



**OVACUMA (BARTIN) ÇAYI AKIMININ MAKİNA  
ÖĞRENMESİ YARDIMIYLA TAHMİN EDİLMESİ  
VE BARTIN BAHÇECİK YERALTI BARAJI  
BESLENİMLERİNİN HESAPLANMASI**

**2023  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Emrah ŞANDER**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Tülay EKEMEN KESKİN**

**OVACUMA (BARTIN) ÇAYI AKIMININ MAKİNA ÖĞRENMESİ  
YARDIMIYLA TAHMİN EDİLMESİ VE BARTIN BAHÇECİK YERALTI  
BARAJI BESLENİMLERİNİN HESAPLANMASI**

**Emrah ŞANDER**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Tülay EKEMEN KESKİN**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Hidrolik Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Ocak 2023**

Emrah ŞANDER tarafından hazırlanan “OVACUMA (BARTIN) ÇAYI AKIMININ MAKİNA ÖĞRENMESİ YARDIMIYLA TAHMİN EDİLMESİ VE BARTIN BAHÇECİK YERALTI BARAJI BESLENİMLERİNİN HESAPLANMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Tülay EKEMEN KESKİN .....

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 27/01/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Ahmet APAYDIN (GRÜ) .....

Üye : Prof. Dr. Tülay EKEMEN KESKİN (KBÜ) .....

Üye : Dr. Öğr. Üy. Fatih SAKA (KBÜ) .....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU .....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Emrah ŞANDER

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

**OVACUMA (BARTIN) ÇAYI AKIMININ MAKİNA ÖĞRENMESİ  
YARDIMIYLA TAHMİN EDİLMESİ VE BARTIN BAHÇECİK YERALTI  
BARAJI BESLENİMLERİNİN HESAPLANMASI**

**Emrah ŞANDER**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**İnşaat Mühendisliği Hidrolik Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Tülay EKEMEN KESKİN**

**Ocak 2023, 64 sayfa**

Su canlı yaşamı için hayati önem taşımaktadır. Gelişen teknoloji, tarım ve artan dünya nüfusuna paralel olarak sınırlı olan su kaynakları giderek tükenmektedir. Dünya genelinde, su kıtlığı ve su yönetimi sorunları ile karşı karşıya kalan birçok ülke, yeraltı barajlarının yapımı ve kullanımına önem vermektedir. Türkiye’de son yıllarda sıklıkla karşılaşılan su azlığı problemi ülkemizdeki su kaynaklarının verimli bir şekilde yönetilmesi konusunda yeraltı barajlarının da yaygınlaşmasına neden olmuştur. Ülkemizde giderek artan yeraltı barajları, projelendirme, yer seçimi, inşaat ve işletme gibi birçok alt başlığı beraberinde getirmektedir. Bu tez çalışmasında çalışma alanını oluşturan Bartın Bahçecik Yeraltı Barajı incelenmiş olup, mevcut durumda sağladığı suyu gelecek dönemlerde karşılayamadığı dönemlerde Ovacuma Çayından karşılanabilecek ilave besleme miktarlarının tahminini kapsamaktadır. Bu amaca ulaşabilmek amacıyla zaman serisi analizleri, yapay sinir ağları (YSA), çoklu doğrusal regresyon (ÇDR) ve benzer havza alanı oranları yöntemleri kullanılmıştır. Öncelikle

zaman serisi analizleri ile çalışma alanı çevresindeki akım gözlem istasyonlarının (AGİ) son yıllardaki verileri tahmin edilmiş, sonraki aşamada meteoroloji ve akım gözlem istasyonlarının yağış, sıcaklık ve akım verileri ile YSA ve DR modelleri kurularak E13A031 nolu Kocairmak (Bartın) akım gözlem istasyonunun akım tahminleri gerçekleştirilmiş ve son aşamada benzer havza alanları orantısı kullanılarak Ovacuma ayının akım tahminleri yapılmıştır. Zaman serisi analizleri genellikle 0.086-13.969 arasında değişen ortalama mutlak hata oranı ile gerçekleştirilmiştir. E13A031 istasyonunun akımının tahmininde 0.802 Belirleme Katsayısı ( $r^2$ ) değeri ile YSA yönteminin daha başarılı sonuçlar verdiği saptanmış ve Ovacuma ayının var olan 2018 yılı verileri için 0.88 Belirleme Katsayısı ( $r^2$ ) değeri elde edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler** : Zaman serisi analizleri, Yapay Sinir Ağları (YSA), oklu Doğrusal Regresyon (DR), Debi Tahminleri, Bartın Bahçecik Yeraltı Barajı.

**Bilim Kodu** : 91106

## **ABSTRACT**

### **Master Thesis**

# **ESTIMATION OF OVACUMA (BARTIN) RIVER FLOW THROUGH MACHINE LEARNING AND CALCULATION OF BARTIN BAHÇECİK UNDERGROUND DAM RECHARGE**

**Emrah ŞANDER**

**Karabük University  
Institute of Graduate Programs  
Department of Civil Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Tülay EKEMEN KESKİN**

**January 2023, 64 pages**

Water is essential for living creatures. In parallel with the increasing world population, advancing technology, and agriculture, finite water resources face depletion. The water shortages and managing water resources have led countries worldwide to attach importance to the construction and usage of underground dams. In Turkey, the water shortages increasingly encountered in the last years have led to the widespread usage of groundwater dams for the management of water resources efficiently. The increasing number of underground dams brings disciplines like project design, site selection, construction, and operation together. In this dissertation study, Bartın Bahçecik Groundwater Dam went under examination to estimate the additional supply amounts that can be supplied from Ovacuma Stream in the possible water supply decreases in the future. Methods used to achieve this objective were time series analysis, artificial neural networks (ANN), multiple linear regression (MLR), and

catchment area ratio methods. The data from 2018 of the stream gauges around the study area were estimated by using time-series analyses. The streamflow values of the E13A031 Kocairmak (Bartın) stream gauge were estimated by establishing artificial ANN and MLR models with the obtained precipitation, temperature, and streamflow data from meteorology and stream gauging station. In the last stage, the streamflow of Ovacuma Stream was estimated by the catchment area ratio method. Time series analyses generally were carried out with an average absolute error rate ranging from 0.086 to 13.969. ANN method was detected to be more successful in predicting the flow of station E13A031 with an Coefficient of Determination ( $r^2$ ) value of 0.802. For the existing data of Ovacuma Stream from 2018, the approximate result of 0.88 Coefficient of Determination ( $r^2$ ) was received.

**Key Word** : Time Series Analysis, Artificial Neural Network, Multiple Linear Regression, Flow Forecast, Bartın Bahçecik Underground Dam

**Science Code** : 91106



## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve değerlendirilmesinde ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın tez danışman hocam Prof. Dr. Tülay EKEMEN KESKİN'e, Bartın Bahçecik Yeraltı Barajın'a ait teknik bilgilerinin sağlanmasında DSİ 23 Bölge Müdürlüğü'ne, Jeoteknik Hizmetler ve YAS Şube Müdürü Mümtaz GