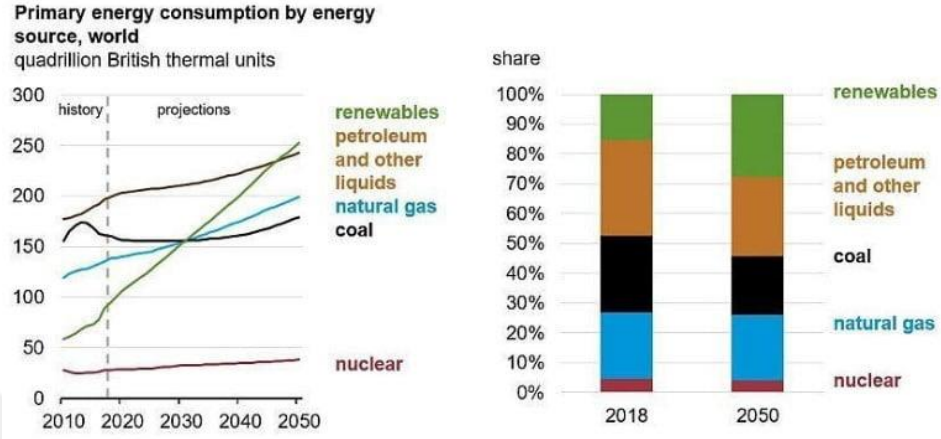
Şekil 2: Kullanımlarına Göre Enerji Kaynakları

Şekilde görüldüğü gibi fosil yakıtlar enerji kaynaklarının %81'ini oluşturmaktadır. Bununla birlikte küresel enerji kullanımı içerisinde yenilenebilir enerji kaynakları (%14) oranında bir paya sahiptir. Fosil enerji kaynaklarının rezervlerinin azaldığı söylenmelidir. Fosil kaynaklı enerjilerin çevreye verdiği zarar göz önüne alındığında ise bu tür kaynakların kullanımını azaltma çalışmaları günden güne artmaktadır. 2050 yılına kadar rüzgar ve güneş enerjisi RES'lerinin dünya enerji talebinin %50'sini karşılayacağı öngörülmektedir (Kebede, 2022:1). Bu sebeple yenilenebilir enerji kaynaklarının yakın gelecekte öneminin daha da artacağı söylenebilir.

Türkiyede elektrik enerjisi tüketimi 2022 yılında bir önceki yıla göre %0,5 oranında azalarak 331,1 TWh, elektrik üretimi ise bir önceki yıla göre %1,9 azalarak 328,3 TWh olarak gerçekleşmiştir. Türkiye Ulusal Enerji Planı çalışmasının sonuçlarına göre elektrik tüketiminin 2025 yılında 380,2 TWh, 2030 yılında 455,3 TWh, 2035 yılında ise 510,5 TWh seviyesine ulaşması beklenmektedir. 2022 yılında elektrik üretimimizin, %34,6'sı kömürden, %22,9'u doğal gazdan, %20,3'ü hidrolik enerjiden, %10,6'sı rüzgardan, %5,1'i güneşten, %3,4'ü jeotermal enerjiden ve %3'ü diğer kaynaklardan elde edilmiştir. 2023 yılı Kasım ayı sonu itibarıyla ülkemiz kurulu gücü 106.152 MW'a ulaşmıştır. 2023 yılı Kasım ayı sonu itibarıyla kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımı ise; %29,8'i hidrolik enerji, %23,9'u doğal gaz, %20,5'i kömür, %11'i rüzgâr, %10,6'sı güneş, %1,6'sı jeotermal ve %2,6'sı ise diğer kaynaklar şeklindedir. Bununla birlikte ülkemizde elektrik enerjisi üretim santrali sayısı, 2023 yılı Kasım ayı sonu itibarıyla 13.035'e (Lisanssız santraller dâhil) yükselmiştir. Mevcut santrallerin 755 adedi hidroelektrik, 68 adedi kömür, 363 adedi rüzgâr, 63 adedi

jeotermal, 344 adedi doğal gaz, 10.950 adedi güneş, 492 adedi ise diğer kaynaklı santrallerdir<sup>1</sup>.

ABD Enerji Bilgi İdaresi, Uluslararası Enerji Görünümü aşağıda şekildeki gibidir.



Şekil 3: 2010-2050 Arası Enerji Çeşitlerinin Kullanım Oranı

Sekil 3'deki grafikte ABD Enerji Bilgi İdaresi tarafından ABD için yapılan çalışmada da görüldüğü üzere fosil yakıtlardaki azalma yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi arttırmaktadır.<sup>2</sup>

Fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olması ve tükenecek olmaları alternatif enerji kaynaklarına ihtiyacı arttırmaktadır. Fosil yakıtlı kaynakların tükenme durumu ve enerjiye duyulan ihtiyacın artması yeni enerji kaynaklarına eğilimi artırmıştır. Bununla birlikte bu enerji kaynaklarının doğaya zarar vermeden, sürdürülebilirliğini sağlamak çok önemlidir. Bu duruma örnek olarak Elektrikli araç sayısı 2025 yılına kadar dünya genelinde 12 milyonu geçeceği öngörüsünde bulunmaktadır (Adler, 2021).

### 1.3. Yenilenebilir enerji kaynakları

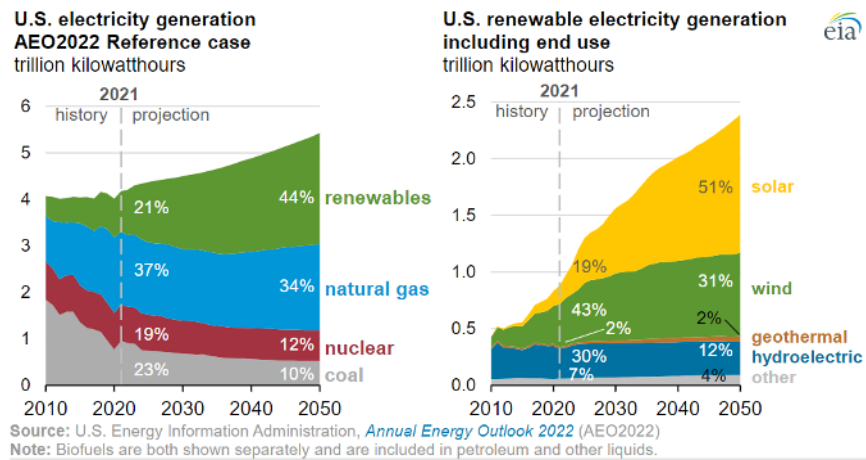
Yenilenebilir enerji, doğal kaynaklardan elde edilen ve doğada bir sonraki zaman diliminde kendini yenileyebilen enerji türüdür. Güneş, rüzgar, biyoenerji, jeotermal, gelgit, dalga, hidrojen ve hidrolik en temel yenilenebilir enerji kaynakları olarak sıralanmalıdır (Ellabban, Abu-Rub ve Blaabjerg, 2014).Günümüz teknolojilerine bakıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarını hidrolik, güneş, rüzgar, jeotermal,

<sup>1</sup> <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik> (Erişim Tarihi: 03.01.2024).

<sup>2</sup> <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/cia-kuresel-enerji-tuketimi-2050ye-kadar-yuzde-50-artacak/2385032> (Erişim Tarihi: 04.01.2024)

biokütle, hidrojen ve dalga olarak sayabiliriz. Bu enerji kaynaklarından güneş ve rüzgar anlık hava koşullarına bağlıdır. Bu sebeple havanın kapalı olması veya gece olması bu kaynağı ortadan kaldırdığı gibi rüzgarında hava durumuna göre kesilmesi veya çok şiddetli olması bu kaynaklardan enerji üretiminin yapılamaması demektir. Diğer enerji kaynaklarına göre dezavantaj olan bu durumu enerji kaynağının olduğu durumda üretim sırasında depolama yapılabilmesi ve talep için hazır halde tutulmasıyla ortadan kaldırılabilir. Enerji depolama konusunda çalışmalar devam etmekte olup bu konuda büyük ilerlemeler katedilmiştir. Ancak henüz büyük çapta bir santralin depolama yapabileceği maliyet ve alan açısından uygulanabilir bir teknoloji ortaya çıkmamıştır. Diğer taraftan jeotermal santrallerde yer altı sularının ısınmış halinden faydalanarak enerji üretmektedirler. Biokütle ve gel-git enerjilerinde yaygınlaşmaktadır. Bu kaynakların içerisinde hidrolik enerjiye baktığımızda çok önceden beri uygulaması olan efektif bir kaynaktır. Suyun yüksek konumlarda depolanması veya akım rejimi yüksek yerlerde direkt olarak kinetik enerjinin formunu değiştirerek kullanılması hidrolik kaynak kullanımını ifade eder. Ülkemizdeki kullanılabilir potansiyeli ise brüt teorik hidroelektrik potansiyel 433 milyar kWh/yıl dır. Ülkemizde bu potansiyelin 158 milyar kWh/yıl kadarı kullanılmıştır. Yeni geliştirilecek projelerle birlikte 2023 yılı sonrasında bu potansiyelin yaklaşık 180 milyar kWh/yıl'a ulaşacağı tahmin edilmektedir (Serdar, 2020:274). ABD de yapılan bir araştırmada yakın gelecekte enerji ihtiyacının 2,5 kat artacağı ve buna karşılık yenilenebilir enerji kaynak kullanımında %44 oranına kadar artacağı öngörülmektedir (EIA.2022).

### EIA projects that renewable generation will supply 44% of U.S. electricity by 2050



Şekil 4: Amerika’da Kullanılan Enerji Kaynaklarının 2010-2050 Yılları Arasındaki Değişim Grafiği

Bu ve benzeri çalışmalar; yeni bir teknoloji ile yeni bir enerji üretimi bulunmadığı sürece yenilenebilir enerji kaynaklarının en çok kullanılan enerji kaynakları olarak zirvede yerini alacağını göstermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırımların artacağını ve bu yatırımların mevcut yenilenebilir sistemlerin geliştirilmesini sağlayabileceğini öngörebiliriz. Bu durumda enerji üretimi kapsamındaki araştırmaları ve desteklemeleri doğru yönde kanallandıranların karlı çıkabileceği düşünülebilir.

#### **1.4. HES'ler ve Çeşitleri**

##### **1.4.1. Hidroelektrik Santraller**

Hidroelektrik santral tesisleri, suyun hidrolik akım enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek ve sudan elektrik enerjisi üretmek amacı ile kurulan tesislerdir. Hidroelektrik santrallerin kurulacağı yerin topografik durumuna göre santraller çeşitli şekillerde yapılmaktadır. Başesme'ye göre kurulmakta olan hidroelektrik santral tesislerini çeşitli sınıflandırmalara ayırmak mümkündür.

##### **A- Düşülerine göre:**

- |                                          |                         |
|------------------------------------------|-------------------------|
| - Alçak düşülü hidroelektrik santraller  | $H < 10 \text{ m}$      |
| - Orta düşülü hidroelektrik santraller   | $H = 10 - 50 \text{ m}$ |
| - Yüksek düşülü hidroelektrik santraller | $H > 50 \text{ m}$      |

##### **B- Kurulu güçlerine (Kapasitelerine) göre:**

- |                                                            |                                 |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| - Çok küçük kapasiteli (mikrotip) hidroelektrik santraller | $< 100 \text{ kW}$              |
| - Küçük kapasiteli (minitip) hidroelektrik santraller      | $= 100 - 1\,000 \text{ kW}$     |
| - Orta kapasiteli hidroelektrik santraller                 | $= 1\,000 - 10\,000 \text{ kW}$ |
| - Büyük kapasiteli hidroelektrik santraller                | $> 10\,000 \text{ kW}$          |

##### **C- Depolama durumuna göre:**

- Depolamalı (baraj göllü veya tabii göllü) hidroelektrik santraller
- Depolamasız (kanal tipi veya nehir tipi) hidroelektrik santraller

**D-** Baraj gövdesinin tipine göre:

- Ağırlıklı beton gövdeli barajlı hidroelektrik santraller
- Beton kemer gövdeli barajlı hidroelektrik santraller
- Kaya dolgu gövdeli barajlı hidroelektrik santraller
- Toprak dolgu gövdeli hidroelektrik santraller

**E-** Santral binasının konumuna göre:

- Yer üstü hidroelektrik santralleri
- Yer altı hidroelektrik santralleri
- Yarı gömülü veya batık hidroelektrik santraller

**F-** Çalışma (Ulusal elektrik sisteminin yükünü karşılama) durumuna göre:

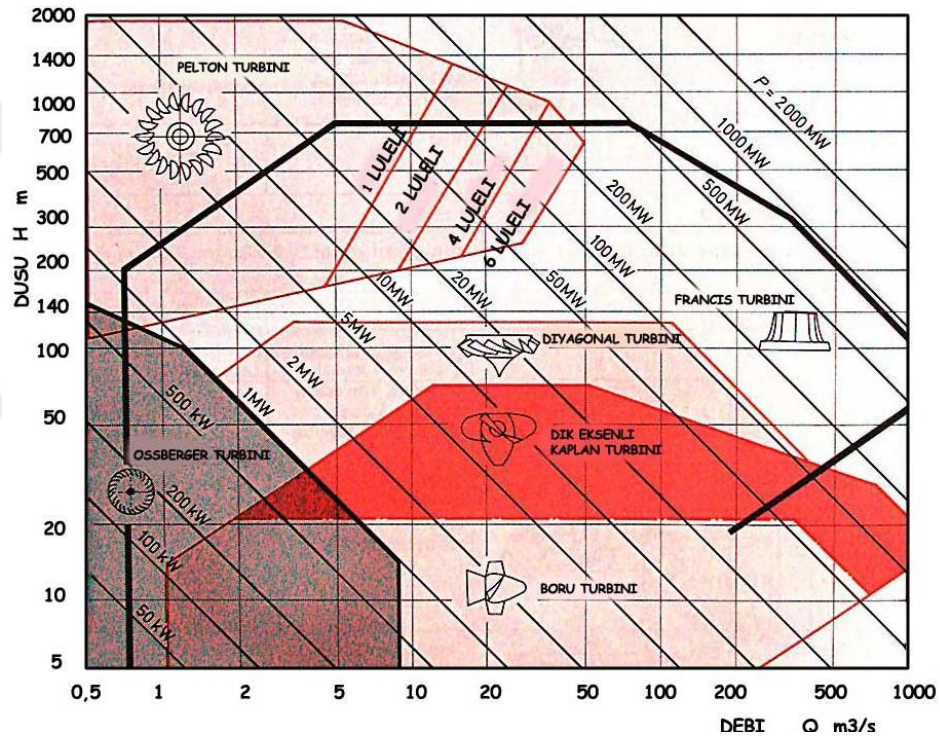
- Baz yük hidroelektrik santralleri
- Puant yük hidroelektrik santralleri
- Hem baz yük ve hemde puant yük hidroelektrik santralleri

**G-** Türbinli / Pompajlı hidroelektrik santraller (Başesme, 2003: 78-79).

Santrallerin sınıflandırmasına bağlı olarak türbin çeşitleri belirlenir. Aşağıda türbin çeşitlerinin belirlenmesindeki parametrelere bağlı olarak yapılan grafik çalışması yer almaktadır. Bu parametrelere bakıldığında düşü, güç ve debiyi görmekteyiz. Genellikle santrallerde kullanılan türbin çeşitleri Francis Kaplan ve Peltondur. Pelton Türbin çeşidine göre sınıflama reaksiyon ve aksiyon olarak iki grupta yer almaktadır.

Reaksiyon Türbinleri; reaksiyon türbinleri sınıfına, Francis tipi ve Kaplan tipi hidrolik türbinler girmektedir. Bu türbin çeşitlerinde, türbin rotoru kanatçıklar arasındaki suyun giriş basıncında bir düşüş meydana gelir. Su basıncında meydana

gelen bu düşüş sonucunda, suyun ivmelenmesine, yani hızlanmasına neden olur. Hidrolik düşünün ve türbinden geçecek su debisinin değerlerine göre, hidrolik türbinlerin kullanım alanlar değişmektedir. Aksiyon Türbinleri ise, 1880 yılında Pelton tarafından keşfedilmiştir. Günümüze kadar değişmeye devam etmiştir. Pelton tipi hidrolik türbinler, çok yüksek hidrolik düşüler ve küçük su debileri için kullanılmaktadır. Michell-Banki tipi türbinler de bu türbin sınıfındadır. Bu tip türbinler, 1903 yılında M.Michell tarafından keşfedilmiş ve 1917 yılında D.Banki tarafından geliştirilmiştir. Bu tip özel türbinlerin kullanım alanı dar olup genellikle küçük güçlü, nehir tipi santrallerde tercih edilmektedirler (Özbay & Gençoğlu, 2009: 109-110).



Şekil 5: Debi ve Düşüye Göre Türbin Çeşitleri (Adatepe, H & Öz, V, 2019: 352)

### 1.5. HES'lerin Çalışma Koşulları

Ülkemizde HES'lerin planlanması Devlet Su İşleri (DSİ) ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından yapılmaktadır. (Coşkun, 2010). Bu planlama santralin yapımı ve santral üretimini kapsamaktadır. Ülkenin enerji ve su taleplerini dikkate alma yetkisine sahip olan Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EUAS) ve Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ), üretilen enerjinin düzenli olarak dağıtımını ve paylaşımını sağlamaktadır (Koç, 2018: 131-133). Dolayısı ile üretimin talimatı, talebi ve fiyat

konusundaki koşulları bu kurumlar tarafından belirlenmektedir. Enerji üretimini giriş suyu seviyesinin en yüksek olduğu zaman ile maksimum fiyat aralığına göre planlamak daha karlı olacaktır.

Koç, yapmış olduğu çalışmada işletmede olan barajların hidrolojik ve meteorolojik (akış, yağış, kar, buharlaşma, göl seviyeleri, rezervuar giriş ve çıkış akışları vb.) verileri, baraj işletme özelliklerine (maksimum ve minimum işletme seviyesi, taşkın kontrol eğrisi, alan-hacim-seviye tabloları, buharlaşma seviye tabloları, aktif hacim değişiklikleri, özel su tüketim eğrisi, vb.) ilişkin proje bilgileri toplanılmaktadır. Bu proje bilgileri değerlendirildikten sonra, enerji, sulama ve içme suyu için toplam su ihtiyaçları belirlenmektedir. Baraj giriş akışları tahmin edilerek yıllık baraj işletme programları belirtilen hususlara göre hazırlanmaktadır (Koç, 2020:142). Belirtilen programın hazırlanması için kullanılan bilgilerden çalışma koşullarını etkileyen en büyük faktör sudur. Suyun değişkenliğinin temel parametresi de yağıştır. Bu bağlamda santral havzasının su gelirinin mevsimsel olarak tahmine göre santraldeki bakım onarım programları oluşturulur.

Santralin fiziki koşullarına bağlı olarak bakım sürecinin zamanı diğer dikkat edilmesi gereken bir konudur. Eğer havzanın dolu olacağı dönemde veya enerji ihtiyacının yüksek olduğu dönemde bakım planlanırsa çalışma koşulları doğru değerlendirilememiş olur. Çünkü bu durumda santrali çalışamaz ise gelen suyu karşılayamaz veya enerjinin kıymetli olduğu dönemde üretim yapamaz. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), ülkemizdeki su kaynaklarının planlanması, yönetilmesi, geliştirilmesi ve işletilmesinden sorumludur. DSİ ayrıca Merkezi Yönetim Bütçesine tabi özel bütçeli yatırımcı bir kuruluştur.<sup>3</sup> Santralin kaynağı olan suyun kullanımından sorumlu DSİ ile Santral uyumlu çalışması, enerji üretiminin çevredeki yaşamın olumsuz etkilerini kontrol altına alır. Konum itibarı ile güvenlik gerekçeleri ve acil durumlar santralin çalışmasını etkileyen diğer bir husustur. Bunlar boğulma vakaları veya mahsur kalma gibi birçok farklı hususu barındırabilir. Havzanın seviye kontrolü sadece yağışa bağlı değildir. Özellikle kaskat yapıda olan santrallerin çalışma durumları gölün ve havzanın dolup boşalmasına etki etmektedir. Dolayısı ile göl kotunu değiştirebilen diğer bir etkendir. Kaskat yapıda olan santrallerde eğer kendinden bir önceki santral havzayı taşıracak şekilde çalışırsa ve ilgili santral havzaya gelen suyu çalışarak mansabına

---

<sup>3</sup> <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/692> (Erişim Tarihi:15.12.2023).

bırakamazsa dolu savaklarından gelen suyu elektrik enerjisine çeviremeden atmak mecburiyetinde kalacaktır. Böylece potansiyel enerji kullanılmadan boşa akmış olacaktır. Ayrıca üretimin gerçekleşmesi belirli yönetmelik ve anlaşmalar bağlı olarak belli bir prosedür içerisinde yapılmaktadır Bu anlaşma ve prosedürler santralin konumu durumu büyüklüğü gibi çeşitli özelliklerine göre farklılık gösterebilmektedir. EPDK ve TEİAŞ elektrik şebeke yönetmeliği, reaktif güç destek yönetmeliği ve senkron çalışma gibi anlaşmalar çerçevesinde üretimin yaparken uyulması gereken diğer koşulları oluşturur.

### **1.6. HES’lerde Verimlilik**

HES'lerin genel olarak daha verimli çalışabilmesi için Türkiye'nin HES işletiminde ve su yönetiminde, planlanmasında teknolojik ve bilimsel yenilikleri takip etmesi gerekmektedir (Çobaner ve ark, 2007). Hidroelektrik santraller suyun gücünü kullanarak elektrik üretmektedir. Suyun gücünü etkileyen faktörlerin başında suyun potansiyel enerjisini belirleyen yükseklik gelmektedir. Yükseklik suyun depolandığı barajın doluluk oranı ile orantılıdır. Baraj tam dolu olursa suyun düşüşü de en yüksek seviye ulaşmış olacaktır. Bu şekilde yapılacak çalışmada elektrik üretimi için minimum su harcanacaktır. Üretim planlaması ve mevsimlere bağlı olarak gelen suyun enerjiye dönüşümündeki doğru kararlar verimi direkt olarak etkileyecektir. Verimli çalışmanın başında doğru üretim stratejisi gelmektedir. Hidroelektrik Santrallerin bir kısmında göl suyu üretim dışında sulama veya içme gibi diğer amaçlar içinde kullanılabilir. Bu durumlarda üretim planlanmasının, diğer kurum ve kuruluşlardan su kullanımını etkileyecek bilgilerin göz önüne alınarak yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde plana uyulamayabilir. Özellikle kaskat barajların uyumlu çalışması verimliliğin ana unsurudur. Çünkü kendinden önceki barajın bırakacağı suya göre üretim yapması havzadaki doluluk sağlayacak veya taşmayı engelleyecektir. Suyun depolama ve kullanımından sonra dikkat edilecek diğer husus enerji dönüşümündeki kayıplardır. Suyun bu gücünü mümkün olduğunca kayıpsız şekilde elektriğe dönüştürmek verimi maksimum seviyede tutmak demektir. Bunun için suyun elektriğe dönüşümündeki tüm prosesler incelenir ve buradaki kayıplar hesaplanır. Bu kayıpların üzerine çalışmalar yaparak azaltılması verimi artıracaktır.

Hidroelektrik santraller baraj rezervuarlarında enerji üretimi için su biriktirirler. Gelen suyun takibi ve gelmesi beklenen su miktarının tahmini oldukça önemlidir. Planlamalarını doğru yapmadıklarında gelen suyu enerji üretmeden boşa savaklama

yapabilirler. Bu durumda enerji üretiminde azalma olmaktadır. Bu anlamda gelen suyu doğru bir şekilde planlama yaparak enerjiye çevirmek işletmeler için oldukça önemlidir (İnal,2022:28).

Izgara tıkanıklığı santrallerde mil birikimi, gölalanı doluluğu gibi sorunlara neden olmaktadır. Bu sorunlar santral işletmesine pim kesme, soğutma suyu sisteminde tıkanma veya sızıntı, sızdırmazlık yapılarında aşınma, su yolu boyunca mekanik ve inşaat yapılarının aşınması ve deformasyonu gibi çok fazla soruna neden olmaktadır. Bu sorunlarda beraberinde işletme güçlüğü, çeşitli arızalara ve üretim kayıplarına neden olmaktadır. Etkili bir tasarım ve özenle tesis edilen çökeltim havuzu ve ızgara temizliği yapıları, nehir santrallerinde daha rahat bir işletme ortamına yardımcı olmaktadır. Böylelikle yukarıda bahsedilen çalışma ortamını sağlayan barajlar zaman ve üretim kayıplarını büyük oranda düşürmektedir .<sup>4</sup>

Elektrik üretimindeki adımlar suyun su alma yapısından girişinden çarka kadar geliş esnasında ızgara, cebri boru ve salyangoz yolculuğundaki enerji kayıpları ilk adımımız olacaktır. Bu adımda ızgaraların sürtünme kaybının yanı sıra kirlilik ve midye yosun oluşumu tıkanıklıklara yol açmaktadır. Bu sebepler verimi direk olarak etkilemektedir. Sonrasında türbinin kayıpları diğer bir adımı oluşturur. Türbinin tasarımında çalışma şartları hesaplanmış olup türbin veriminin en yüksek olduğu koşullara göre çalıştırmamız da verime fayda sağlayacaktır. Generatör kayıpları ile trafo kayıpları diğer bir adımı oluşturmaktadır. Böylece enerji üretim adımları tamamlanmış ve enerji elektrik olarak iletme hazır hale gelmiştir. Tüm bu süreçler için sürekli veya aralıklarla santral verimliliğini kontrol etmek ve iyileştirmeler yapacak sistemler oluşturulmuştur. Enerji satış miktarlarına baktığımızda büyük santrallerde elde ettiğimiz %1 lik verimin miktarını yaklaşık olarak hesaplayabiliriz. Böylece verimlilik için yapılabilecek yatırımların başarılı olması halinde üretime yaptığı katkıyı görebiliriz.

Türkiyede irili ufaklı yapılmış ve yapılmakta olan 731 adet HES olup bunların 82 adeti 100 MW tan büyüktür. Santraldeki yapılacak verim çalışmasının santrale yaptığı katkıyı bulabilmek için verimin üretim miktarına yapmış olduğu artış hesaplanır. Sonrasında Enerji alım fiyatı ile bu artış miktarı çarpılarak kazanç miktarı hesaplanmış olur. Bu hesap neticesinde verim artışı için yapılacak yatırımın ne kadar süre üretimle karşılayacağı bulunur.

---

<sup>4</sup> [https://www.emo.org.tr/ekler/7913f34851ffe55\\_ek.pdf?dergi=987](https://www.emo.org.tr/ekler/7913f34851ffe55_ek.pdf?dergi=987) (Erişim Tarihi: 15.12.2023).

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Çalışmasının Konusu

Dünyadaki her şey enerji ile varlığını sürdürmektedir. Enerji varlığın temel taşıdır. Günümüzde enerji farklı farklı formlarda kullanılarak hayatımızın her anında ihtiyaç olarak karşımıza çıkmaktadır. Hayatın bir parçası olarak kullanılan enerjinin önemi yanında enerjinin üretimi ve kullanımı da bir o kadar değerlidir. Bununla birlikte enerjinin en çok kullanılan hali elektrik formudur. Elektrik üretiminin çeşitlerinden en yaygın olanlarından biri HES'lerdir. HES'lerde elektrik üretiminin gerçekleşmesi için suyun potansiyel enerjisini mümkün olabildiğince kayıpsız ve efektif olarak elektrik enerjine çevirmesi gerekmektedir. Ancak bu üretim sırasında üretim verimliliğini etkileyen pek çok faktör vardır. HES'lerin çalışma koşulları ele alındığında özellikle kirliliğin verime olan etkisi olumsuz yönde dikkat çekmektedir. Bu kapsamda HES'lerde verimliliği etkileyen çalışma koşullarının belirlenmesi ve çalışma koşullarının verimlilik üzerine etkilerinin ortaya konulması bu çalışmanın konusu oluşturmaktadır. Bu doğrultuda kirliliğin enerji üretimine olan etkisinin analizi yapılarak enerji üretimine olumsuz etkisini verilerle ortaya konulacaktır. Hidroelektrik santrallerindeki yapılacak verimlilik çalışmalarının Karkamış HES üzerinden ele alınması çalışmanın temel konusunu oluşturmaktadır. Kirliliğin verimliliğe olan etkisinin ortaya konması kirliliğin azaltılabilmesi için çözüm önerilerini devamında getirecektir. Bu durum uzun vadede ekonomiyi ve milli geliri de olumlu yönde etkileyecektir.

Bilgisayar ortamında verilen her bir örnekten, gerekli algoritma ve formülasyonların kullanılmasıyla bir şeyler öğrenilmesi aracılığıyla ilerleyen zamanlar için ilgilenilen olay hakkında karar verecek seviyeye ulaşılmasına “makine öğrenmesi” denilir. Bu bağlamda makine öğrenmesi; bilgisayar sistemlerinin açık talimatlar yerine düzenlere ve çıkarıma bağlı olarak görevleri gerçekleştirmek için kullanacağı algoritmalar ve istatistiksel modeller geliştirme bilimi olarak tanımlanabilir (Öztemel, 2012). Bilgisayar sistemleri büyük miktardaki geçmiş veriyi işlemek ve veri düzenlerini tanımlamak için makine öğrenimi algoritmalarını kullanmaktadır. Böylece belirli bir girdi-veri kümesinden, sonuçları daha doğru olarak tahmin edebilirler. YSA, bu makine öğrenmesi alanında geliştirilmiş olan uygulamalarından biridir. YSA'da örnek verileri kullanılarak genel yargılar veya sonuçlar üretilmeye çalışılır. Uygulamacı tarafından bilgisayarda kurulan ağa sadece eldeki örnekler verilir, başka bilgi verilmeden bu

örnekler ile sonuçlara bakarak ağıın öğrenme işlemini gerçekleştirmesi istenir. Ağ kendi sistemini kullanarak çözüm ya da sonuç üretir. YSA’da işlem birimleri vardır. Her işlem birimi girdiyi bir ağırlık değeri ile ağırlıklandırır, dönüşümünü gerçekleştirir ve sonuçta çıktılarına ulaşılır (Çakır, 2019). Bu çalışmada veriler hazırlanmış dosyalar ile Matlap programına yüklenmiş düzenlenmiş girdi ve çıktılar belirlenmiştir. Sonrasında lineer regresyon ile bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasında ilişki kurulur. Bu işlemlerde hazır modeller seçilir ve kullanılır. Bu modellerin bir kısmı Tree regresyon modeli, SVM regresyon modeli, Ensemble regresyon modeli , Neural network regression modeli, Gaus proses regrasyon modeli olarak adlandırılmıştır. Farklı bloklar ile öğrenme ve tahmin oluşturulmuştur. Yapılan çalışmada veriler uygun formatta ve anlamlı şekilde düzenlenip MATLABA girilecek sonrasında paket programlardan uygun modeller ile sonuçlar kontrol edilecektir.

## **2.2. Çalışmanın Amacı ve Önemi**

Bu tezin amacı HES’lerdeki çevresel durumlar özelinde kirlilik faktörünün verimliliğe olan etkisini ortaya koymaktır. Bu etkinin üretim verimine olan olumsuz etkisinin tespit edilip ve kirliliğin olabildiğince düşürülmesi için çözüm önerisi üretmek amaçlanmaktadır. Nehir tipi santrallerin çoğunda karşılaşılan kirlilik probleminin boyutu ortaya konarak üretime olan etkisinin incelenmesi çalışmanın temel dinamiğidir. Bunun üzerine alınacak önlemlerin ve üretim kayıp risklerinin belirlenip yapılabilecek iyileştirmeler için çözüm önerileri ve geliştirilebilecek çalışmalara temel oluşturması da tezin temel amaçları arasındadır.

## **2.3. Çalışmanın Sınırları**

Bu yüksek lisans tez çalışmasında nehir tipi bir santral olan Karkamış HES’in üretim incelemesi yapılacaktır. Bu amaçla 2022-2023 yıllarında Karkamış HES SCADA sisteminden alınan veriler yüksek lisans tezinde kullanılacaktır.

## **2.4. Literatür Çalışması**

Hidroelektrik santrallerde verimlilik ve verimlilik artışına yönelik pek çok çalışma yapılmıştır, yürüttüğümüz bu yüksek lisans tez çalışma konusuyla çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

Karakuş ve Altun (2014), hidroelektrik santrallerin verimini iklim şartlarına göre bağlı olarak suyun düşüş ve akış değişikliklerine göre araştırmışlardır. Bu sebeple Kırşehir ilinin Kaman ilçesinde yer alan Hirfanlı Barajını üzerinde çalışma yapmışlardır.

Su tüketimi ve su geliri ile ilgili Hirfanlı Hidroelektrik Santralının, 2008 yılında alınmış yağış miktarları gibi iklimsel veriler kullanılarak verim hesabını analiz etmişlerdir. Bu çalışmada bir ileri beslemeli ağ ile eleman ağı kullanılarak iklimsel etkiler ile barajın verimliliği arasındaki ilişki tahmini yapmışlardır. Hirfanlı HES'te iklim verim ilişkisi araştırılmıştır (Karakus ve Altın, 2014).

Yağmur Tuba Ünal'ın yapmış olduğu Bir Francis Türbin Performansının, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Ve Saha Verimlilik Ölçümleriyle İncelenmesi tezinde sahadan türbin, salyangoz ve kanatların lazer ile modeli oluşturulmuştur. Bir nevi terisne mühendislik yapılmıştır. Bu model üzerinden verim hesabı yapılmış üreticinin verimleri ile kıyaslanmıştır. Ayrıca gerçek değerlerle yapılan model verim çalışmasının uyumunu dolayısı ile çalışmanın başarılı olduğunu belirtmiştir (Ünal Y.T, 2020).

Brezovek ve arkadaşları Kaplan Tipi Hidrolik Santrallerde Nonlineer Dijital Simülasyon Modeli adlı çalışmayı yapmışlardır. Çalışmada kaplan tipi bir santral olan Varazdin HES'te yapılan ölçümler, alınan veriler ve yapılan hesaplarla bir üretim modeli yapmışlardır. Bu modelin sonuçlarının doğruluğu santralden alınan gerçek ölçüm sonuçları ile kıyaslanmış ve doğrulanmıştır. Bu model ile türbinin fiziki testlerinin yerine bu model kullanılarak zaman ve maddi kazanç elde edilebileceği belirtilmiştir (Brezovek M vd, 2006).

Karakaya HES'te verim ve üretim parametrelerinin yapay sinir ağı ile tahmini, Fırat üzerinde Diyarbakır Çüngüş ilçesinde yer alan Karakaya Hidroelektrik Santralının verim ve elektrik üretimi değerlerinin tahminlerini yapay sinir ağları yapmışlardır. Yapay sinir ağlarının girdileri olarak; ortalama nem (%), yağış miktarı (mm), açık yüzey buharlaşma miktarı, ortalama basınç (hPa), ortalama bulutluluk ve ortalama sıcaklık (Co), özgül su sarfıyatı (m<sup>3</sup> /kWH), ortalama net düşü (m), gelen suyun debisi (m<sup>3</sup> /sn) değerlerini kullanmışlardır. Yapay sinir ağlarının çıkış verileri ise, yüzdelik verim ve üretim değeri olarak almışlardır. Yapay sinir ağlarını oluşturulmasında MATLAB paket programını kullanmışlardır. Çalışma sonucunda Karakaya Hidroelektrik Santralının aktif elektrik üretim değeri ve santralin enerji verimi yüksek bir performans ve çok düşük hatalarla tahmin edilmiştir (İnalı ve ark., 2014).

Hamid ve arkadaşları Himreen hidroelektrik santralinde hidrolik net düşü, verimlilik, su debisi değerleri kullanmış olup uzun santralin üretim değerlerini yapay sinir ağları (ileri yayılım-geri beslemeli) yardımıyla tahmin etmiştir. Oluşturduğu YSA

santralin üreteceği gücü tahmin ederek, üretim talebinin daha doğru ve etkili şekilde yapılabilmesine olanak sağlamıştır. Bu tahminlerin performans kalitesi;  $R^2$  0,96 değerine ve ortalama hata kareleri karekökü (RMSE) olarak da 0,0032734 değerine ulaşmışlardır (Hammid ve ark., 2016)

Diniz ve ark. “A Mathematical Model for the Efficiency Curves of Hydroelectric units” çalışmasında veriler ışığında iki farklı matematiksel model oluşturarak türbin jeneratör verimi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada ünite verimlilik eğrilerine bağlı kalınarak üretimin planlı şekilde yapılması ve düşünün dikkate alınması çalışmayı faydalı kılacaktır (Diniz ve ark,2007).

Mühendislik Bölümü'ndeki JB Lewandowski Su Laboratuvarı'ndaki hidrolik kanalda bulunan bir kuvvut ölçer ile su üzerinde bulunan buzların su akışını etkilediğine dair farklı bir çalışma yapmışlardır. Yapılan araştırmalar, SHP(küçük hidrolik santraller)'de ızgarada biriken buzun üretimi olumsuz etkileyebileceğini, bunun da esas olarak sürüklenme kuvvetinin artmasıyla (düşü kayıplarının artmasıyla) ilişkili olduğunu göstermektedir. Analiz edilen durumlarda, ızgaralardaki buz görünümünün düşü kayıplarında %14'e kadar bir azalmaya neden olduğu ve bunun Gebre ve ark. tarafından tahmin edilen %10'a eşit değerlerle karşılaştırılabilir olduğu gösterilmiştir (Walczak vd, 2020)

Bu çalışmaya benzer sonuçları olan başka bir araştırmada ise ızgara kirliliğinin düşü kayıplarını %18'e kadar artırdığını buldular. Izgara kirliliğini hesaplamaya yönelik yapılan bu çalışmada Hribernik, 20 MW'lık bir hidroelektrik santralindeki düşü kayıplarını analiz etmiştir. Kirliliğin bir yıl içinde 140 MWh'ye kadar elektrik kaybına neden olduğunu tahmin etmiştir. Ayrıca çalışmada sonbahar ve ilkbahar aylarında ızgara kirliliğinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Hribernik,2020: 150).

## **2.5. Çalışmanın Yöntemi**

Karkamış HES özelinde verimlilik ve kirlilik ilişkisi üzerine yapılacak bu tezde, nicel bir analiz yapılması planlanmaktadır. Toplanan veriler ile veri havuzu oluşturarak bu havuzda eş zamanlı olarak alınan verilerin değişkenliği ile verimlilik arasındaki ilişkinin analizi yapılacaktır. Çalışma bulguları sonucunda santral ile ilgili verim artırıcı çözüm önerileri sunularak önerilerin uygulanabilirliğine odaklanılacaktır. Bu çalışmanın evreni, elektrik üretiminde kirlilik problemi yaşayan HES'lerdir. Örnekleme ise; Karkamış HES'tir. 2022-2023 yıllarında Karkamış HES SCADA sisteminden alınan

veriler tez çalışmasında kullanılacaktır. Bu doğrultuda sayısal veriler ile analiz yapılacağı için çalışma nicel araştırma olarak tasarlanmıştır. Çalışmanın ölçme aracı ise sayısal verilerin ölçümü yapılarak verilerin yorumlanmasına dayanmaktadır. Bununla birlikte bu çalışmada ızgara kirlilik değerlerinin debiyi ve dolayısı ile verimi etkilediği çalışmaları makine öğrenmesi yapıp tahminler ile çalışmanın başarısını analiz edilecektir. Çalışmada kullanılan program MATLAB olacaktır. MATLAB'ta Lineer Regresyon modellerinin birçoğu ile çalışılacaktır.



### 3. KARKAMIŞ HES ÜZERİNE VERİMLİLİK ARAŞTIRMASI

#### 3.1. Karkamış HES'in Yapısı ve Özellikleri



Şekil 6: Karkamış Hidroelektrik Santrali

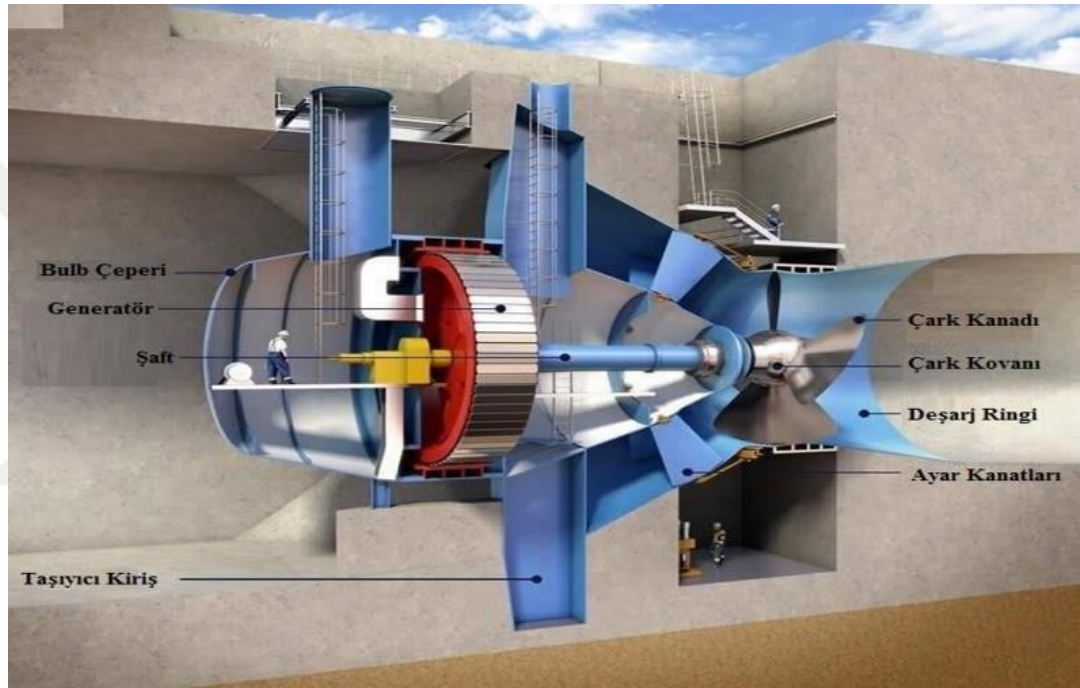
Karkamış Hidroelektrik Santrali; Gaziantep il merkezine 80 km, Karkamış ilçe merkezine ise 14 km mesafede Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) kapsamında Fırat Nehri üzerinde inşa edilmiştir. Her biri 31,5 MW olan 6 generatörüyle toplam 189 MW kurulu güce sahip olup yıllık üretim kapasitesi 652 milyon kWh olarak öngörülmektedir. Fırat Havzası'nda bulunan Karkamış Barajı ve Hidroelektrik Santrali'nin inşaatına 07.12.1995 tarihinde başlanmış ve 1999 yılında tamamlanarak işletmeye alınmıştır. Kil çekirdekli dolgu tipinde inşa edilen barajın gövde hacmi 2.100.000 m<sup>3</sup>, dere yatağından yüksekliği 29 m, gövde uzunluğu ise 1.608 m'dir. Gölün hacmi 156,9 hm<sup>3</sup>, normal su seviyesindeki göl alanı ise 28,4 km<sup>2</sup>'dir. Enerji üreten barajın rezervuar alanına sağ ve sol kıyı koruma setleri yapılarak 336 m kotunda olan baraj gölünün işletme seviyesi 340 m'ye çıkarılarak korunması hedeflendi.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> <https://www.euas.gov.tr/en-US/power-plants/karkamis-hepp> (Erişim Tarihi:18.12.2023)

Tablo 1: Karkamış Hes Genel Bilgileri

| KARKAMIŞ HES GENEL BİLGİLERİ |                        |              |               |
|------------------------------|------------------------|--------------|---------------|
| Yapım Yılı                   | Su kapasitesi          | Kurulu Güç   | Yıllık Üretim |
| 1999                         | 156,9 h/m <sup>3</sup> | 189 MW       | 652 GWh       |
| Bulunduğu İl                 | Türbin Tipi            | Ünite Sayısı | Havza         |
| Gaziantep                    | Yatay Kaplan           | 6            | Fırat         |

DSİ kontrolünde ve ELİN firmasının önderliğindeki konsorsiyum tarafından yapılmıştır. Şekilde görüldüğü gibi yatay kaplan bir santraldir.

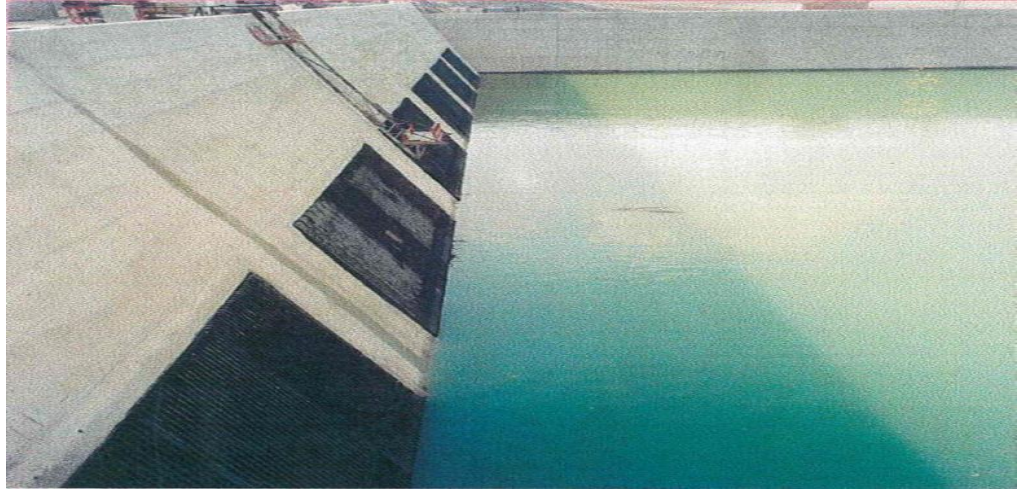


Şekil 7: Bulp Tipi Yatay Kaplan Santralin Yandan Kesiti

### 3.1.1. Karkamış HES Ana Yapıları

#### Su alma yapısı ve su giriş ızgaraları

Karkamış HES’6 adet ünitenin her birinin su giriş yapısı ızgara ile başlar. Izgara sonrasında dinlenme havuzuna gelen su yatay kaplan olmasından dolayı tüpün etrafından geçip ayar kanatlarına oradan da çarka ulaşır ve mansaptan çıkış yapar.



Şekil 8: Karkamış HES Su Alma Ağzı Izgaraları

### **Ana kumanda odası**

SCADA sistemi ile 6 adet ünite ortak sistemler otomatik olarak takip ve kontrol edilip bir çok görüntülenme ekranından takip edilmektedir. Rehabilitasyonu 2013 yılında başlayıp 2015 yılında tamamlamış olup TÜBİTAK tarafından gerçekleştirilmiştir.



Şekil 9: Karkamış HES Anakumanda

### Hız regülatörü (Governor)

6 ünitenin her birinde ayrı bir HPU ve hava/yağ akümülatör tankı bulunmaktadır. Türbin hız regülatörlerinin orijinal üreticisi VOITH'tir. Hız regülatörleri 1999 yılında devreye alınmıştır.



Şekil 10: Karkamış HES Hız Regülatörü

### Türbin

Karkamış HES'e ilk kurulan üretim üniteleri altı adet özdeş yatay ampul tipi (bulb) türbinle donatılmıştır. Her bir türbinin nominal kapasitesi 32.14 MW olup 10.55 m net düşülü bir senkron jeneratöre doğrudan bağlıdır.



Şekil 11: Karkamış HES Türbin Çarkı

## Genaratör



Şekil 12: Karkamış HES Türbin Çarkı



Şekil 13: Karkamış HES Ünite Generatörü

Generatörlerin orijinal ekipman üreticisi(OEM) ELIN'dır.Senkron jeneratörler, taşıyıcı ve kılavuz yatak birleşiminin yanına monte edilmiş çıkık kutuplu yatay jeneratörlerdir



Şekil 14: Karkamış HES Anagüç Trafosu

### **Ana güç trafosu**

ELIN imalatı olan 70 MVA kapasite, 9/154 kV  $\pm$  5 kV lık üç fazlı ana güç trafoları, beş kademeli olup, santralin dışına konuşturılmıştır. Ana güç trafolarının soğutma tipi ONAN/ONAF olup 12 adet fan ile soğutulmaktadır. Bu fanlar otomatik olarak çalışmakla birlikte manuel olarakta çalıştırılmaktadır. Ana güç trafolarında 154 kV ya yükseltilecek enerji, enerji nakil hatları aracılığıyla üç blok halinde şalt sahasına aktarılır

### **3.2. Karkamış HES'in Çalışma Koşulları**

Fırat havzası üzerinde olup Türkiye sınırları içerisinde bulunan son baraj olan Karkamış HES'in konumu ve yapısı itibariyle birçok çalışma kısıtı vardır. Karkamış HES ünitelerinin üretimleri sırasında gölün su kotu; kavitasyon sınırı olan 336.5- taşma kotu olan 340 aralığında olmalıdır. Havzadan gelen su, Karkamış HES'in 35 km gerisinde bulunan Birecik Nizip HES'in üretiminden gelen su ile aradaki nehre kaynak oluşturan yeraltı ve yer üstü sularından gelmektedir. <sup>6</sup>Karkamış HES göl kapasite hacmi 156,9 h/m<sup>3</sup>'tür. Havza üzerinde kendinden önceki barajdan gelen suyun Karkamış HES'te üretim ile atılmaması hızlıca gölün dolmasına ve tasma seviyesine gelmesine sebep olur. Karkamış HES nehir tipi bir santral olması hasebiyle göl havzasının dolup taşmasına mahal vermeyecek şekilde çalışması gerekmektedir. Bunun için gerek fezeyan döneminde gerekse üstteki barajların su bırakması durumlarında gelen suyu karşılayabilecek emre amadeliğe sahip olmalıdır. Ayrıca Karkamış HES'ten mansaba bırakılan su, komşu ülkemiz olan Suriye gitmekte olup saniyede ortalama en az 500m<sup>3</sup> gönderilmektedir.

Karkamış HES'in mansabında bulunan yerleşim yerlerinde tarımsal faaliyetler, balık tutma ve yüzme gibi faaliyetler yapılabilir. Santralin çalışması esnasında bıraktığı su miktarı bu faaliyetlerde bulunan insanların can ve mal kaybına yol açmaması için zaman zaman çalışma programının değişimi de çalışma koşullarını etkilemektedir.

Karkamış HES nehir tipi bir santral olduğundan gölün su seviyesinin düşük olduğu yerlerde yoğun yosunlaşma oluşmaktadır.

---

<sup>6</sup> <https://www.euas.gov.tr/en-US/power-plants/karkamis-hepp> (Erişim Tarihi: 22.12.2023).



Şekil 15: Karkamış HES Göl Havzasındaki Yosunlar

Bu yosunların boyları çok uzun olabilmekte ve kopup geldiklerinde su alma yapısında bulunan ızgaralarda su akışını engellemesi suyun gücünden yeterince faydalanılamamasına hatta üretim yapılamamasına sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra gölün yerleşim yerlerini çevresinde bulundurması ve balık çiftliklerine ev sahipliği yapması çöplerin ve kirliliğinde oluşmasına neden olmaktadır. Bu çöplerde Santral ızgarasını tıkamakta arızalara sebep olmakta ve üretime zarar vermektedir.



Şekil 16: Karkamış HES Su Alma Yapısı Iızgaralardan Toplanan Yosunlar

### 3.3. Karkamış HES'te Verim Hesapları

Santrallerde verim, işletmenin üretim için doğru planlanması ile olur. Bunun için çalışma koşulları içerisinde en verimli olan çalıştırma yöntemi tercih edilmelidir.

Bir hidrolik türbinde suyun akışından elde edilecek güç;

$$N_t = \rho g Q H$$

eşitliği ile ifade edilir

$N_t$  suyun akışından elde edilecek güç (W),

$\rho$  suyun yoğunluğunu ( $\text{kg/m}^3$ ),

$g$  yerçekimi ivmesini ( $\text{m/s}^2$ ),

$Q$  türbine gelen suyun hacimsel debisini ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),

$H$  hidrolik düşüğü (m) ve

( Krivchenko, 1993:21). Formülde verilen değerlerin ölçümü ve toplanması Oral'ın ( 2022) Karkamış Hes üzerine yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında da değindiği gibi aşağıda belirtilmiştir.

Güç değerleri ; generatörün ürettiği akım ve gerilim değerleri ölçü trafoları vasıtasıyla ölçüler. Bu ölçüm noktası generatör çıkışında veya trafo çıkışında olabilir. Buradan gelen bilgiler sayaca aktarılır ve üretilen güç hesaplanmış olur. Bu değerler SCADA sisteminde de mevcuttur.

Düşü; su alma yapısında suyun ızgaralara giriş kısmının üzerinde daldırma tip basınç sensörü ile santral göl seviye bilgisi SCADA ya birkaç noktadan aktarılmaktadır. Mansap bölgesinde de aynı şekilde basınç sensörü aldığı bilgiyi SCADA ya iletmektedir. Aynı zamanda ultrasonik mesafe sensöründe kullanılmaktadır. Sensörlerin farklı okuma yapması durumunda veya fiziksel eşel okumalarından farklı değer görülmesi durumunda kalibrasyonu yapılmaktadır. Giriş su kotundan çıkış su kotu çıkarılarak düşü hesaplanmaktadır.

Izgara kirlilik değeri; su alma yapısında bulunan göl seviye sensörü gölün kotunu ölçer. Suyun ızgaradan geçtikten sonra dinlenme havuzuna geldiği yerde daldırma tip basınç sensörü ile kotu ölçer. Bu iki ölçüm birbirinden çıkarılır ve ızgara kirlilik seviyesi bu şekilde belirlenir.

Krivchenko' dan alınan güç formülü ile suyun potansiyel enerjisi teorik olarak hesaplanmaktadır. Bununla birlikte toplam verimi, üretilen enerjinin trafo çıkışındaki ölçülen değer, suyun teorik olarak hesaplanan enerjisine bölümü ile bulunmaktadır.

$$\eta = N/N_t ($$

Yukarıdaki formülde enerji kayıplarından sonra hatta verilen enerji N ile simgelenmiştir. N ile simgelenen enerji hatta gelene kadar birçok kayba uğramaktadır. Bu kayıplar sırası ile aşağıda belirtilmektedir.

Eşitlikte kullanılan  $P_s$  ünite trafosunun yüksek tarafındaki gücünü (kW),

$\eta_{sg}$  su geçiş verimliliğini (%),

$\eta_t$  türbin verimliliğini (%),

$\eta_{gen}$  Jeneratör verimliliğini (%),

$\eta_{elec}$  trafonun yüksek gerilim tarafı arasındaki elektrik verimliliğini (%)

ifade etmektedir.

$$P_s = P_m \times \eta_{sg} \times \eta_t \times \eta_{gen} \times \eta_{elekt} \text{ (Kafalı,)}$$

Yukarıda belirtilen formüldeki verimler baz alındığında Karkamış HES'teki türbinlerin birebir tasarım ve imalat süreçleri aynı olup verimlerinin de aynı olduğu söylenmelidir. Burada fiziksel olarak bir değişiklik olmadığı sürece verim değerinde bir değişiklik olmayacaktır. Generatörler de aynı şekilde yapılmış tasarım, imalat ve proje değerleri aynıdır. Generatörlerde bir proje değişikliği olmadan zaman zaman bakım onarım yapılmaktadır. Dolayısı ile generatör verim hesabında da bir değişiklik olmayacaktır. Trafo projeleri aynıdır ve verimler burada da bir değişiklik göstermemektedir. Her bir ana güç trafosu 2 adet üniteye bağlı olarak çalışmakta olup verim katsayıları bu üniteler için aynıdır.

Verimlilik içerisinde sadece net olarak değişiklik gösteren ve formülü direkt olarak etkileyen faktör su geçiş verimliliğidir. Bu sebeple verim hesabında su geçiş verimliliği dışındakiler proje değerleri olup değişkenlik göstermeyecektir. Su geçiş verimliliğini oluşturan kayıplar ızgara sürtünme kayıpları, girişteki düşü kaybı, cebri boru sürtünme kaybı, emme borusu çıkışındaki kayıp olarak sıralanabilir. Bu kayıplardan ızgara bütün ünitelerde aynı olup tasarım değişmediği sürece kayıp değişimi olmayacaktır. Cebri boru olmadığından buradaki verim hesabını yok kabul edilir. Su geçiş veriminde ızgara kirliliğinin etkisini görebilmek için aynı koşullarda kirliliğinin su basınç değişiminin bize verdiği değerlerdeki değişimi baz alarak çıkarım yapılabilir.

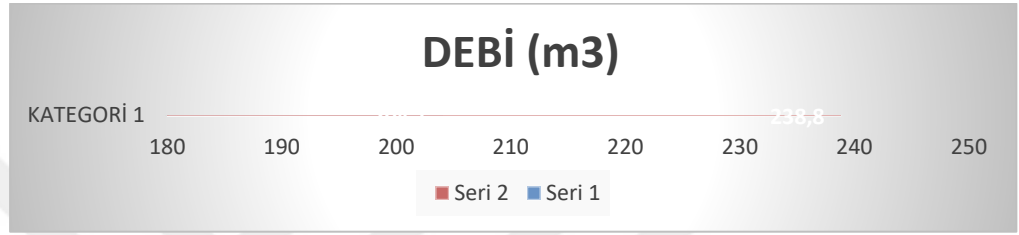
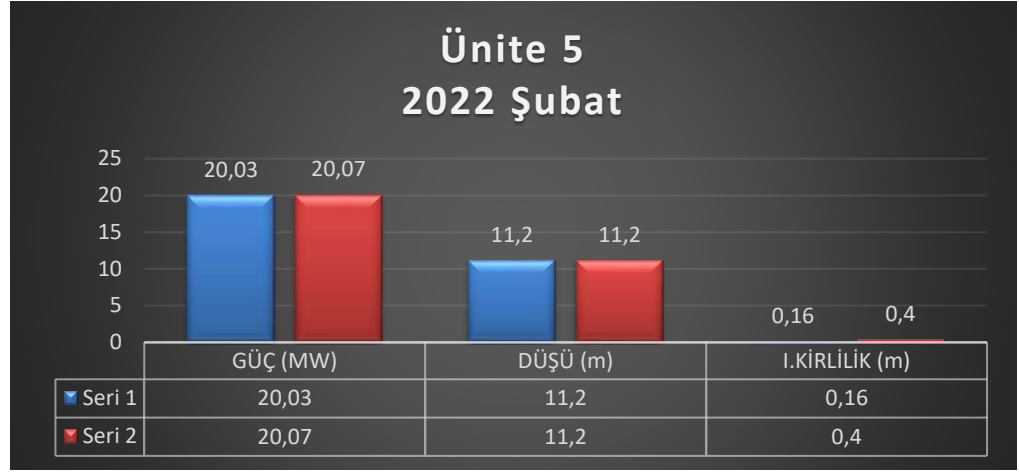
### 3.4. Karkamış HES’te Çalışma Koşullarının Verimliliğe Etkisinin Ortaya Konulması

Karkamış HES’te 6 adet ünite olup her birinin üretim kapasitesi 31.5 MW’tır. Her bir ünite kendi içinde ve diğer üniteler arasında verimlilik açısından kıyaslanacaktır. Bu kıyaslama üretim esnasında güç formülündeki değişkenlerin bir kısmı sabit tutarak diğerlerindeki değişikliklerin kontrolü ile yapılacaktır. Güç formülü  $P=q.Q.H$  olup ünitenin hep aynı aralıklarda üretim yapmasından faydalanarak kıyaslamalarda genellikle güç sabit tutulacaktır. Suyun yoğunluğu ve yerçekimi ivmesi zaten sabit olduğundan geriye debi ve düşü kalmaktadır. Nehir tipi bir santral olan Karkamış HES’te düşü aralığı dar olup genelde 1-2 metre değişkenlik göstererek çalışmaktadır. Bu nedenle aynı düşü verisinin çokluğu eşit düşü alınarak kıyas yapmayı kolaylaştırmıştır. Güç ve düşünün eşit olduğu durumlarda güç formülünde geriye kalan debinin değişkenliği verim hakkında bilgi verecektir. Eşit güç ve düşüde yapılan üretimlerde kullanılan suyun debisinin daha az olması verimliliğinde diğer çalışmalara nazaran yüksek olduğunu gösterecektir.

Bu kapsamda 2022-2023 içerisindeki SCADA sisteminden alınan veriler toplanarak incelenmiş içlerinden enerji için harcanan su miktarının az olduğu yani verimin yüksek olduğu ve aynı koşullarda harcanan su miktarının yüksek olduğu dolayısı ile verimin düşük olduğu değer alınıp karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar tablolar haline getirilmiş değişkenler kontrol edilmiştir. Bu çalışmalar sırasında debi ile ızgara kirliliğini ölçen sensörün değeri arasında paralellik görülmüştür. Bununla birlikte değişkenler incelendiğinde ızgaralardaki kirliliğin artması ile ayar kanatları da daha fazla açılarak aynı gücü üretmek için daha fazla su harcadığı görülmüştür. Çalışmanın bu kısmında ilk etapta üniteler kendi içerisinde kıyas edilmiştir. Kendi içerisinde kıyas yaparken aynı ekipmanın aynı dönem içerisinde ve aynı ölçüm sistemi kullanılmıştır. Bu durum bize farklılığı tespit etmek ve doğru sonuçlar almamızı sağlayacaktır. Kirlilik ve verimlilik ilişkisini ele alan bu yüksek lisans tezinde veriler aşağıdaki gibi tablolastırılmıştır.

Tablo 2: Ü-5 Şubat Ayı Veri Analizi Örnek 1

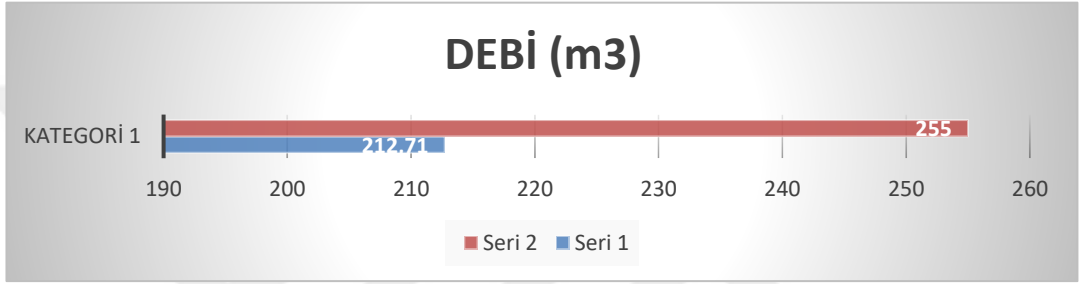
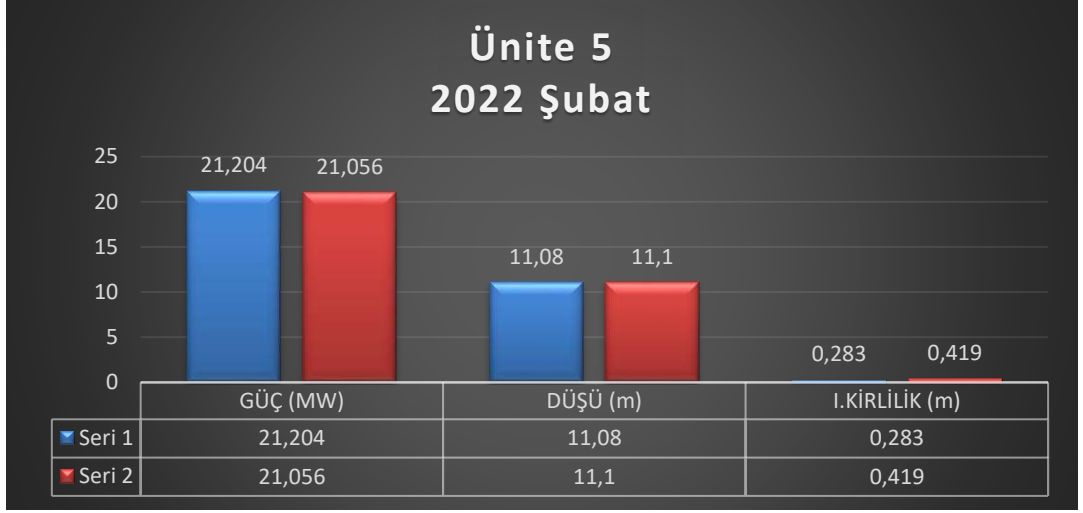
| ÜNİTELER | Tarih     | Saat     | AM/PM | Kirlilik | Düşü   | Güç      | Debi       | Debi Farkı |
|----------|-----------|----------|-------|----------|--------|----------|------------|------------|
| ÜNİTE-5  | 2/23/2022 | 05:17:34 | PM    | 0.16 m   | 11,2 m | 20,03 MW | 204.1 m3/s | 34 m3/s    |
| ÜNİTE-5  | 2.05.2022 | 02:00:34 | AM    | 0,4 m    | 11,2 m | 20,07 MW | 238.8 m3/s |            |



Şekil 17: Ü-5 Şubat Ayı Veri Analizi Grafiği 1

Tablo 3: Ü-5 Şubat Ayı Veri Analizi Örnek 2

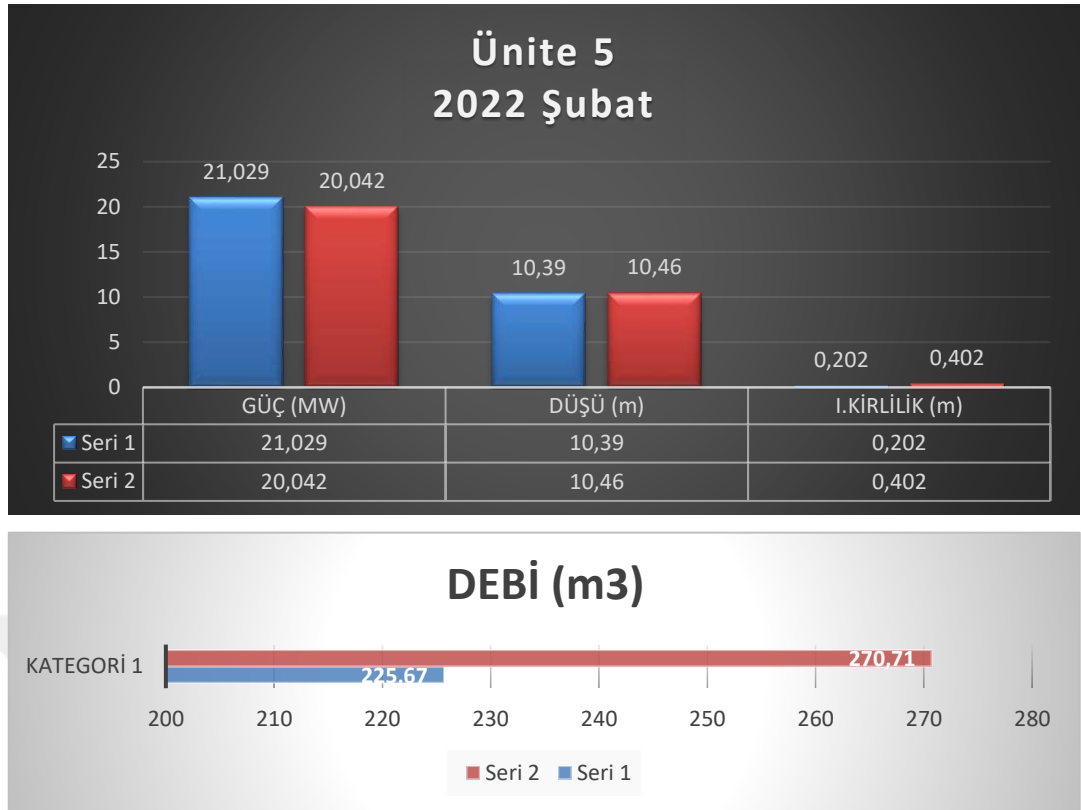
| ÜNİTELER | Tarih     | Saat     | AM/PM | Kirlilik | Düşü  | Güç    | Debi   | Debi Farkı |
|----------|-----------|----------|-------|----------|-------|--------|--------|------------|
| ÜNİTE-5  | 2/17/2022 | 05:26:34 | AM    | 0.283    | 11,08 | 21,204 | 212,71 | 42 m3/s    |
| ÜNİTE-5  | 2/15/2022 | 06:00:34 | AM    | 0.419    | 11.1  | 21,056 | 255    |            |



Şekil 18: Ü-5 Şubat Ayı Veri Analizi Grafiği 2

Tablo 4: Ü-5 Şubat Ayı Veri Analizi Örnek 3

| ÜNİTELER | Tarih     | Saat     | AM/PM | Kirlilik | Düşü  | Güç    | Debi  | Debi Farkı |
|----------|-----------|----------|-------|----------|-------|--------|-------|------------|
| ÜNİTE-5  | 2/13/2022 | 03:29:34 | PM    | 21,029   | 10,39 | 225,67 | 0.202 | 45 m3/s    |
| ÜNİTE-5  | 2.05.2022 | 10:10:34 | PM    | 21,042   | 10,46 | 270,71 | 0.402 |            |

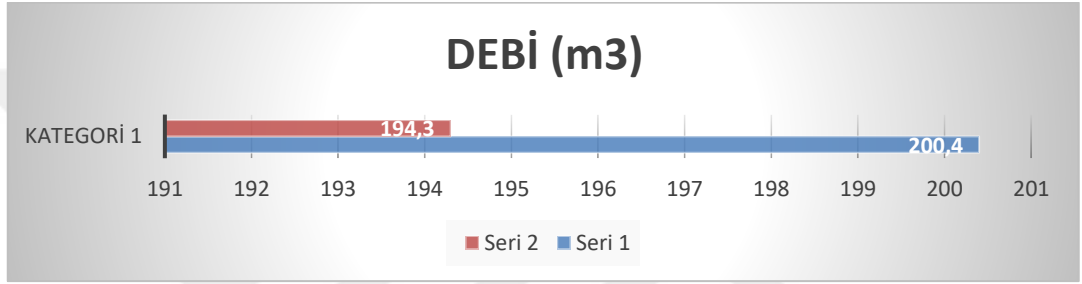


Şekil 19: Ü-5 Şubat Ayı Veri Analizi Grafiği 3

Ünite 5'in 2022 Şubat ayı içerisindeki verilerin analizinde; güç hesabında kullanılan güç, net düşü parametreleri aynı tutularak kıyaslama yapılmış olup debinin farklı olduğu durumlarda kirliliğinde farklı olduğu görülmüştür. Tablolarda görüldüğü üzere eşit güç üretimi için harcanan su miktarında 30- 40 m3 bir fark ortaya çıkmaktadır. Bu su miktarını üretime kazandırılmasıyla birkaç MW fazla üretim sağlanabilecektir. Bu kıyasta ünitenin kirlilik düzeyinin artması ile debi miktarında ki artışında paralel olduğunu ortaya konulmaktadır.

Tablo 5: Ü-6 Haziran Ayı Veri Analizi Örnek 1

| ÜNİTELER | Tarih     | Saat     | AM/PM | Güç      | Düşü     | Debi  | Kirlilik | Debi Farkı |
|----------|-----------|----------|-------|----------|----------|-------|----------|------------|
| ÜNİTE-6  | 6/23/2022 | 07:28:34 | AM    | 20,13888 | 11,47656 | 200.4 | 0.431    |            |
| ÜNİTE-6  | 6/25/2022 | 01:25:34 | AM    | 20,10881 | 11,61255 | 194.3 | 0.115    | 6 m3/s     |

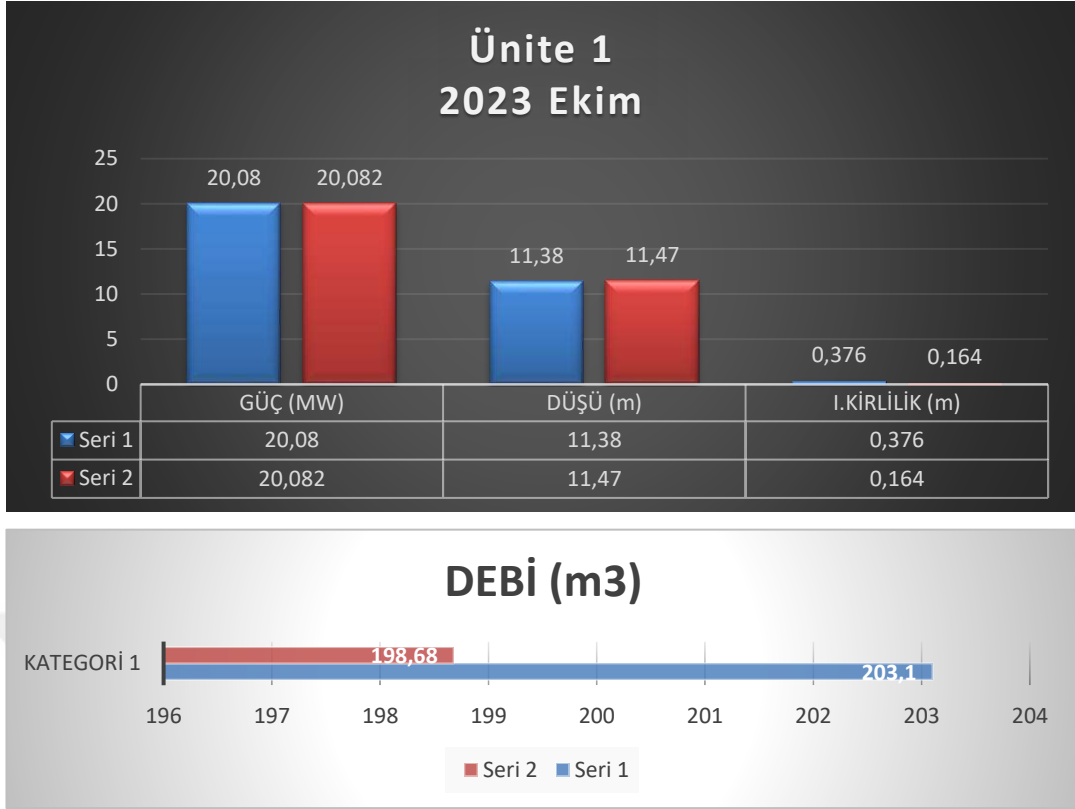


Şekil 20: Ü-6 Haziran Ayı Veri Analizi Grafiği

Ünite 6'nın 2022 Haziran ayı içerisinde yapılan analizinde aynı koşullardaki çalışmalardan alınan örneklerden biri paylaşılmış olup 6m3 lük bir fark tespit edilmiştir. Izgara kirlilik değeri tabloda görüldüğü üzere iki çalışma arasında 30 cm fark görülmektedir. Bu ünitedeki kirliliği fazla olan üniten su miktarındaki debinin daha fazla olduğu görülmektedir. Bu kirliliğin üretimde harcanan su miktarındaki değişimi %3 lük bir orana tekabül etmektedir.

Tablo 6: Ü-1 Ekim Ayı Veri Analizi Örnek 1

| ÜNİTELER | Tarih      | Saat     | AM/PM | Güç    | Krillik | Debi     | Düşü     | Debi Farkı |
|----------|------------|----------|-------|--------|---------|----------|----------|------------|
| ÜNİTE-1  | 10/19/2022 | 01:36:34 | AM    | 20,08  | 0.376   | 203,1082 | 11,38104 | 5 m3/s     |
| ÜNİTE-1  | 10.01.2022 | 08:42:34 | AM    | 20,082 | 0.164   | 198,6822 | 11,47366 |            |

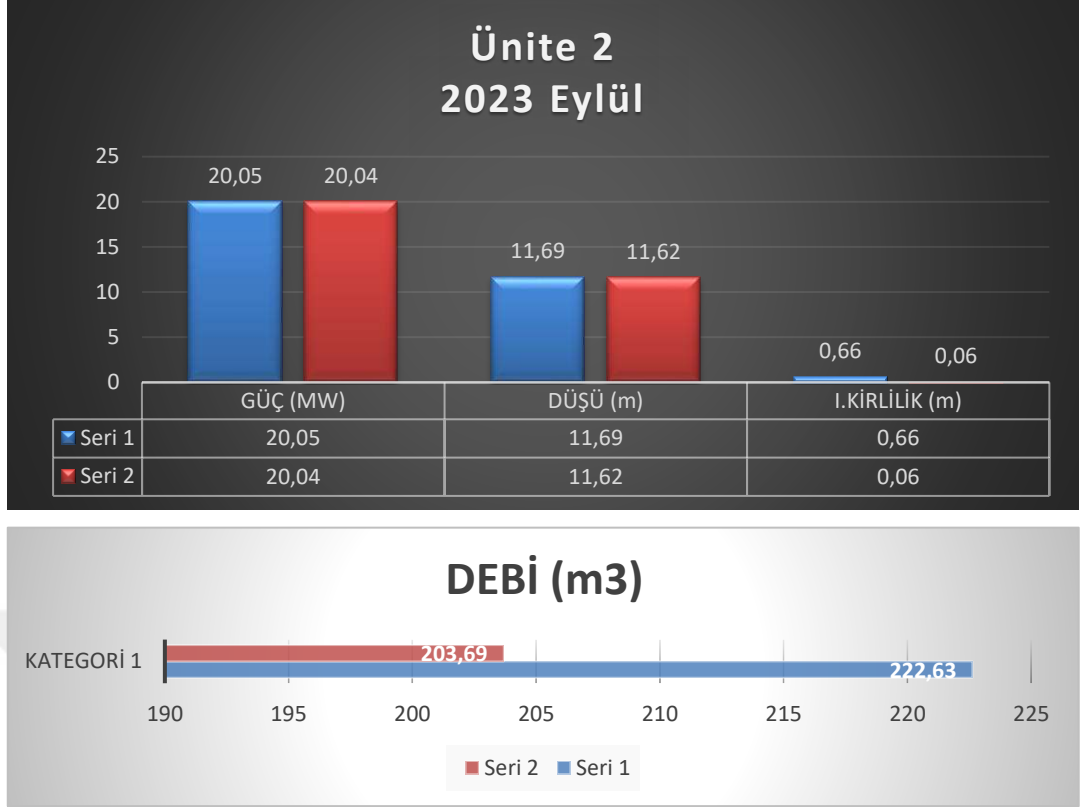


Şekil 21: Ü-1 Ekim Ayı Veri Analizi Grafiği

Ünite 1 2022'nin Ekim ayında yapılan veri analizinde güç ve düşü değerlerinin aynı olduğu çalışma tespit edilmiş aradaki farka bakıldığında kirliliğin 20 cm daha fazla olduğu çalışmada 5 m<sup>3</sup>'lük bir debi artışı görülmüştür. Bu değerler ile kirliliğin yüksek olduğu çalışmada debi kaybı olduğu görülmektedir.

Tablo 7: Ü-2 Eylül Ayı Veri Analizi Örnek 1

| ÜNİTELER | Tarih     | Saat     | AM/PM | Güç      | Düşü     | Debi   | Kirlilik | Debi Farkı |
|----------|-----------|----------|-------|----------|----------|--------|----------|------------|
| ÜNİTE-2  | 9.04.2022 | 03:50:34 | PM    | 20,05908 | 11,69067 | 222,63 | 0.66     | 19 m3/s    |
| ÜNİTE-2  | 9.01.2022 | 11:30:34 | AM    | 20,04394 | 11,62408 | 203,69 | 0.06     |            |

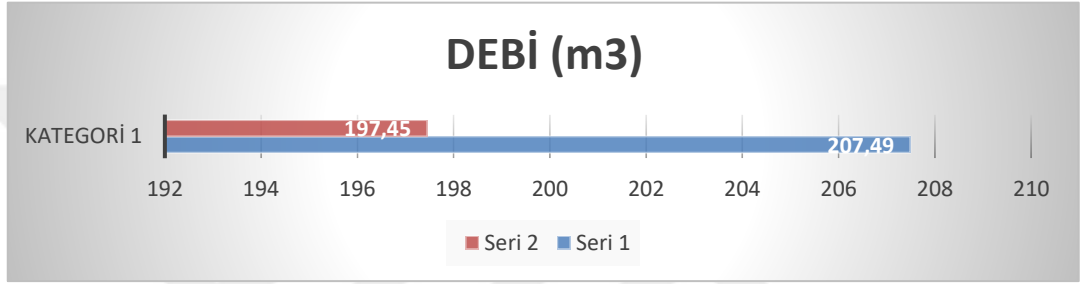


Şekil 22: Ü-2 Eylül Ayı Veri Analizi Grafiği

Ünite 2 2022'nin Eylül ayındaki verileri kullanılarak yapılan analizden aynı güç ve düşüdeki çalışmalardan biri tabloda verilmiştir. İki çalışmada da 11.6 m'lik bir düşü varken 20 MWlık bir üretim gerçekleşmiştir. Izgara kirliliği farkı ise 60 cm'dir. Harcanan su miktarı yani debiler arasındaki farkın 19 m3 olduğu görülmüştür. Debinin yaklaşık %10 nu oranında bir fark oluşmuştur.

Tablo 8: Ü-2 Eylül Ayı Veri Analizi Örnek 1

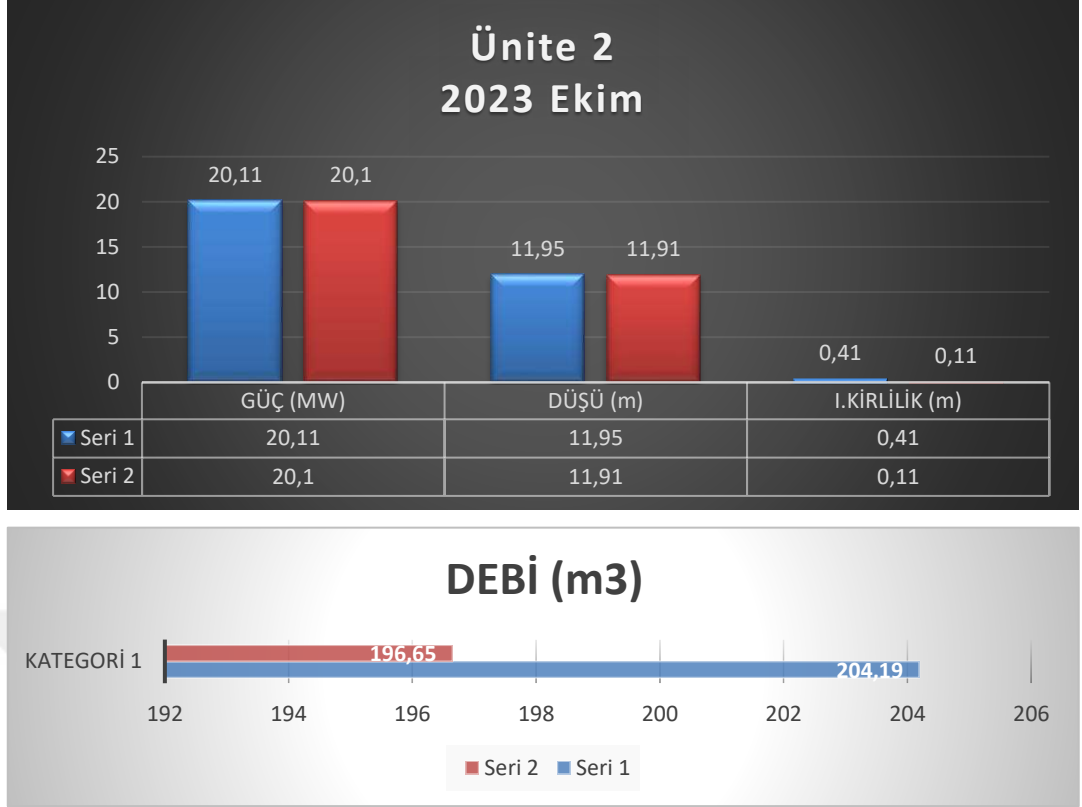
| ÜNİTELER | Tarih      | Saat     | AM/PM | Güç    | Düşü     | Debi   | Kirlilik | Debi Farkı |
|----------|------------|----------|-------|--------|----------|--------|----------|------------|
| ÜNİTE-2  | 10/16/2022 | 05:23:34 | PM    | 20,09  | 11,93951 | 207.49 | 0.40     |            |
| ÜNİTE-2  | 10.03.2022 | 10:20:34 | AM    | 20,102 | 11,90189 | 197.45 | 0.08     | 10 m3/s    |



Şekil 23: Ü-2 Ekim Ayı Veri Analizi Grafiği 1

Tablo 9: Ü-2 Ekim Ayı Veri Analizi Örnek 1

| ÜNİTELER | Tarih      | Saat     | AM/PM | Güç    | Düşü     | Debi   | Kirlilik | Debi Farkı |
|----------|------------|----------|-------|--------|----------|--------|----------|------------|
| ÜNİTE-2  | 10/16/2022 | 09:16:34 | PM    | 20,117 | 11,95685 | 209.68 | 0.41     | 17 m3/s    |
| ÜNİTE-2  | 10.05.2022 | 11:25:34 | AM    | 20,102 | 11,91058 | 192.25 | 0.11     |            |

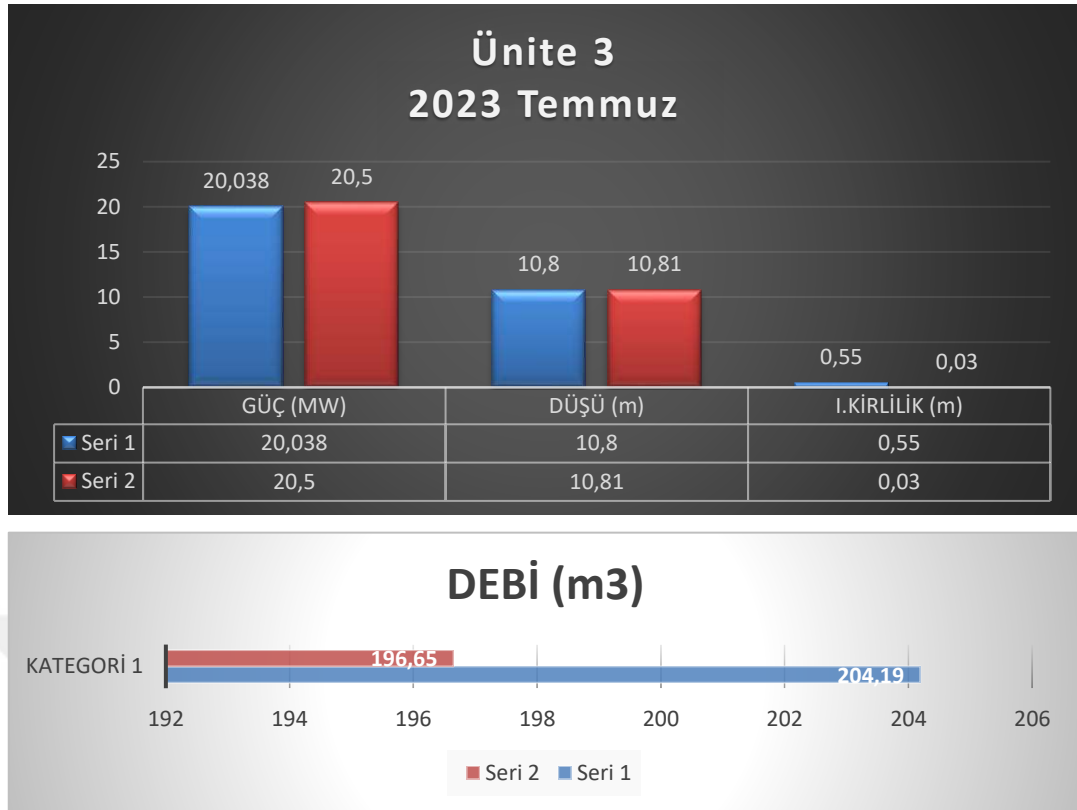


Şekil 24: Ü-2 Ekim Ayı Veri Analizi Grafiği 2

Ünite 2'nin 2022 Ekim ayı verilerinde yapılan çalışma kıyaslarından eşit düşü ve eşit güç üretiminden alınan iki örnek tabloda verilmiştir. Kirlilik değeri yüksek olan çalışmalarda ilk tabloda 10 m3 fazla bir debi ile su harcandığı görülmektedir. İkinci tabloda ise yaklaşık 17 m3 lük bir debi farkı ortaya çıkmıştır. Kirlilik değeri yüksek olan ünitelerde harcanan su miktarları yüksek olmaktadır.

Tablo 10: Ü-3 Temmuz Ayı Veri Analizi Örnek 1

| ÜNİTELER | Tarih     | Saat     | AM/PM | Güç    | Düşü  | Debi   | Kirlilik | Debi Farkı |
|----------|-----------|----------|-------|--------|-------|--------|----------|------------|
| ÜNİTE-3  | 7/27/2023 | 12:59:44 | AM    | 20.038 | 10,80 | 204.19 | 0.55     | 11 m3/s    |
| ÜNİTE-3  | 7.06.2023 | 07:30:44 | PM    | 20,5   | 10,81 | 196.65 | 0.03     |            |

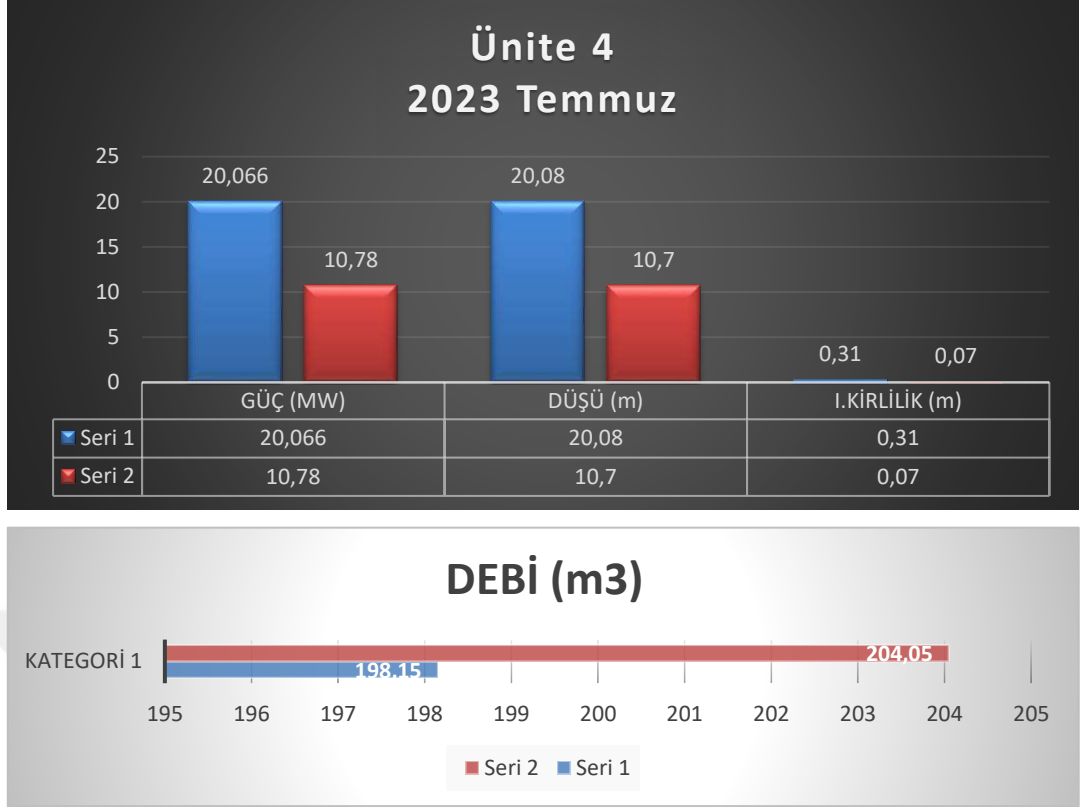


Şekil 25: Ü-3 Temmuz Ayı Veri Analizi Grafiği

Ünite 3'ün 2023 Temmuz ayı çalışma verilerinde aynı güç ve aynı debi değerleri bulunamamıştır. Bu ay için kıyaslama yapılırken kirliliği az olan ünitenin eşit düşüde daha fazla güç üretimi yaparken daha az su kullandığını gösteren bir örneklem alınmıştır. Tabloda görüldüğü üzere yaklaşık 0.5 MW lık daha yüksek bir üretimi ızgara kirlilik seviyesi yüksek olan çalışmaya nazaran 11 m3 lük daha az bir debi ile gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Tablo 11: Ü-4 Temmuz Ayı Veri Analizi Örnek 1

| ÜNİTELER | Tarih     | Saat     | AM/PM | Güç    | Düşü  | Debi   | Kirlilik | Debi Farkı |
|----------|-----------|----------|-------|--------|-------|--------|----------|------------|
| ÜNİTE-4  | 7/31/2023 | 11:07:44 | PM    | 20,066 | 10,78 | 204.05 | 0.31     | 6 m3/s     |
| ÜNİTE-4  | 7/30/2023 | 06:18:44 | PM    | 20,08  | 10,7  | 198.15 | 0.07     |            |

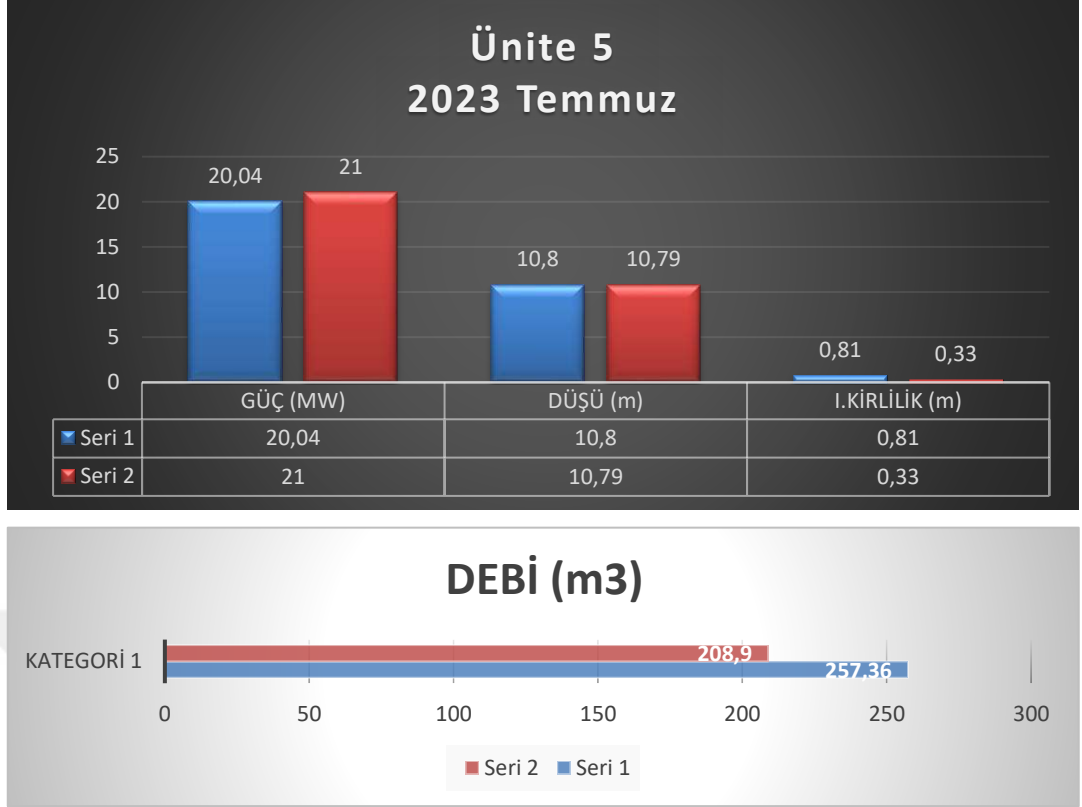


Şekil 26: Ü-4 Temmuz Ayı Veri Analizi Grafiği

Ünite 4 2023 Temmuz ayı verilerin ışığında hazırlanmış tabloda görüldüğü üzere 10.7 mlik eşit bir düşüden gerçekleşen 20 MW’lık eşit güç üretiminde debilerin farklı olduğu görülmektedir. Kirlilik değerleri 30 cm gibi düşük bir değer olmasına rağmen daha kirli olan ünitenin 6 m3 lük fazla debi attığı tespit edilmiştir.

Tablo 12: Ü-5 Temmuz Ayı Veri Analizi Örnek 1

| ÜNİTELER | Tarih     | Saat     | AM/PM | Güç   | Düşü  | Debi   | Kirlilik | Debi Farkı |
|----------|-----------|----------|-------|-------|-------|--------|----------|------------|
| ÜNİTE-5  | 7/26/2023 | 10:50:44 | PM    | 20,04 | 10,8  | 257.36 | 0,81     | 49 m3/s    |
| ÜNİTE-5  | 7/27/2023 | 05:05:44 | AM    | 21    | 10,79 | 208.90 | 0,33     |            |

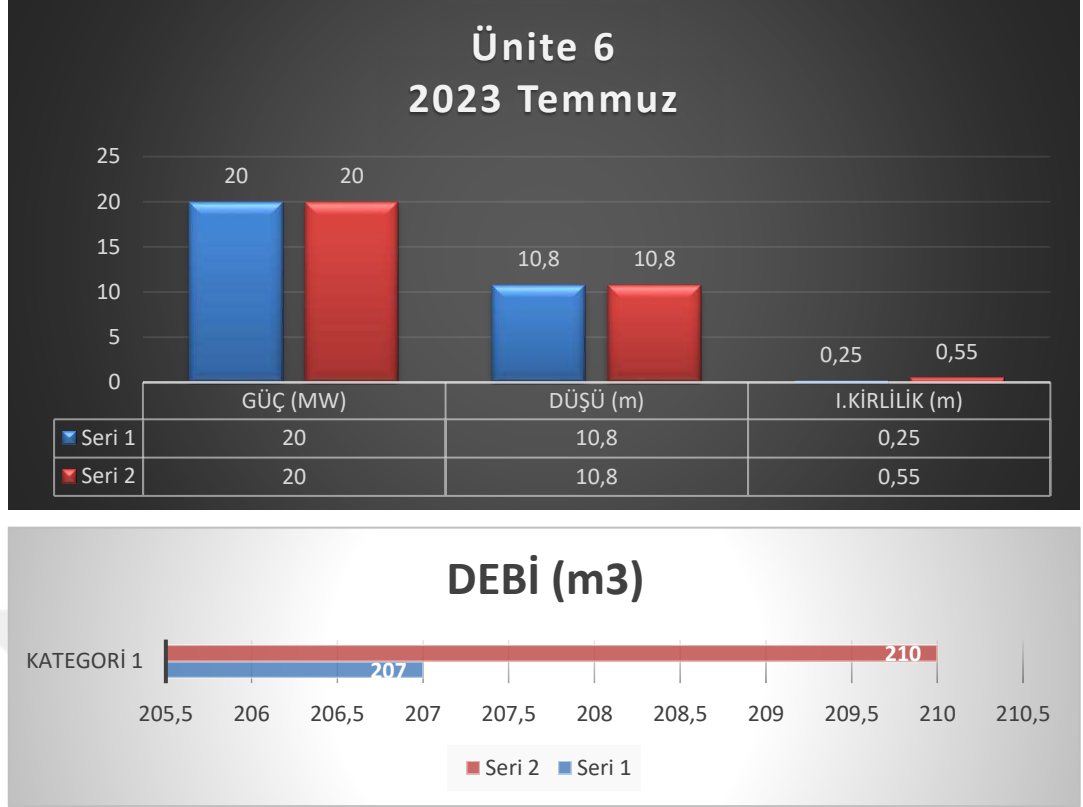


Şekil 27: Ü-2 Temmuz Ayı Veri Analizi Grafiği

Ünite 5'in 2023 yılı temmuz ayında yapmış olduğu çalışmalara bakıldığında en çok kirlilik değerinin görüldüğü çalışmalardan biride tespit edilmiştir. Bu çalışmada 80 cm kirlilikte Ünite 5 20 MW lık üretimi saniyede 257 m3 lük debide su kullanarak elde etmektedir. Aynı Ünite ertesi gün aynı düşüde 21 MW lık üretimi 30cm kirlilikte 208.9 m3 lük debide su kullanarak gerçekleştirmektedir. Üretim olarak ızgarası kirli olan çalışmada 1MW lık daha az bir üretim yapılmaktadır. Burada kirliliği yüksek olan çalışmada 49 m3 lük daha fazla bir debi farkı tespit edilmiş olup üretimde ise 1 MW daha az üretim gerçekleşmiştir.

Tablo 13: Ü-6 Temmuz Ayı Veri Analizi Örnek 1

| ÜNİTELER | Tarih     | Saat     | AM/PM | Güç | Düşü | Debi      | Kirlilik | Debi Farkı |
|----------|-----------|----------|-------|-----|------|-----------|----------|------------|
| ÜNİTE-6  | 7.08.2023 | 03:40:44 | PM    | 20  | 10,8 | 0,20-0,30 | 207      | 3 m3/s     |
| ÜNİTE-6  | 7/25/2023 | 12:35:44 | PM    | 20  | 10,8 | 0,60-0,50 | 210      |            |



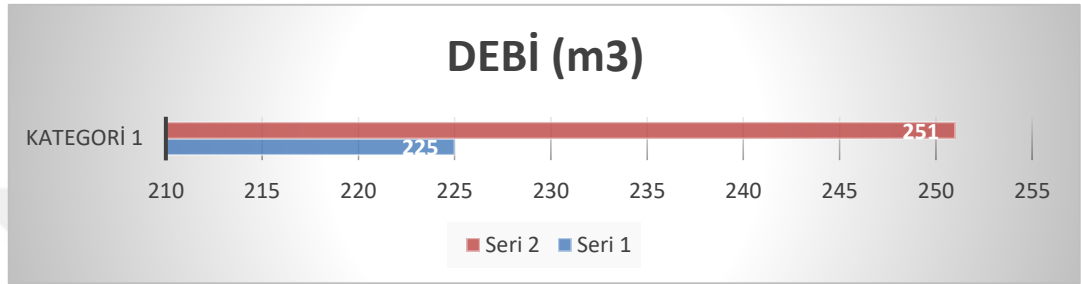
Şekil 28: Ü-6 Temmuz Ayı Veri Analizi Grafiği

Ünite 6'nın 2023 Temmuz ayında yapılan çalışmalar incelendiğinde aynı düşüde yapılan eşit üretimde 3 m3 lük bir debi farkı tespit edilmiştir. Bu çalışmaların kirlilik farkı 0.20 cm'dir.

Tablo 14: Ü-6 Ağustos Ayı Veri Analizi Örnek 1

| ÜNİTELER | Tarih     | Saat     | AM/PM | Güç   | Düşü | Debi     | Kirlilik | Debi Farkı |
|----------|-----------|----------|-------|-------|------|----------|----------|------------|
| ÜNİTE-6  | 8/17/2023 | 05:45:44 | PM    | 20.50 | 9,69 | 251,4189 | 0,84491  |            |
| ÜNİTE-6  | 8/17/2023 | 10:53:44 | PM    | 20,55 | 9,97 | 225,6739 | 0,214111 | 25 m3/s    |

Ünite 6'nın 2023 yılı Ağustos ayı içerisinde yapmış olduğu üretimler sırasında alınan veriler analiz edilmiştir. Eşit güç üretiminde kirliliği fazla olan ünitenin düşüsünün daha az olduğu bir çalışma tablosunda verilmiştir. Aynı gün içerisinde kirliliğin artması ile aynı güç üretimi için debi miktarının da arttığı verilerde tespit edilmiş ve 25 m3 lük bir fark ortaya çıkmıştır.



Şekil 29: Ü-6 Ağustos Ayı Veri Analizi Grafiği



Şekil 30: Karkamış HES Ü-4 ve Ü-5 Üretimi esnasından SCADA'dan Anlık Görüntü.

Tablo 15: Ü-5 ve Ü-4 Şubat Ayı Veri Analizi Örnek 1

| ÜNİTELER | Tarih               | Kirlilik   | Düşü     | Güç      | Debi       | Debi Farkı |
|----------|---------------------|------------|----------|----------|------------|------------|
| ÜNİTE-4  | 23.10.2021 13:19 PM | 0,04 metre | 11 metre | 20,08 MW | 201.1 m3/s | 10m3/s     |
| ÜNİTE-5  | 03.11.2021 13:19 PM | 0,5 metre  | 11 metre | 20,07 MW | 211.6 m3/s |            |

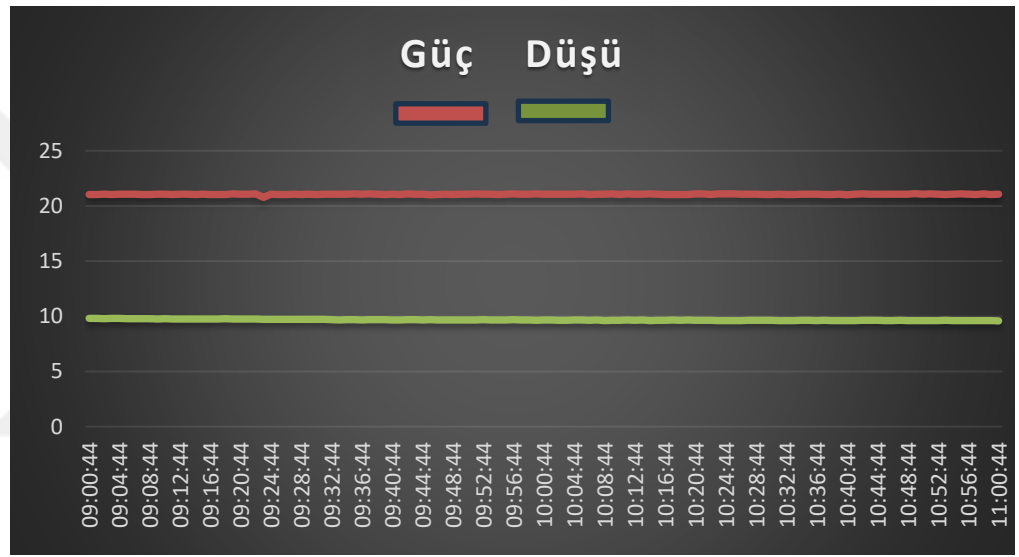
Yukarıda anlık olarak üretim görüntüsü alınan iki ünitenin değerlerinin kıyaslaması tablo halinde sunulup kirlilik faktörünün 10 m3 lük bir su kaybı oluşturduğu görülmektedir.

Tablo 16: Ünite 5 2 Saatlik Üretiminin Dakikalık Verileri

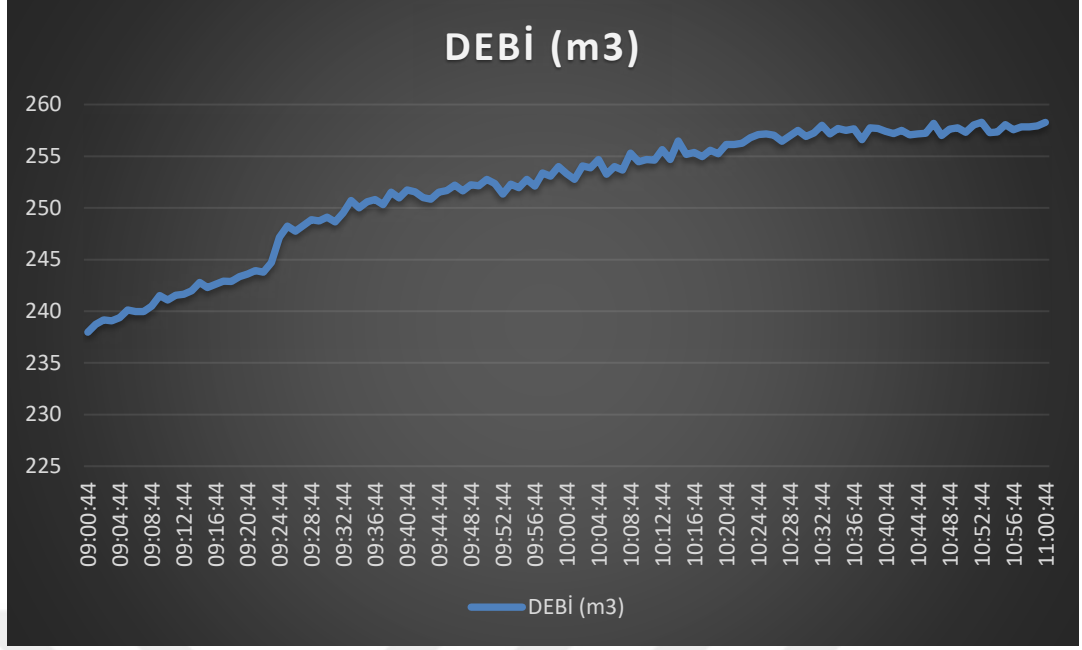
| <b>ÜNİTE 5</b>      |                   |            |             |
|---------------------|-------------------|------------|-------------|
| <b>DEBİ</b>         | <b>KİRLİLİK</b>   | <b>GÜÇ</b> | <b>DÜŞÜ</b> |
| 237.974.777.221.680 | 0.243072509765625 | 21,03493   | 9,803711    |
| 238.737.976.074.219 | 0.2633056640625   | 21,02845   | 9,809509    |
| 239.154.129.028.320 | 0.26910400390625  | 21,06315   | 9,780548    |
| 239.066.680.908.203 | 0.286468505859375 | 21,03305   | 9,803711    |
| 239.375.473.022.461 | 0.2835693359375   | 21,0793    | 9,797913    |
| 240.118.118.286.133 | 0.28936767578125  | 21,06234   | 9,789246    |
| 239.970.550.537.109 | 0.30963134765625  | 21,06183   | 9,783447    |
| 239.972.351.074.219 | 0.3125            | 21,03379   | 9,771881    |
| 240.498.397.827.148 | 0.315399169921875 | 21,04005   | 9,771881    |
| 241.529.953.002.930 | 0.315399169921875 | 21,05208   | 9,751617    |
| 241.098.266.601.563 | 0.329864501953125 | 21,06402   | 9,771881    |
| 241.534.317.016.602 | 0.3414306640625   | 21,04424   | 9,754517    |
| 241.629.028.320.313 | 0.332763671875    | 21,0774    | 9,766083    |
| 241.983.734.130.859 | 0.352996826171875 | 21,06259   | 9,757416    |
| 242.799.514.770.508 | 0.352996826171875 | 21,0442    | 9,760315    |
| 242.280.731.201.172 | 0.364593505859375 | 21,07409   | 9,757416    |
| 242.598.632.812.500 | 0.364593505859375 | 21,05107   | 9,751617    |
| 242.916.412.353.516 | 0.379058837890625 | 21,03746   | 9,740051    |
| 242.884.521.484.375 | 0.370391845703125 | 21,04042   | 9,771881    |
| 243.343.811.035.156 | 0.384857177734375 | 21,08131   | 9,751617    |
| 243.589.813.232.422 | 0.407989501953125 | 21,05509   | 9,757416    |
| 243.926.498.413.086 | 0.40509033203125  | 2,107336   | 9,74585     |
| 243.774.215.698.242 | 0.393524169921875 | 21,10451   | 9,754517    |
| 244.694.839.477.539 | 0.407989501953125 | 20,77195   | 9,722687    |
| 247.159.530.639.648 | 0.5352783203125   | 2,106902   | 9,725586    |
| 248.239.837.646.484 | 0.549774169921875 | 21,04566   | 9,737152    |
| 247.733.215.332.031 | 0.549774169921875 | 21,04522   | 9,71402     |
| 248.300.140.380.859 | 0.57000732421875  | 2,106338   | 9,725586    |
| 248.846.160.888.672 | 0.558441162109375 | 21,04742   | 9,71402     |
| 248.729.507.446.289 | 0.564239501953125 | 21,06944   | 9,711121    |
| 249.103.607.177.734 | 0.570037841796875 | 21,04907   | 9,725586    |
| 248.628.997.802.734 | 0.564239501953125 | 21,05223   | 9,731384    |
| 249.514.816.284.180 | 0.59027099609375  | 21,05434   | 9,702423    |
| 250.704.925.537.109 | 0.578704833984375 | 21,0538    | 9,670593    |
| 250.009.048.461.914 | 0.60186767578125  | 0,210672   | 9,699554    |
| 250.599.807.739.258 | 0.5960693359375   | 21,08825   | 9,687958    |
| 250.804.779.052.734 | 0.60186767578125  | 21,05815   | 9,670593    |
| 250.304.931.640.625 | 0.61053466796875  | 0,000211   | 9,702423    |
| 251.521.926.879.883 | 0.61053466796875  | 2,107264   | 9,685089    |
| 250.953.948.974.609 | 0.607635498046875 | 21,04221   | 9,693756    |
| 251.173.649.597.168 | 0.61053466796875  | 21,05656   | 9,667725    |
| 251.542.831.420.898 | 0.6163330078125   | 21,02914   | 9,659027    |
| 250.992.782.592.773 | 0.616302490234375 | 21,08357   | 9,696655    |
| 250.839.843.750     | 0.636566162109375 | 21,0553    | 9,696655    |
| 251.525.909.423.828 | 0.622100830078125 | 21,0533    | 9,679291    |
| 251.674.789.428.711 | 0.645263671875    | 21,01786   | 9,685089    |
| 252.217.010.498.047 | 0.642364501953125 | 21,0289    | 9,667725    |
| 251.660.369.873.047 | 0.65972900390625  | 21,07634   | 9,679291    |

|                     |                   |          |          |
|---------------------|-------------------|----------|----------|
| 252.243.850.708.008 | 0.65106201171875  | 21,03255 | 9,670593 |
| 252.149.169.921.875 | 0.645263671875    | 2,105808 | 9,670593 |
| 252.745.468.139.648 | 0.645263671875    | 21,06175 | 9,667725 |
| 252.347.625.732.422 | 0.66552734375     | 21,09065 | 9,667725 |
| 251.344.833.374.023 | 0.65972900390625  | 21,05839 | 9,687958 |
| 252.309.280.395.508 | 0.651031494140625 | 21,05866 | 9,670593 |
| 251.965.637.207.031 | 0.65106201171875  | 21,0422  | 9,679291 |
| 252.769.592.285.156 | 0.677093505859375 | 21,05304 | 9,670593 |
| 252.110.839.843.750 | 0.665496826171875 | 21,09069 | 9,68219  |
| 253.386.901.855.469 | 0.6741943359375   | 2,107762 | 9,653259 |
| 253.078.201.293.945 | 0.6741943359375   | 21,07814 | 9,653259 |
| 254.011.611.938.477 | 0.67999267578125  | 21,09391 | 9,641663 |
| 253.317.001.342.773 | 0.671295166015625 | 21,0681  | 9,670593 |
| 252.759.719.848.633 | 0.685760498046875 | 21,05836 | 9,667725 |
| 254.062.942.504.883 | 0.685760498046875 | 21,06784 | 9,627197 |
| 253.860.900.878.906 | 0.682891845703125 | 21,05522 | 9,65036  |
| 254.668.258.666.992 | 0.691558837890625 | 21,05395 | 9,656128 |
| 253.260.238.647.461 | 0.706024169921875 | 21,08496 | 9,673492 |
| 253.992.462.158.203 | 0.723358154296875 | 21,04845 | 9,644562 |
| 253.652.801.513.672 | 0.714691162109375 | 2,107775 | 9,664825 |
| 255.297.241.210.938 | 0.720489501953125 | 21,05392 | 9,621429 |
| 254.478.546.142.578 | 0.723388671875    | 21,0863  | 9,644562 |
| 254.686.096.191.406 | 0.7320556640625   | 21,04552 | 9,65036  |
| 254.603.103.637.695 | 0.73785400390625  | 21,08997 | 9,656128 |
| 255.652.481.079.102 | 0.74652099609375  | 21,06809 | 9,630096 |
| 254.679.183.959.961 | 0.740753173828125 | 21,063   | 9,659027 |
| 256.470.886.230.469 | 0.740753173828125 | 21,09253 | 9,615631 |
| 255.181.823.730.469 | 0.746551513671875 | 21,06321 | 9,65036  |
| 255.348.098.754.883 | 0.75811767578125  | 21,045   | 9,65036  |
| 254.943.801.879.883 | 0.769683837890625 | 21,03902 | 9,659027 |
| 255.588.623.046.875 | 0.75811767578125  | 21,04739 | 9,635895 |
| 255.222.427.368.164 | 0.76678466796875  | 21,04711 | 9,653259 |
| 256.133.789.062.500 | 0.778350830078125 | 21,09385 | 9,641663 |
| 256.237.304.687.5   | 0.78125           | 21,08191 | 9,641663 |
| 256.274.810.791.016 | 0.78125           | 21,02815 | 9,644562 |
| 256.783.996.582.031 | 0.801483154296875 | 21,09775 | 9,615631 |
| 257.104.766.845.703 | 0.813079833984375 | 21,09255 | 9,621429 |
| 257.159.942.626.953 | 0.798614501953125 | 21,09452 | 9,615631 |
| 257.042.755.126.953 | 0.798614501953125 | 21,08099 | 9,615631 |
| 256.449.768.066.406 | 0.801513671875    | 21,06298 | 9,641663 |
| 256.965.026.855.469 | 0.8101806640625   | 21,07805 | 9,635895 |
| 257.498.016.357.422 | 0.813079833984375 | 21,0288  | 9,630096 |
| 256.902.252.197.266 | 0.804412841796875 | 21,03782 | 9,641663 |
| 257.236.297.607.422 | 0.827545166015625 | 21,06406 | 9,621429 |
| 257.992.614.746.094 | 0.833343505859375 | 21,05078 | 9,621429 |
| 257.162.139.892.578 | 0.8101806640625   | 21,03388 | 9,621429 |
| 257.690.856.933.594 | 0.8101806640625   | 21,07915 | 9,624298 |
| 257.505.676.269.531 | 0.82464599609375  | 21,07369 | 9,630096 |
| 257.665.649.414.063 | 0.82464599609375  | 21,06128 | 9,621429 |
| 256.602.355.957.031 | 0.82464599609375  | 21,04759 | 9,641663 |
| 257.742.950.439.453 | 0.813079833984375 | 21,04979 | 9,612732 |
| 257.684.753.417.969 | 0.81597900390625  | 21,07645 | 9,621429 |
| 257.396.026.611.328 | 0.813079833984375 | 21,02048 | 9,621429 |
| 257.192.626.953.125 | 0.8304443359375   | 21,07444 | 9,621429 |
| 257.502.716.064.453 | 0.81597900390625  | 21,09119 | 9,638794 |
| 257.066.558.837.891 | 0.82464599609375  | 21,07202 | 9,627197 |
| 257.147.308.349.609 | 0.82464599609375  | 2,105681 | 9,630096 |
| 257.224.609.375     | 0.81597900390625  | 21,07389 | 9,621429 |

|                     |                   |          |          |
|---------------------|-------------------|----------|----------|
| 258.194.305.419.922 | 0.813079833984375 | 21,05805 | 9,601166 |
| 257.000.701.904.297 | 0.839111328125    | 21,06933 | 9,627197 |
| 257.616.760.253.906 | 0.81597900390625  | 21,06779 | 9,621429 |
| 257.754.852.294.922 | 0.81597900390625  | 21,11843 | 9,615631 |
| 257.316.650.390.625 | 0.813079833984375 | 21,07235 | 9,615631 |
| 258.016.967.773.438 | 0.827545166015625 | 21,09093 | 9,606964 |
| 258.283.966.064.453 | 0.83331298828125  | 0,210598 | 9,609833 |
| 257.287.689.208.984 | 0.821746826171875 | 21,05129 | 9,630096 |
| 257.329.437.255.859 | 0.827545166015625 | 21,07126 | 9,601166 |
| 258.053.894.042.969 | 0.827545166015625 | 21,08379 | 9,595367 |
| 257.550.811.767.578 | 0.836212158203125 | 21,06325 | 9,612732 |
| 257.853.607.177.734 | 0.8304443359375   | 21,03622 | 9,612732 |
| 257.843.200.683.594 | 0.836212158203125 | 21,08258 | 9,612732 |
| 257.920.623.779.297 | 0.827545166015625 | 21,0489  | 9,606964 |
| 258.260.772.705.078 | 0.821746826171875 | 21,06454 | 9,580902 |



Şekil 31: Karkamış HES Ü-5 Üretimi Düşü Güç Grafiği



Şekil 32: Karkamış HES Ü-5 Üretimi Debi Grafiği



Şekil 33: Karkamış HES Ü-5 Üretimi Kirlilik Grafiği

HES'lerin baraj rezervuarlarında biriktirdikleri suyun enerji karşılığı özgül su sarfiyatları ile belirlenir. 1 kWh enerji üretimi için harcadıkları su miktarı özgül su sarfiyatlarıdır. Özgül su sarfiyatı santrallerin düşüsü ile doğru orantılıdır ve her santralin düşüsü farklı olduğundan özgül su sarfiyatı HES'e özgü bir değerdir.

### Özgöl su sarfiyat formülü:

$\dot{I}_{ş} = m \cdot g \cdot h = Q \cdot 1000 \cdot 9.8 \cdot h / 3600000$  (kWh) olduğuna göre;

$$\text{Özgöl su sarfiyatı} = \frac{Q(m^3)}{\dot{I}_{ş}}$$

(İnal,2022:28).

Yukarıdaki tabloda Ünite 5 ‘in 2023 temmuz ayının 26’sında öğleden sonra 9 ile 11 saatleri arasındaki dakika dakika SCADA sisteminden alınan verileri görülmektedir. Burada veriler incelendiğinde üretilen gücün neredeyse aynı olduğ, dikkate değer bir değişim olmadığı görülmektedir. Düşünün ise 0.2m lik bir değişimi söz konusudur. Kirlilik ve debi verileri ise paralel olarak artmaktadır. Burada kirliliğin üretimdeki harcanan su debisine etkisi net bir şekilde görülmektedir. Tabloda kısa sürede kirliliğin 0.5 m üzerindeki artışı 21 m3 lük bir debi artışına neden olmaktadır.

Buradan analizle 1 saat içerisinde atılan su miktarını hesaplandığında saat 9-10 arasında ortalama debi 247,1. 1saat için 3600 sn ile çarptığımızda 867060 m3 su ile 21MWh enerji üretilmiştir. Bu değerleri oranladığımızda özgöl su miktarını yani 1kw enerji için harcanan su miktarını bulunmuş olur. Bu miktar ise 41,2 m3 e tekabül etmektedir. Bu hesaplama tablodaki 10-11 saatleri arasındaki verilerden yapıldığında 256,3 m3 ortalama debiyi 3600 sn ile çarpıp 1 saatte 922680 m3su ile 21MWh elektrik üretildiği hesabı yapılır. Bu saat içerisindeki özgöl su miktarı 43,9 olarak bulunmaktadır.

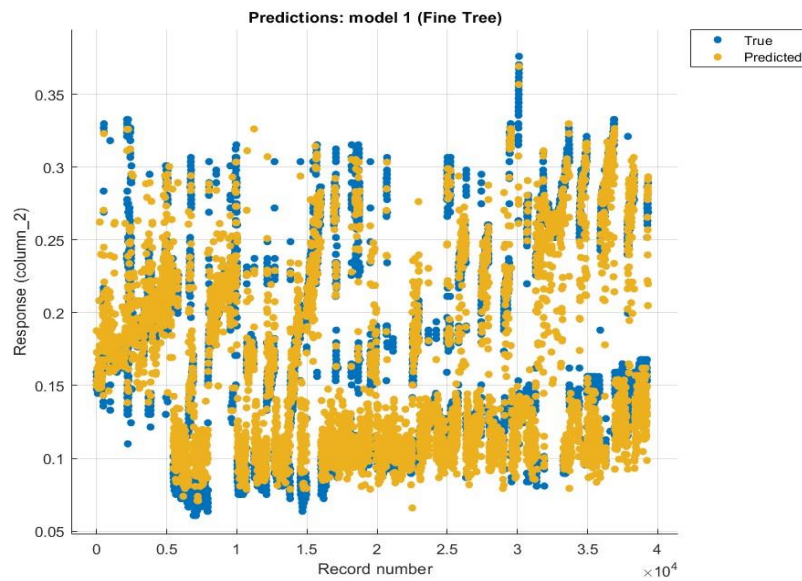
Aynı üretim için özgöl su sarfiyatı arsındaki fark 2.7m3 olup toplamda 55620m3’ü bulmaktadır. Bu değeri özgöl su sarfiyatına böldüğümüzde kirlilik daha düşükken üretilebilecek enerji karşılığını bulmuş oluruz. Özgöl su sarfiyatını 41.2 m3 olarak alınıncı bu su farkı ile 1350kwh enerji üretilebileceğini bulmuş oluruz.

Bu çalışmada ızgara kirlilik değerlerinin debiyi ve dolayısı ile verimi etkilediği çalışmaları makine öğrenmesi yapıp tahminler ile çalışmanın başarısını analiz edeceğiz. Çalışmada kullanılan program MATLAB olacaktır. MATLAB’ta Lineer Regresyon modellerinin birçoğu ile çalışılacaktır. Veri setinde Izgara kirlilik değerleri ünite çalışmazken bazen çok düşük olarak görülmektedir. Bu sebeple ünite çalışmadığı durumlarda alınan verilerin veri setine dahil edildiği ve edilmediği durumlar için çalışma yapılacaktır. Diğer veriler arasında gücün ani değişimlerinin ve ünitenin ilk devreye alınması sırasında ki değerlerin çok değişken olması nedeni ile bu verilerde alınmayacaktır. Verilerin anlamlarının arttırılması için alınan değerlerdeki

anlamsızlıklar mümkün olduğu kadar değerlendirilip kullanılmayacaktır. Bu filitrenin uygulanması sonrasında format olarak MATLAB'ta kullanılmak üzere uygun forma dönüştürülmüştür. MATLAB'a yüklenen veriler debi, güç ve düşü parametreleri girdi kirlilik parametreleri çıktı olarak seçilerek lineer regresyonun çeşitli modelleri ile çalıştırılacaktır. Bu modellerin ana çeşitleri Ağaç tabanlı modeller, lineer regresyon modeli, adımsal lineer regresyon modeli, SVM modeli, gibi olup MATLAB ta birçok modelle çalışılmıştır. Aşağıda ünitelere ait sonuçlar tablo ve grafik şeklinde verilmiştir.

Çalışmanın değerlendirilmesi farklı model kullanımı sonrasında doğruluk ve hataları gösteren veriler RMSE, R-Kare (R-Squared), MSE, MAE' dir. RMSE (Kare Kök Ortalama Kare Hata): Bir modelin tahminlerinin gerçek değerlerden ne kadar sapma gösterdiğini ölçer. Düşük RMSE, daha iyi bir model performansını gösterir. R-Kare (R-Squared): Bir modelin veri setindeki değişkenliği ne kadar iyi açıkladığını ölçer. 1'e yaklaştıkça, model veriyi daha iyi açıklar. MSE (Ortalama Kare Hata): Tahminler ile gerçek değerler arasındaki farkların karelerinin ortalamasıdır. Düşük MSE, daha iyi bir model performansını gösterir. MAE (Ortalama Mutlak Hata): Tahminler ile gerçek değerler arasındaki mutlak farkların ortalamasıdır. Düşük MAE, daha iyi bir model performansını gösterir.

Ünite 1'in debi, güç, düşü ve kirlilik verileri alınıp düzenlenmiş ve MATLAB programına yüklenmiştir. Sonrasında yapılan çalışmaya ait veriler ve grafik aşağıda verilmiştir.

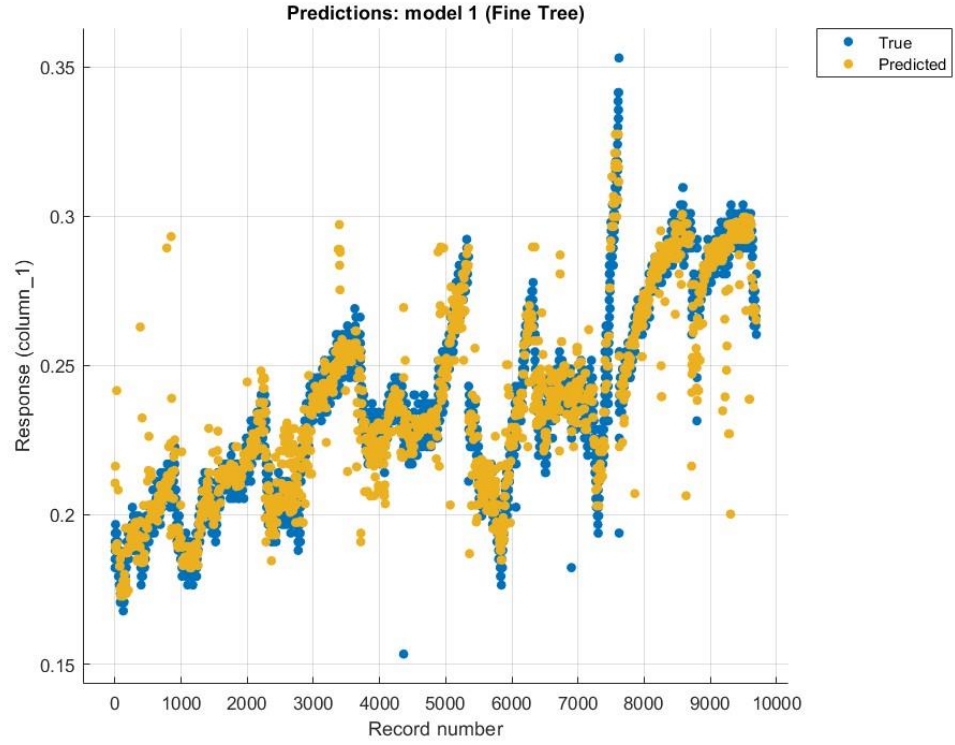


Şekil 34: Karkamış HES Ü-1 Model 1 Çalışma Grafiği

Tablo 17 : Ünite 1 Veri Setleri ile Yapılan Çalışma Sonuçları

| ÜNİTE 1    |                            |                   |      |                        |      |                  |        |                  |       |
|------------|----------------------------|-------------------|------|------------------------|------|------------------|--------|------------------|-------|
| Model 1    | Tree                       | RMSE (Validation) | 0,02 | R-Squared (Validation) | 0,89 | MSE (Validation) | 5E-04  | MAE (Validation) | 0,014 |
| Model 2.1  | Linear Regression          | RMSE (Validation) | 0,04 | R-Squared (Validation) | 0,67 | MSE (Validation) | 0,001  | MAE (Validation) | 0,014 |
| Model 2.2  | Linear Regression          | RMSE (Validation) | 0,04 | R-Squared (Validation) | 0,68 | MSE (Validation) | 0,001  | MAE (Validation) | 0,029 |
| Model 2.3  | Linear Regression          | RMSE (Validation) | 0,04 | R-Squared (Validation) | 0,67 | MSE (Validation) | 0,001  | MAE (Validation) | 0,03  |
| Model 2.4  | Stepwise Linear Regression | RMSE (Validation) | 0,04 | R-Squared (Validation) | 0,68 | MSE (Validation) | 0,001  | MAE (Validation) | 0,029 |
| Model 2.5  | Tree                       | RMSE (Validation) | 0,21 | R-Squared (Validation) | 0,89 | MSE (Validation) | 5E-04  | MAE (Validation) | 0,014 |
| Model 2.6  | Tree                       | RMSE (Validation) | 0,02 | R-Squared (Validation) | 0,88 | MSE (Validation) | 5E-04  | MAE (Validation) | 0,015 |
| Model 2.7  | Tree                       | RMSE (Validation) | 0,02 | R-Squared (Validation) | 0,86 | MSE (Validation) | 6E-04  | MAE (Validation) | 0,017 |
| Model 2.8  | SVM                        | RMSE (Validation) | 0,11 | R-Squared (Validation) | -1,7 | MSE (Validation) | 0,011  | MAE (Validation) | 0,09  |
| Model 2.9  | SVM                        | RMSE (Validation) | 15,8 | R-Squared (Validation) | #### | MSE (Validation) | 248,47 | MAE (Validation) | ####  |
| Model 2.10 | SVM                        | RMSE (Validation) | 339  | R-Squared (Validation) | #### | MSE (Validation) | 1,146  | MAE (Validation) | 39,9  |
| Model 2.11 | SVM                        | RMSE (Validation) | 0,04 | R-Squared (Validation) | 0,7  | MSE (Validation) | 0,001  | MAE (Validation) | 0,028 |
| Model 2.12 | SVM                        | RMSE (Validation) | 0,04 | R-Squared (Validation) | 0,68 | MSE (Validation) | 0,001  | MAE (Validation) | 0,003 |
| Model 2.13 | SVM                        | RMSE (Validation) | 0,04 | R-Squared (Validation) | 0,67 | MSE (Validation) | 0,001  | MAE (Validation) | 0,029 |
| Model 2.14 | Ensemble                   | RMSE (Validation) | 0,03 | R-Squared (Validation) | 0,79 | MSE (Validation) | 9E-04  | MAE (Validation) | 0,023 |
| Model 2.15 | Ensemble                   | RMSE (Validation) | 0,02 | R-Squared (Validation) | 0,91 | MSE (Validation) | 4E-04  | MAE (Validation) | 0,014 |
| Model 2.16 | GAUSSIAN PROCESS REGRESION | RMSE (Validation) | 0,02 | R-Squared (Validation) | 0,86 | MSE (Validation) | 6E-04  | MAE (Validation) | 0,018 |
| Model 2.17 | GAUSSIAN PROCESS REGRESION | RMSE (Validation) | 0,02 | R-Squared (Validation) | 0,87 | MSE (Validation) | 5E-04  | MAE (Validation) | 0,017 |
| Model 2.18 | GAUSSIAN PROCESS REGRESION | RMSE (Validation) | X    | R-Squared (Validation) | X    | MSE (Validation) | X      | MAE (Validation) | X     |
| Model 2.19 | GAUSSIAN PROCESS REGRESION | RMSE (Validation) | X    | R-Squared (Validation) |      | MSE (Validation) |        | MAE (Validation) |       |
| Model 2.20 | Neural Network             | RMSE (Validation) | 0,04 | R-Squared (Validation) | 0,69 | MSE (Validation) | 0,001  | MAE (Validation) | 0,029 |
| Model 2.21 | Neural Network             | RMSE (Validation) | 0,04 | R-Squared (Validation) | 0,69 | MSE (Validation) | 0,001  | MAE (Validation) | 0,028 |
| Model 2.22 | Neural Network             | RMSE (Validation) | 0,03 | R-Squared (Validation) | 0,71 | MSE (Validation) | 0,001  | MAE (Validation) | 0,028 |
| Model 2.23 | Neural Network             | RMSE (Validation) | 0,04 | R-Squared (Validation) | 0,69 | MSE (Validation) | 0,001  | MAE (Validation) | 0,028 |
| Model 2.24 | Neural Network             | RMSE (Validation) | 0,04 | R-Squared (Validation) | 0,7  | MSE (Validation) | 0,001  | MAE (Validation) | 0,028 |
| Model 2.25 | Kernel                     | RMSE (Validation) | 0,04 | R-Squared (Validation) | 0,58 | MSE (Validation) | 0,002  | MAE (Validation) | 0,03  |
| Model 2.26 | Kernel                     | RMSE (Validation) | 0,04 | R-Squared (Validation) | 0,69 | MSE (Validation) | 0,001  | MAE (Validation) | 0,028 |

Ünite 1'den alınan veri setleriyle yapılan çalışma sonuçlarından elde edilen grafik tahminlerinin uyumlu olduğu görülmektedir. Çalışmada uygulanan modellerin sonuçları tablo halinde verilmiştir. Tabloda Tree, GAUS, Ensemble model çalışmalarında yüksek bir R-kare (R-Squared) değeri çıkmış RMSE, MSE ve MAE değerleri 0'a yakın çıkmıştır. Bu modellerle yapılan çalışmalar hata oranının düşük olduğunu göstermektedir. Bu çalışmalar tahminlerin gerçek değerlere yakın olduğu dolayısı ile çalışmanın performansının bu modellerde yüksek olduğunu göstermektedir.

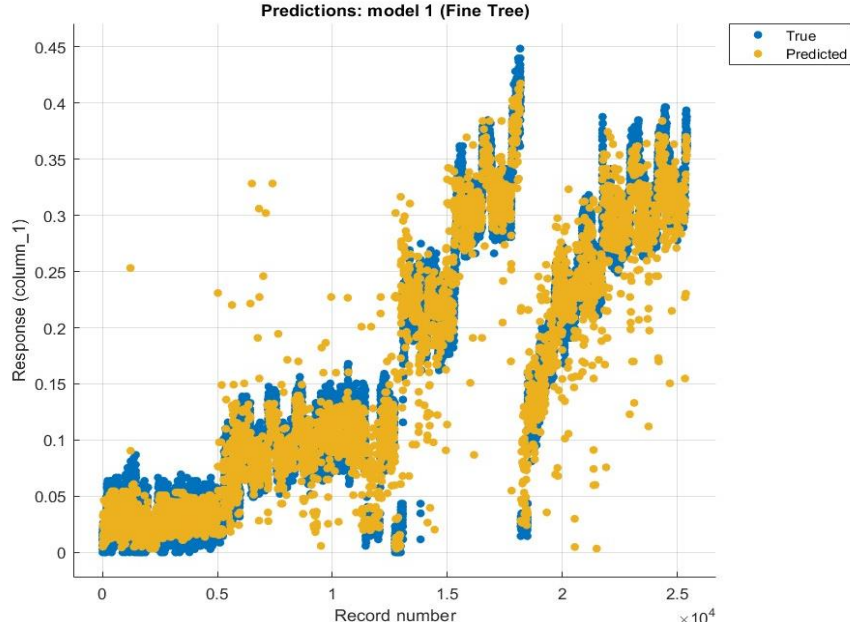


Şekil 35. Karkamış HES Ü-2 Model 1 Çalışma Grafiği

Tablo 18: Ünite 2 Veri Setleri ile Yapılan Çalışma Sonuçları

| Ünite 2    |                            |                   |        |                        |        |                  |        |                  |       |
|------------|----------------------------|-------------------|--------|------------------------|--------|------------------|--------|------------------|-------|
| Model 1    | Tree                       | RMSE (Validation) | 0,0325 | R-Squared (Validation) | 0,92   | MSE (Validation) | 0,0011 | MAE (Validation) | 0,02  |
| Model 2.1  | Linear Regression          | RMSE (Validation) | 0,0544 | R-Squared (Validation) | 0,78   | MSE (Validation) | 0,003  | MAE (Validation) | 0,037 |
| Model 2.2  | Linear Regression          | RMSE (Validation) | 0,052  | R-Squared (Validation) | 0,8    | MSE (Validation) | 0,0027 | MAE (Validation) | 0,034 |
| Model 2.3  | Linear Regression          | RMSE (Validation) | 0,0606 | R-Squared (Validation) | 0,72   | MSE (Validation) | 0,0037 | MAE (Validation) | 0,035 |
| Model 2.4  | Stepwise Linear Regression | RMSE (Validation) | 0,052  | R-Squared (Validation) | 0,8    | MSE (Validation) | 0,0027 | MAE (Validation) | 0,034 |
| Model 2.5  | Tree                       | RMSE (Validation) | 0,0325 | R-Squared (Validation) | 0,92   | MSE (Validation) | 0,0011 | MAE (Validation) | 0,02  |
| Model 2.6  | Tree                       | RMSE (Validation) | 0,0321 | R-Squared (Validation) | 0,92   | MSE (Validation) | 0,001  | MAE (Validation) | 0,019 |
| Model 2.7  | Tree                       | RMSE (Validation) | 0,0339 | R-Squared (Validation) | 0,91   | MSE (Validation) | 0,0011 | MAE (Validation) | 0,021 |
| Model 2.8  | SVM                        | RMSE (Validation) | U-2    | R-Squared (Validation) | 0,08   | MSE (Validation) | 0,0049 | MAE (Validation) | 0,037 |
| Model 2.9  | SVM                        | RMSE (Validation) | 0,1664 | R-Squared (Validation) | - 4,21 | MSE (Validation) | 0,0277 | 0,12651          | 0,038 |
| Model 2.10 | SVM                        | RMSE (Validation) | 1,024  | R-Squared (Validation) | - 196  | MSE (Validation) | 39,345 | MAE (Validation) | 5,764 |
| Model 2.11 | SVM                        | RMSE (Validation) | 0,0373 | R-Squared (Validation) | 0,74   | MSE (Validation) | 0,0014 | MAE (Validation) | 0,025 |
| Model 2.12 | SVM                        | RMSE (Validation) | 0,0443 | R-Squared (Validation) | 0,63   | MSE (Validation) | 0,002  | MAE (Validation) | 0,03  |
| Model 2.13 | SVM                        | RMSE (Validation) | 0,0542 | R-Squared (Validation) | 0,45   | MSE (Validation) | 0,0029 | MAE (Validation) | 0,033 |
| Model 2.14 | Ensemble                   | RMSE (Validation) | 0,0359 | 0,76                   | 0,88   | MSE (Validation) | 0,0013 | MAE (Validation) | 0,026 |
| Model 2.15 | Ensemble                   | RMSE (Validation) | 0,0296 | R-Squared (Validation) | 0,84   | MSE (Validation) | 0,0009 | MAE (Validation) | 0,02  |
| Model 2.16 | GAUSSIAN PROCESS REGRESION | RMSE (Validation) | X      | R-Squared (Validation) | X      | MSE (Validation) | X      | MAE (Validation) | X     |
| Model 2.17 | GAUSSIAN PROCESS REGRESION | RMSE (Validation) | X      | R-Squared (Validation) | X      | MSE (Validation) | X      | MAE (Validation) | X     |
| Model 2.18 | GAUSSIAN PROCESS REGRESION | RMSE (Validation) | X      | R-Squared (Validation) | X      | MSE (Validation) | X      | MAE (Validation) | X     |
| Model 2.19 | GAUSSIAN PROCESS REGRESION | RMSE (Validation) | X      | R-Squared (Validation) | X      | MSE (Validation) | X      | MAE (Validation) | X     |
| Model 2.20 | Neural Network             | RMSE (Validation) | 0,0425 | R-Squared (Validation) | 0,66   | MSE (Validation) | 0,0018 | MAE (Validation) | 0,029 |
| Model 2.21 | Neural Network             | RMSE (Validation) | 0,0437 | R-Squared (Validation) | 0,58   | MSE (Validation) | 0,0022 | MAE (Validation) | 0,027 |
| Model 2.22 | Neural Network             | RMSE (Validation) | 0,0351 | R-Squared (Validation) | 0,77   | MSE (Validation) | 0,0012 | MAE (Validation) | 0,025 |
| Model 2.23 | Neural Network             | RMSE (Validation) | 0,0475 | R-Squared (Validation) | 0,57   | MSE (Validation) | 0,0023 | MAE (Validation) | 0,266 |
| Model 2.24 | Neural Network             | RMSE (Validation) | 0,0423 | R-Squared (Validation) | 0,66   | MSE (Validation) | 0,0018 | MAE (Validation) | 0,028 |
| Model 2.25 | Kernel                     | RMSE (Validation) | 0,0691 | R-Squared (Validation) | 0,1    | MSE (Validation) | 0,0048 | MAE (Validation) | 0,032 |
| Model 2.26 | Kernel                     | RMSE (Validation) | 0,0689 | R-Squared (Validation) | 0,11   | MSE (Validation) | 0,0047 | MAE (Validation) | 0,036 |

Ünite 2’den alınan verilerle yapılan çalışmadan çıkan sonuçlar grafik ve tablo şeklinde aşağıda verilmiştir. Grafik genel olarak uyumlu gözüksede bazı hatalı tahminlerde görülmektedir. Çalışmadaki tabloyu incelediğimizde model 1, model 2.(5-6-7-14-15) çalışmaları yüksek R-Kare ve düşük RMSE değerleri ile iyi bir performans göstermiştir. Çalışmada kullanılan diğer modellerden SVM Model 2.9-10’da eksi R-Kare değeri oluşturmuş kötü bir performans sergilemiştir. Gerçek değerlere yakın tahminler için Tree modeli kullanılabilir.



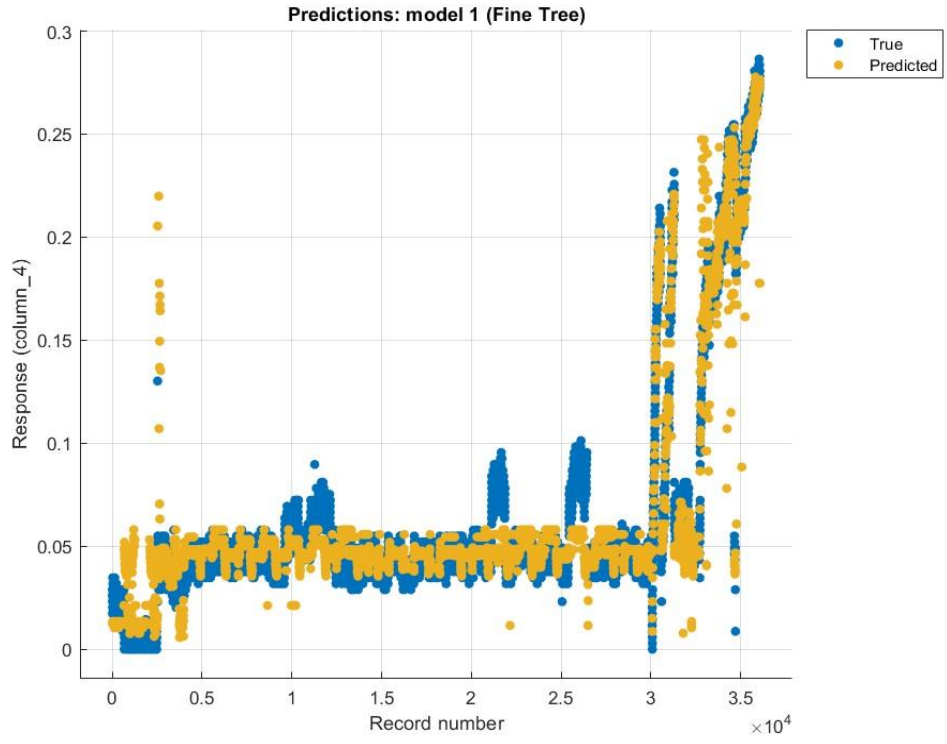
Şekil 36 : Karkamış HES Ü-3 Model 1 Çalışma Grafiği

Tablo 19: Ünite 3 Veri Setleri ile Yapılan Çalışma Sonuçları

| Ünit 3 |                   |              |       |              |      |              |       |              |      |
|--------|-------------------|--------------|-------|--------------|------|--------------|-------|--------------|------|
| Model  |                   | RMSE         |       | R-Squared    |      | MSE          |       | MAE          |      |
| 1      | Tree              | (Validation) | 0,036 | (Validation) | 0,9  | (Validation) | 0,001 | (Validation) | 0,02 |
| Model  |                   | RMSE         |       | R-Squared    |      | MSE          |       | MAE          |      |
| 2.1    | Linear Regression | (Validation) | 0,092 | (Validation) | 0,37 | (Validation) | 0,008 | (Validation) | 0,07 |
| Model  |                   | RMSE         |       | R-Squared    |      | MSE          |       | MAE          |      |
| 2.2    | Linear Regression | (Validation) | 0,091 | (Validation) | 0,38 | (Validation) | 0,008 | (Validation) | 0,07 |
| Model  |                   | RMSE         |       | R-Squared    |      | MSE          |       | MAE          |      |
| 2.3    | Linear Regression | (Validation) | 0,092 | (Validation) | 0,37 | (Validation) | 0,008 | (Validation) | 0,07 |
|        | Stepwise          |              |       |              |      |              |       |              |      |
| Model  |                   | RMSE         |       | R-Squared    |      | MSE          |       | MAE          |      |
| 2.4    | Linear Regression | (Validation) | 0,091 | (Validation) | 0,38 | (Validation) | 0,008 | (Validation) | 0,07 |
| Model  |                   | RMSE         |       | R-Squared    |      | MSE          |       | MAE          |      |
| 2.5    | Tree              | (Validation) | 0,036 | (Validation) | 0,9  | (Validation) | 0,001 | (Validation) | 0,02 |
| Model  |                   | RMSE         |       | R-Squared    |      | MSE          | 5E-   | MAE          |      |
| 2.6    | Tree              | (Validation) | 0,036 | (Validation) | 0,9  | (Validation) | 04    | (Validation) | 0,02 |
| Model  |                   | RMSE         |       | R-Squared    |      | MSE          |       | MAE          |      |
| 2.7    | Tree              | (Validation) | 0,037 | (Validation) | 0,9  | (Validation) | 0,001 | (Validation) | 0,02 |
| Model  |                   | RMSE         |       | R-Squared    |      | MSE          |       | MAE          |      |
| 2.8    | SVM               | (Validation) | 0,092 | (Validation) | 0,37 | (Validation) | 0,008 | (Validation) | 0,07 |

|            |                            |                   |       |                        |        |                  |       |                  |      |
|------------|----------------------------|-------------------|-------|------------------------|--------|------------------|-------|------------------|------|
| Model 2.9  | SVM                        | RMSE (Validation) | 0,981 | R-Squared (Validation) | - 70,8 | MSE (Validation) | 0,962 | MAE (Validation) | 0    |
| Model 2.10 | SVM                        | RMSE (Validation) | 0,409 | R-Squared (Validation) | - 11,5 | MSE (Validation) | 0,167 | MAE (Validation) | 0,33 |
| Model 2.11 | SVM                        | RMSE (Validation) | 0,043 | R-Squared (Validation) | 0,86   | MSE (Validation) | 0,002 | MAE (Validation) | 0,03 |
| Model 2.12 | SVM                        | RMSE (Validation) | 0,048 | R-Squared (Validation) | 0,83   | MSE (Validation) | 0,002 | MAE (Validation) | 0,03 |
| Model 2.13 | SVM                        | RMSE (Validation) | 0,085 | R-Squared (Validation) | 0,47   | MSE (Validation) | 0,007 | MAE (Validation) | 0,06 |
| Model 2.14 | Ensemble                   | RMSE (Validation) | 0,056 | R-Squared (Validation) | 0,76   | MSE (Validation) | 0,003 | MAE (Validation) | 0,04 |
| Model 2.15 | Ensemble                   | RMSE (Validation) | 0,032 | R-Squared (Validation) | 0,93   | MSE (Validation) | 0,001 | MAE (Validation) | 0,02 |
| Model 2.16 | GAUSSIAN PROCESS REGRESİON | RMSE (Validation) | X     | R-Squared (Validation) | X      | MSE (Validation) | X     | MAE (Validation) | X    |
| Model 2.17 | GAUSSIAN PROCESS REGRESİON | RMSE (Validation) | X     | R-Squared (Validation) | X      | MSE (Validation) | X     | MAE (Validation) | X    |
| Model 2.18 | GAUSSIAN PROCESS REGRESİON | RMSE (Validation) | X     | R-Squared (Validation) | X      | MSE (Validation) | X     | MAE (Validation) | X    |
| Model 2.19 | GAUSSIAN PROCESS REGRESİON | RMSE (Validation) | X     | R-Squared (Validation) | X      | MSE (Validation) | X     | MAE (Validation) | X    |
| Model 2.20 | Neural Network             | RMSE (Validation) | 0,044 | R-Squared (Validation) | 0,85   | MSE (Validation) | 0,002 | MAE (Validation) | 0,03 |
| Model 2.21 | Neural Network             | RMSE (Validation) | 0,043 | R-Squared (Validation) | 0,86   | MSE (Validation) | 0,002 | MAE (Validation) | 0,03 |
| Model 2.22 | Neural Network             | RMSE (Validation) | 0,041 | R-Squared (Validation) | 0,87   | MSE (Validation) | 0,002 | MAE (Validation) | 0,03 |
| Model 2.23 | Neural Network             | RMSE (Validation) | 0,042 | R-Squared (Validation) | 0,87   | MSE (Validation) | 0,002 | MAE (Validation) | 0,03 |
| Model 2.24 | Neural Network             | RMSE (Validation) | 0,041 | R-Squared (Validation) | 0,87   | MSE (Validation) | 0,002 | MAE (Validation) | 0,03 |
| Model 2.25 | Kernel                     | RMSE (Validation) | 0,043 | R-Squared (Validation) | 0,86   | MSE (Validation) | 0,002 | MAE (Validation) | 0,03 |
| Model 2.26 | Kernel                     | RMSE (Validation) | 0,06  | R-Squared (Validation) | 0,73   | MSE (Validation) | 0,004 | MAE (Validation) | 0,04 |

Ünite 3 verileri ile yapılan çalışmanın sonuçlarında Ağaç ve Ensemble modellerinin kullanıldığı Model 1, Model 2. (5-6-7-15)'in 0,9 ve üzeri R-Kare değeri ve düşük RMSE değerleri ile yüksek performans gösterdiği görülmektedir. Lineer Regresyon modelleri düşük performans sergilemektedir. SVM ve Kernel modellerinin kullanıldığı çalışmanın bir kısmı orta düzeyde performans göstermiştir. Yapılan çalışmadan doğruluğu yüksek modeller kullanılarak gerçeğe yakın değerler elde edilebilir.



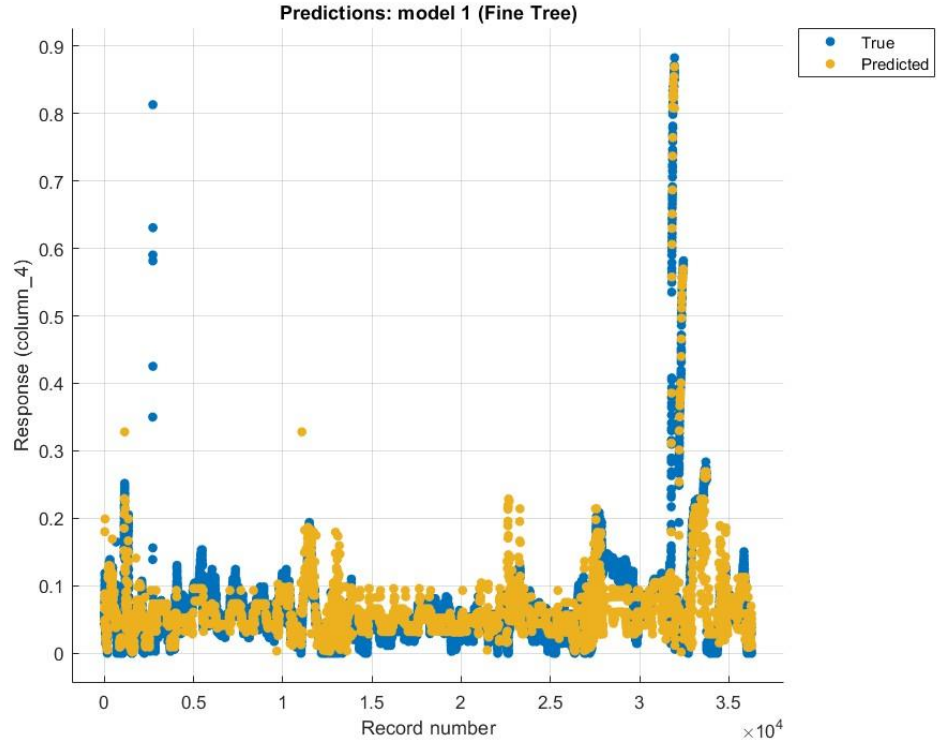
Şekil 37 : Karkamış HES Ü-4 Model 1 Çalışma Grafiği

Tablo 20: Ünite 4 Veri Setleri ile Yapılan Çalışma Sonuçları

| Ünite 4    |                            |                   |       |                        |       |                  |        |                  |      |
|------------|----------------------------|-------------------|-------|------------------------|-------|------------------|--------|------------------|------|
| Model 1    | Tree                       | RMSE (Validation) | 0,015 | R-Squared (Validation) | 0,93  | MSE (Validation) | 0,0002 | MAE (Validation) | 0,01 |
| Model 2.1  | Linear Regression          | RMSE (Validation) | 0,033 | R-Squared (Validation) | 0,64  | MSE (Validation) | 0,0011 | MAE (Validation) | 0,02 |
| Model 2.2  | Linear Regression          | RMSE (Validation) | 0,032 | R-Squared (Validation) | 0,64  | MSE (Validation) | 0,001  | MAE (Validation) | 0,02 |
| Model 2.3  | Linear Regression          | RMSE (Validation) | 0,036 | R-Squared (Validation) | 0,56  | MSE (Validation) | 0,0013 | MAE (Validation) | 0,02 |
| Model 2.4  | Stepwise Linear Regression | RMSE (Validation) | 0,032 | R-Squared (Validation) | 0,64  | MSE (Validation) | 0,001  | MAE (Validation) | 0,02 |
| Model 2.5  | Tree                       | RMSE (Validation) | 0,015 | R-Squared (Validation) | 0,93  | MSE (Validation) | 0,0002 | MAE (Validation) | 0,01 |
| Model 2.6  | Tree                       | RMSE (Validation) | 0,015 | R-Squared (Validation) | 0,92  | MSE (Validation) | 0,0002 | MAE (Validation) | 0,01 |
| Model 2.7  | Tree                       | RMSE (Validation) | 0,016 | R-Squared (Validation) | 0,91  | MSE (Validation) | 0,0003 | MAE (Validation) | 0,01 |
| Model 2.8  | SVM                        | RMSE (Validation) | 0,033 | R-Squared (Validation) | 0,62  | MSE (Validation) | 0,0011 | MAE (Validation) | 0,02 |
| Model 2.9  | SVM                        | RMSE (Validation) | 0,054 | R-Squared (Validation) | 0,01  | MSE (Validation) | 0,003  | MAE (Validation) | 0    |
| Model 2.10 | SVM                        | RMSE (Validation) | 6,273 | R-Squared (Validation) | ##### | MSE (Validation) | 39,345 | MAE (Validation) | 5,76 |
| Model 2.11 | SVM                        | RMSE (Validation) | 0,024 | R-Squared (Validation) | 0,8   | MSE (Validation) | 0,0006 | MAE (Validation) | 0,01 |
| Model 2.12 | SVM                        | RMSE (Validation) | 0,031 | R-Squared (Validation) | 0,66  | MSE (Validation) | 0,001  | MAE (Validation) | 0,02 |
| Model 2.13 | SVM                        | RMSE (Validation) | 0,033 | R-Squared (Validation) | 0,62  | MSE (Validation) | 0,0011 | MAE (Validation) | 0,02 |
| Model 2.14 | Ensemble                   | RMSE (Validation) | 0,186 | R-Squared (Validation) | 0,88  | MSE (Validation) | 0,0003 | MAE (Validation) | 0,01 |
| Model 2.15 | Ensemble                   | RMSE (Validation) | 0,014 | R-Squared (Validation) | 0,93  | MSE (Validation) | 0,0002 | MAE (Validation) | 0,01 |
| Model 2.16 | GAUSSIAN PROCESS REGRESİON | RMSE (Validation) | X     | R-Squared (Validation) | X     | MSE (Validation) | X      | MAE (Validation) | X    |
| Model 2.17 | GAUSSIAN PROCESS REGRESİON | RMSE (Validation) | X     | R-Squared (Validation) | X     | MSE (Validation) | X      | MAE (Validation) | X    |
| Model 2.18 | GAUSSIAN PROCESS REGRESİON | RMSE (Validation) | X     | R-Squared (Validation) | X     | MSE (Validation) | X      | MAE (Validation) | X    |
| Model 2.19 | GAUSSIAN PROCESS REGRESİON | RMSE (Validation) | X     | R-Squared (Validation) | X     | MSE (Validation) | X      | MAE (Validation) | X    |
| Model 2.20 | Neural Network             | RMSE (Validation) | 0,021 | R-Squared (Validation) | 0,73  | MSE (Validation) | 0,0008 | MAE (Validation) | 0,02 |
| Model 2.21 | Neural Network             | RMSE (Validation) | 0,027 | R-Squared (Validation) | 0,76  | MSE (Validation) | 0,0007 | MAE (Validation) | 0,01 |
| Model 2.22 | Neural Network             | RMSE (Validation) | 0,026 | R-Squared (Validation) | 0,77  | MSE (Validation) | 0,0007 | MAE (Validation) | 0,01 |

|            |                |                   |       |                        |      |                  |        |                  |      |
|------------|----------------|-------------------|-------|------------------------|------|------------------|--------|------------------|------|
| Model 2.23 | Neural Network | RMSE (Validation) | 0,021 | R-Squared (Validation) | 0,85 | MSE (Validation) | 0,0005 | MAE (Validation) | 0    |
| Model 2.24 | Neural Network | RMSE (Validation) | 0,025 | R-Squared (Validation) | 0,78 | MSE (Validation) | 0,0006 | MAE (Validation) | 0,01 |
| Model 2.25 | Kernel         | RMSE (Validation) | 0,038 | R-Squared (Validation) | 0,51 | MSE (Validation) | 0,0014 | MAE (Validation) | 0,02 |
| Model 2.26 | Kernel         | RMSE (Validation) | 0,036 | R-Squared (Validation) | 0,57 | MSE (Validation) | 0,0013 | MAE (Validation) | 0,02 |

Model 2.1, 2.2, ve 2.3 te kullanılan lineer regresyon modeli benzer RMSE değerleri (0,032648, 0,032351 ve 0,03594) vermekte olup düşük R-Kare değerleri (sırasıyla 0,64, 0,64 ve 0,56) ile düşük performans göstermektedir. Model 2.9, 2.10, ve 2.13 kullanılan SVM modellerinin sonuçları negatif veya çok yüksek R-Kare değerlerine sahip olup veri tahminlerindeki hata payları yüksektir. Model 1, düşük RMSE değeri (0,014739) ve yüksek R-Kare değeri (0,93) ile oldukça iyi bir performans sergiliyor. Bu durum modelin veriyi iyi açıkladığını ve tahminlerinin gerçek değerlere yakın olduğunu gösteriyor. Model 2.5 yüksek R-Kare değeri (0,93) ve düşük RMSE değeri (0,014739) ile Model 1 ile benzer bir performans sergiliyor. Model 2.15 'te kullanılan ensemble modeli, düşük RMSE değeri (0,014162) ve yüksek R-Kare değeri (0,93) ile oldukça iyi bir performans sergiliyor. Model 2.20, 2.21, 2.22, 2.23 ve 2.24 modelleri farklı modeller kullanıp farklı RMSE ve R-Kare değerlerine sahiptir, ancak iyi denilebilecek performans gösteriyor. Başarılı sayılacak modeller ile gerçeğe yakın tahminler elde edilebilir.



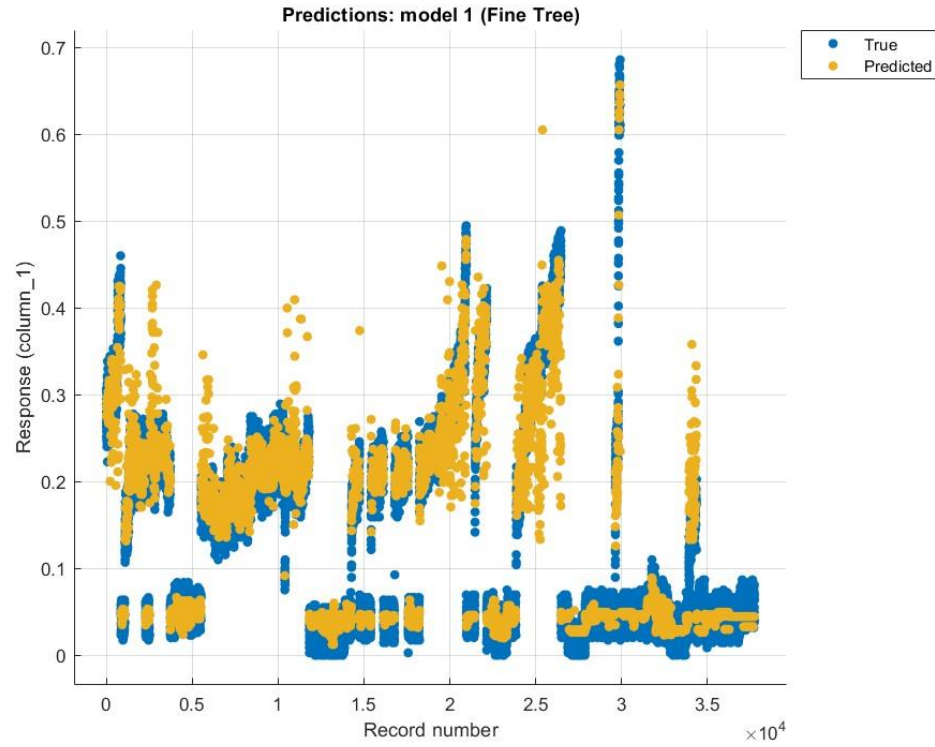
Şekil 38: Karkamış HES Ü-5 Model 1 Çalışma Grafiği

Tablo 21: Ünite 5 Veri Setleri ile Yapılan Çalışma Sonuçları

| Ünite 5    |                            |                   |       |                        |      |                  |        |                  |       |
|------------|----------------------------|-------------------|-------|------------------------|------|------------------|--------|------------------|-------|
| Model 1    | Tree                       | RMSE (Validation) | 0,031 | R-Squared (Validation) | 0,82 | MSE (Validation) | 0,0009 | MAE (Validation) | 0,02  |
| Model 2.1  | Linear Regression          | RMSE (Validation) | 0,067 | R-Squared (Validation) | 0,16 | MSE (Validation) | 0,0044 | MAE (Validation) | 0,041 |
| Model 2.2  | Linear Regression          | RMSE (Validation) | 0,054 | R-Squared (Validation) | 0,45 | 0,0029078        | 0,001  | MAE (Validation) | 0,037 |
| Model 2.3  | Linear Regression          | RMSE (Validation) | 0,072 | R-Squared (Validation) | 0,01 | MSE (Validation) | 0,0053 | MAE (Validation) | 0,037 |
| Model 2.4  | Stepwise Linear Regression | RMSE (Validation) | 0,054 | R-Squared (Validation) | 0,45 | MSE (Validation) | 0,0029 | MAE (Validation) | 0,037 |
| Model 2.5  | Tree                       | RMSE (Validation) | 0,031 | R-Squared (Validation) | 0,82 | MSE (Validation) | 0,0009 | MAE (Validation) | 0,02  |
| Model 2.6  | Tree                       | RMSE (Validation) | 0,03  | R-Squared (Validation) | 0,83 | MSE (Validation) | 0,0009 | MAE (Validation) | 0,021 |
| Model 2.7  | Tree                       | RMSE (Validation) | 0,032 | R-Squared (Validation) | 0,81 | MSE (Validation) | 0,001  | MAE (Validation) | 0,021 |
| Model 2.8  | SVM                        | RMSE (Validation) | 0,07  | R-Squared (Validation) | 0,08 | MSE (Validation) | 0,0049 | MAE (Validation) | 0,037 |
| Model 2.9  | SVM                        | RMSE (Validation) | 0,166 | R-Squared (Validation) | -    | MSE (Validation) | 0,0277 | 0,12651          | 0     |
| Model 2.10 | SVM                        | RMSE (Validation) | 1,024 | R-Squared (Validation) | -    | MSE (Validation) | 39,345 | MAE (Validation) | 5,764 |
| Model 2.11 | SVM                        | RMSE (Validation) | 0,037 | R-Squared (Validation) | 0,74 | MSE (Validation) | 0,0014 | MAE (Validation) | 0,025 |
| Model 2.12 | SVM                        | RMSE (Validation) | 0,044 | R-Squared (Validation) | 0,63 | MSE (Validation) | 0,002  | MAE (Validation) | 0,03  |

|            |                            |                   |       |                        |      |                  |        |                  |       |
|------------|----------------------------|-------------------|-------|------------------------|------|------------------|--------|------------------|-------|
| Model 2.13 | SVM                        | RMSE (Validation) | 0,054 | R-Squared (Validation) | 0,45 | MSE (Validation) | 0,0029 | MAE (Validation) | 0,033 |
| Model 2.14 | Ensemble                   | RMSE (Validation) | 0,036 | 0,76                   | 0,88 | MSE (Validation) | 0,0013 | MAE (Validation) | 0,026 |
| Model 2.15 | Ensemble                   | RMSE (Validation) | 0,03  | R-Squared (Validation) | 0,84 | MSE (Validation) | 0,0009 | MAE (Validation) | 0,02  |
| Model 2.16 | GAUSSIAN PROCESS REGRESİON | RMSE (Validation) | X     | R-Squared (Validation) | X    | MSE (Validation) | X      | MAE (Validation) | X     |
| Model 2.17 | GAUSSIAN PROCESS REGRESİON | RMSE (Validation) | X     | R-Squared (Validation) | X    | MSE (Validation) | X      | MAE (Validation) | X     |
| Model 2.18 | GAUSSIAN PROCESS REGRESİON | RMSE (Validation) | X     | R-Squared (Validation) | X    | MSE (Validation) | X      | MAE (Validation) | X     |
| Model 2.19 | GAUSSIAN PROCESS REGRESİON | RMSE (Validation) | X     | R-Squared (Validation) | X    | MSE (Validation) | X      | MAE (Validation) | X     |
| Model 2.20 | Neural Network             | RMSE (Validation) | 0,042 | R-Squared (Validation) | 0,66 | MSE (Validation) | 0,0018 | MAE (Validation) | 0,029 |
| Model 2.21 | Neural Network             | RMSE (Validation) | 0,044 | R-Squared (Validation) | 0,58 | MSE (Validation) | 0,0022 | MAE (Validation) | 0,027 |
| Model 2.22 | Neural Network             | RMSE (Validation) | 0,035 | R-Squared (Validation) | 0,77 | MSE (Validation) | 0,0012 | MAE (Validation) | 0,025 |
| Model 2.23 | Neural Network             | RMSE (Validation) | 0,048 | R-Squared (Validation) | 0,57 | MSE (Validation) | 0,0023 | MAE (Validation) | 0,266 |
| Model 2.24 | Neural Network             | RMSE (Validation) | 0,042 | R-Squared (Validation) | 0,66 | MSE (Validation) | 0,0018 | MAE (Validation) | 0,028 |
| Model 2.25 | Kernel                     | RMSE (Validation) | 0,069 | R-Squared (Validation) | 0,1  | MSE (Validation) | 0,0048 | MAE (Validation) | 0,032 |
| Model 2.26 | Kernel                     | RMSE (Validation) | 0,069 | R-Squared (Validation) | 0,11 | MSE (Validation) | 0,0047 | MAE (Validation) | 0,036 |

Ünite 5'ten alınan değerler ile hazırlanan veri setleriyle yapılan çalışmada Model 1 , düşük RMSE değeri (0,030635) ve yüksek R-Kare değeri (0,82) ile iyi bir performans sergiliyor. Bu, modelin veriyi iyi açıkladığını ve tahminlerinin gerçek değerlere yakın olduğunu gösteriyor. Model 2.5'in yüksek R-Kare değeri (0,82) ve düşük RMSE değeri (0,030635) Model 1 ile benzer bir performans sergiliyor. Model 2.15 (Ensemble) düşük RMSE değeri (0,029582) ve yüksek R-Kare değeri (0,84) ile oldukça iyi bir performans sergiliyor. Ensemble modeller, birden fazla modelin tahminlerini birleştirerek daha iyi sonuçlar elde etmektedirler. Model 2.1 (Lineer Regresyon), Model 2.26 (Kernel), Model 2.9 (SVM) gibi modller düşük R-kare değeri ile veriyi açıklamak için yetersiz olup düşük bir performans seriliyor. Çalışma belirli modeller açısından doğru tahminler oluşturmaktadır.



Şekil 39: Karkamış HES Ü-6 Model 1 Çalışma Grafiği

Tablo 22: Ünite 6 Veri Setleri ile Yapılan Çalışma Sonuçları

| Ünite 6   |                            |                   |       |                        |      |                  |        |                  |       |
|-----------|----------------------------|-------------------|-------|------------------------|------|------------------|--------|------------------|-------|
| Model 1   | Tree                       | RMSE (Validation) | 0,032 | R-Squared (Validation) | 0,92 | MSE (Validation) | 0,0011 | MAE (Validation) | 0,02  |
| Model 2.1 | Linear Regression          | RMSE (Validation) | 0,054 | R-Squared (Validation) | 0,78 | MSE (Validation) | 0,003  | MAE (Validation) | 0,037 |
| Model 2.2 | Linear Regression          | RMSE (Validation) | 0,052 | R-Squared (Validation) | 0,8  | MSE (Validation) | 0,0027 | MAE (Validation) | 0,034 |
| Model 2.3 | Linear Regression          | RMSE (Validation) | 0,061 | R-Squared (Validation) | 0,72 | MSE (Validation) | 0,0037 | MAE (Validation) | 0,035 |
| Model 2.4 | Stepwise Linear Regression | RMSE (Validation) | 0,052 | R-Squared (Validation) | 0,8  | MSE (Validation) | 0,0027 | MAE (Validation) | 0,034 |
| Model 2.5 | Tree                       | RMSE (Validation) | 0,032 | R-Squared (Validation) | 0,92 | MSE (Validation) | 0,0011 | MAE (Validation) | 0,02  |
| Model 2.6 | Tree                       | RMSE (Validation) | 0,032 | R-Squared (Validation) | 0,92 | MSE (Validation) | 0,001  | MAE (Validation) | 0,019 |
| Model 2.7 | Tree                       | RMSE (Validation) | 0,034 | R-Squared (Validation) | 0,91 | MSE (Validation) | 0,0011 | MAE (Validation) | 0,021 |

|               |                                  |                      |       |                           |      |                     |        |                     |       |
|---------------|----------------------------------|----------------------|-------|---------------------------|------|---------------------|--------|---------------------|-------|
| Model<br>2.8  | SVM                              | RMSE<br>(Validation) | 0,059 | R-Squared<br>(Validation) | 0,74 | MSE<br>(Validation) | 0,0034 | MAE<br>(Validation) | 0,035 |
| Model<br>2.9  | SVM                              | RMSE<br>(Validation) | 0,092 | R-Squared<br>(Validation) | 0,36 | MSE<br>(Validation) | 0,0085 | MAE<br>(Validation) | 0     |
| Model<br>2.10 | SVM                              | RMSE<br>(Validation) | 0,999 | R-Squared<br>(Validation) | -74  | MSE<br>(Validation) | 0,9979 | MAE<br>(Validation) | 0,723 |
| Model<br>2.11 | SVM                              | RMSE<br>(Validation) | 0,046 | R-Squared<br>(Validation) | 0,84 | MSE<br>(Validation) | 0,0021 | MAE<br>(Validation) | 0,029 |
| Model<br>2.12 | SVM                              | RMSE<br>(Validation) | 0,051 | R-Squared<br>(Validation) | 0,8  | MSE<br>(Validation) | 0,0026 | MAE<br>(Validation) | 0,032 |
| Model<br>2.13 | SVM                              | RMSE<br>(Validation) | 0,055 | R-Squared<br>(Validation) | 0,78 | MSE<br>(Validation) | 0,003  | MAE<br>(Validation) | 0,033 |
| Model<br>2.14 | Ensemble                         | RMSE<br>(Validation) | 0,043 | 0,76                      | 0,86 | MSE<br>(Validation) | 0,0019 | MAE<br>(Validation) | 0,027 |
| Model<br>2.15 | Ensemble                         | RMSE<br>(Validation) | 0,03  | R-Squared<br>(Validation) | 0,93 | MSE<br>(Validation) | 0,0009 | MAE<br>(Validation) | 0,019 |
| Model<br>2.16 | GAUSSIAN<br>PROCESS<br>REGRESION | RMSE<br>(Validation) | X     | R-Squared<br>(Validation) | X    | MSE<br>(Validation) | X      | MAE<br>(Validation) | X     |
| Model<br>2.17 | GAUSSIAN<br>PROCESS<br>REGRESION | RMSE<br>(Validation) | X     | R-Squared<br>(Validation) | X    | MSE<br>(Validation) | X      | MAE<br>(Validation) | X     |
| Model<br>2.18 | GAUSSIAN<br>PROCESS<br>REGRESION | RMSE<br>(Validation) | X     | R-Squared<br>(Validation) | X    | MSE<br>(Validation) | X      | MAE<br>(Validation) | X     |
| Model<br>2.19 | GAUSSIAN<br>PROCESS<br>REGRESION | RMSE<br>(Validation) | X     | R-Squared<br>(Validation) | X    | MSE<br>(Validation) | X      | MAE<br>(Validation) | X     |
| Model<br>2.20 | Neural<br>Network                | RMSE<br>(Validation) | 0,048 | R-Squared<br>(Validation) | 0,83 | MSE<br>(Validation) | 0,0023 | MAE<br>(Validation) | 0,031 |
| Model<br>2.21 | Neural<br>Network                | RMSE<br>(Validation) | 0,045 | R-Squared<br>(Validation) | 0,85 | MSE<br>(Validation) | 0,0021 | MAE<br>(Validation) | 0,03  |
| Model<br>2.22 | Neural<br>Network                | RMSE<br>(Validation) | 0,044 | R-Squared<br>(Validation) | 0,85 | MSE<br>(Validation) | 0,002  | MAE<br>(Validation) | 0,029 |
| Model<br>2.23 | Neural<br>Network                | RMSE<br>(Validation) | 0,046 | R-Squared<br>(Validation) | 0,84 | MSE<br>(Validation) | 0,0021 | MAE<br>(Validation) | 0,029 |
| Model<br>2.24 | Neural<br>Network                | RMSE<br>(Validation) | 0,043 | R-Squared<br>(Validation) | 0,86 | MSE<br>(Validation) | 0,0018 | MAE<br>(Validation) | 0,028 |
| Model<br>2.25 | Kernel                           | RMSE<br>(Validation) | 0,052 | R-Squared<br>(Validation) | 0,79 | MSE<br>(Validation) | 0,0027 | MAE<br>(Validation) | 0,03  |
| Model<br>2.26 | Kernel                           | RMSE<br>(Validation) | 0,048 | R-Squared<br>(Validation) | 0,83 | MSE<br>(Validation) | 0,0023 | MAE<br>(Validation) | 0,03  |

Ünite 6'nın veri setleri ile yapılan çalışmada çoğu modelin (örneğin, Model 1, Model 2.5, Model 2.6) yüksek R-Kare (R-Squared) değerleri ve düşük RMSE değerleri ile iyi bir performans sergilediği görünüyor. Birkaç model (örneğin, Model 2.9, Model 2.10) ise negatif R-Kare değerleri ile anlamsız sonuçlar verebileceği görülüyor. Veri setleri modellerin çoğuna uyum sağlamış ve yüksek performans sergilemiştir.



## SONUÇ ve ÖNERİLER

Tez çalışmasında veriler analiz edildiğinde kirliliğin artmasının üretim için harcanan debiyi artırdığı ve verimsiz bir çalışmaya yol açtığı görülmektedir. Kirliliğin en çok olduğu dönemler 5 ve 6. Ünitelerin 12,14 ve 16. tablolarında görüldüğü üzere temmuz ve ağustos aylarıdır. Karakuş ve Altın çalışmasında ileri beslemeli ağ ile eleman ağı kullanılarak iklimsel etkiler ile barajın verimliliği arasındaki ilişki tahmini yapmışlardır (Karakuş, Altın :2014). Kirliliğin bir yıl içinde 140 MWh'ye kadar elektrik kaybına neden olduğunu tahmininde bulunan Hribernik ise çalışmasında sonbahar ve ilkbahar aylarında ızgara kirliliğinin daha fazla olduğu (Hribernik,2020: 150) tespitinde bulunmuştur.

Genel olarak verilerin alındığı yıllar içerisinde üretimi durduracak bir kirliliğe rastlanmamıştır. Kirlilik seviyesinin 50 cm üzerine çıkması ile belirgin bir debi artışı görülmektedir. Tablolar incelendiğinde her ünitenin ızgara kirlilik değerlerine aynı oranda bir tepki vermediğini görülmektedir. Aynı üniteye yapılan çalışmalarda da bazı farklılıklar ortaya çıkabilmektedir. Bu bağlamda ızgara kirliliğinin enerji kaybına yol açtığı ancak net bir oran oluşturmaya izin vermediğini görülmektedir. Bu durumun tespiti için literatür çalışmalarında paylaşılan yöntemler baz alınarak üretime etkisinin hesaplanması daha tutarlı şekilde yapılabilir. Bu durum akışın etkilenmesinde lineer olarak akmasından kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmanın daha verimli şekilde yapılması için söz konusu kirliliğin ortadan kaldırılması yapılacak ilk çözüm önerisi olmakta ve sorunu kaynağında çözmektedir. İkinci çözüm önerisi bu kirliliğin engellenememesi durumunda kirliliğin su alma yapısında bulunan ızgarayı tıkamadan toplayıp temizleyecek bir sistemin yapılmasıdır. Bu sistemin kurulamaması durumunda üçüncü çözüm önerisi ile Karkamış HES ünitelerinin otomatik temizleme sistemi ve verimli çalışma sıralaması yapılarak çalıştırılması verimi arttırabilecektir.

Söz konusu kirliliğin oradan kaldırılması için kirliliği oluşturan 3 farklı sebebin ortadan kaldırılması için çalışmalar yapılmalıdır. İlk olarak yerleşim yerlerinden nehre çöp atmanın yasaklanması, geri dönüşüm teşviklerinin yapılması ve insanları bilinçlendirme faydalı olacaktır. Nehir üzerinde bu iş için özel su araçları ile kirliliğin önüne geçilebilecektir. Ayrıca akıntının az olduğu yerler belirlenerek bu bölgelere su içerisinde ızgaralar konulup kirliliğin hem santrale hem balık çiftliklerine ulaşmasının

önüne geçilebilecektir. Bu ızgaraların belirli aralıklarla temizlenmesi ile geri dönüşüme katkı sağlanabilecektir.

İkinci ızgara kirlilik kaynağı olan Balık çiftliklerinden gelen ağ, duba, lastik vb. malzemeler ızgara kirliliğine sebep olmaktadır. Bu kirliliğin önüne geçmek amacı ile balık çiftliklerine ve çevrede bulunan tesislere belirli standartlar getirilerek kullanılan malzemelerinin tespiti yapılabilir. Bu tespit için malzemelerde üretici ismini taşıyan etiketler bulunmalıdır. Bu malzemeler sadece ızgara kirliliğine neden olmakla birlikte çark kanadına takılarak üniteleri arızaya sokabilmektedir. Bu kirliliğe sebep olan çiftlikler bu şekilde tespit edilip uyarılmalıdır. Bu önlemlere rağmen balık çiftliklerinin çalışmasının gereği varsa ızgara kirliliğine sebep olacak risk üretim lisans sürecine dahil edilerek belirli standartlarda gerekli önlemlerin alınması talep edilmelidir. Böylece kirlilik kaynaklarından biri önlenmiş olur.

Üçüncü ızgara kirliliği kaynağı olan yosunların etkisini ortadan kaldırmak gerekmektedir. Bunun için doğal yöntemler araştırılmalıdır. Yosunla beslenen canlıların havzada devlet eli ile çoğaltılarak ekosisteme zarar vermeden engellenmesi için çözümler araştırılmalıdır. Yosunların faydalı alanlarda kullanımı araştırılıp varsa ekonomik olarak teşvik ile söz konusu ekonomik faaliyetler canlandırılmalıdır. Aşırı büyümesini engelleyecek örneğin güneş ışığını direkt olarak alıp fazla büyümesini engelleyecek aynı zamanda turizm açısından cazip yapılar oluşturmak diğer bir çözüm olabilir.

Karkamış HES havzası içerisinde belirlenecek bir bölgede hem bir köprü hem bir pislik tutucu ızgara yapılması bir diğer çözüm olabilir. Böylece bölge ulaşım açısından, ekonomik ve sosyal açıdan gelişebilecektir. Köprü olmasa bile konulabilecek bir ızgara sistemi kirliliğin önüne geçebilecektir. Geniş bir alanda ızgaralarda yaşanan tıkanıklık santral su alma yapısındaki su akışını etkilemeyeceği için üretim açısından kirlilik kayıpları en aza indirgenecektir.

Karkamış HES'te hali hazırda çalışan ve ızgara temizliğinde kullanılan makine bulunmaktadır. Çalışma saatlerinde ızgara kirlilik sinyalinin gelmesi sonrası bakım ekibi söz konusu makine ile temizliği gerçekleştirmektedir. Bu durumun geliştirilmesi ancak Karkamış HES'te bulunan ızgara temizlik makinasının belirli bir ızgara kirlilik seviyesinde operatöre ihtiyaç duymadan çalışabilecek bir hale getirilmesi ile sürekli çalışmakta olan santralin bakım için hafta içi hafta sonu gece gündüz daha verimli çalışmasını sağlayabilecektir.

Karkamış HES'ten alınan veriler ışığında her ünite için ayrı ayrı yapılan makine öğrenmesi ile ızgara kirliliğinin verim ilişkisine bağlı olarak yapılan tahmin programının kullanılması verimi arttırabilecektir. Tahmine göre verimli çalışma ve verimsiz çalışma değeri görülecektir. Bu değer verimsiz çalışmayı gösterdiğinde ızgara kirlilik çalışması yapılacak ve ünite verimi arttırılacaktır. Bu çalışma özelinde tüm nehir tipi santrallerde santral özelinde yapılacak çalışma ile verim artışı sağlanabilecektir.



## KAYNAKÇA

- A. L. Diniz, P. P. I. Esteves and C. A. Sagastizabal, "A Mathematical Model for the Efficiency Curves of Hydroelectric units," *2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting*, Tampa, FL, USA, 2007, pp. 1-7
- Adatepe, H & Öz,V,2019 Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 9(2), 349-358
- Adler, K. (2021). IHS Markit forecasts global EV sales to rise by 70% in 2021 . Retrieved March 10, 2021, from <https://ihsmarkit.com/research-analysis/ihsmarkit-forecastsglobal-ev-sales-to-rise-by-70-percent.html>
- Arı, F & Yılmaz, V.( 2023), Türkiye’de ve Dünyada Enerji Kaynaklarının Genel Görünümü ve Alternatif Enerji Kaynaklarının Önemi”, Dicle Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, sayı 34, s.496-519.
- Ayyıldız, Emiroğlu vd.( 2014). “Türkiye’de ve Dünyada Enerji Tüketimi ve Gelişmişliğin Analitik Olarak İncelenmesi, 2. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi, Samsun.
- Başeşme, Hidayet ( 2003). Hidroelektrik santrallar ve hidroelektrik santral tesisleri, EÜAŞ Genel Müdürlüğü Hidrolik Santraller Dairesi Başkanlığı.
- Brezovek M vd. (2006). Nonlinear Digital Simulation Model of Hydroelectric Power Unit With Kaplan Turbine.
- Coşkun, O & Döğünay,H,2020. Enerji Kaynakları Pegem Akademi
- Çakır, S. V. (2019). Yapay sinir ağları matlab kodları ve matlab toolbox çözümleri 2. Basım.
- Çobaner, M. & Haktanır, T. & Kişi, Ö. (2008). Prediction of Hydropower Energy Using ANN for the Feasibility of Hydropower Plant Installation to an Existing Irrigation Dam. *Water Resour Manage*, 22, 757-774.
- Doğan, M.(2011). “Enerji Kullanımının Coğrafi Çevre Üzerindeki Etkileri ”,Marmara Coğrafya Dergisi, Sayı 23, Ocak. S.36-52.
- Ellabhan O. Vd.(2014). “Renewable Energy Resources: Current status, Future Prospects and Their Enabling Technology, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 39, pp.748-764.
- Eyüboğlu, K. vd (haz) (2021). “Gelişmekte Olan Ülkelerde Enerji Verimliliği”, Yenilenebilir Enerji ve Ekonomik Büyüme Etkileşiminin Test Edilmesi, Tarsus Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt 1, Sayı 1, ss. 29-36.

- Hribernik, A.(2020),” Evaluation of Clogged Hydropower Plant Trash Rack Losses”,Journal of Mechanical Engineering 66(2020)2, 142-152  
<https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik> ( Erişim Tarihi: 03.01.2023).  
<https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/eia-kuresel-enerji-tuketimi-2050ye-kadar-yuzde-50-artacak/2385032> ( Erişim Tarihi: 04.01.2024)  
[https://www.emo.org.tr/ekler/7913f34851ffe55\\_ek.pdf?dergi=987](https://www.emo.org.tr/ekler/7913f34851ffe55_ek.pdf?dergi=987)( Erişim Tarihi: 15.12.2023).  
<https://www.euas.gov.tr/en-US/power-plants/karkamis-hepp>(Erişim Tarihi:18.12.2023)  
<https://www.linkedin.com/pulse/kaplan-bulb-type-turbine-outside-guidevane-ring-welding-tekum>
- İnal, S.( 2022). “Yapay Zeka ile Hidroelektrik Enerji Santralleri Baraj Rezervuarlarının İşletilmesi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.
- İnal, K., Işık, E. & Dağtekin, İ. (2014). Karakaya HES’de verim ve üretim parametrelerinin yapay sinir ağı ile tahmini. Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi cilt:5, sayı:1, 59-68.
- Kafalı, K.(2020). “Hidroelektrik Bir Santralin Teorik ve Gerçek Performansının Karşılaştırılması ”,Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye.
- Karakuş, M & Altın, C (2014). Yield of the Hydroelectric Power Plant using Feed Forward and Recurrent Neural Networks: Hirfanlı Dam Application Example. Electronic Letters on Science & Engineering 10(2).
- Kebede, A ve diğlerleri (2022). Renewable and Sustainable Energy Reviews, 159, 112213, s.1-19.
- Koç, C. (2018) A study on operation problems of hydropower plants integrated with irrigation schemes operated in Turkey, International Journal of Green Energy, 15:2, 129-135.
- Koç, Cengiz (2020). “Sulama Kanalları Üzerine İnşa Edilen Hidroelektrik Santrallerin İşletilmesi Üzerine Bir Çalışma”. Avrupa- Bilim ve Teknik Dergisi, sayı 19, s.138-144.
- Koç, E., şenel, M. C.( 2013). “Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu - Genel Değlendirme,” Mühendis ve Makina, cilt 54, sayı 639, s. 32-44.
- Krivchenko. Grigori (1993).Hydraulic Machines: Turbine and pumps 44 Second Edition .

- Oral, A.E. ( 2022). “Nehir Tipi Bulb Türbinli Hidroelektrik Santrallerinde Yapay Sinir Ağları Yardımı İle Deşarj Ringlerinde Oluşan Titreşimin Tahmininin Yapılması”. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.
- Özbay,E & Gençoğlu, M.T. (2009). “HDROELEKTRK SANTRALLERN modellenmesi, Diyarbakır Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı.
- Öztemel E., (2012). “Yapay Sinir Ağları”, 3. Baskı, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Pamir, N.(2017). Enerjinin İktidarı, Hayy Kitap Yayınları, İstanbul.
- Serdar, S.( 2020). “Türkiye Hidroelektrik Potansiyeli ve Gelişme Durumu, TMMOB Makine Mühendisleri Odası.
- Ünal, Y.T. (2020). Bir Francis Türbin Performansının, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Ve Saha Verimlilik Ölçümleriyle İncelenmesi
- Walczak vd, (2020), Assessment of the Resistance Value of Trash Racks at a Small Hydropower Plant Operating at Low Temperature, Energies.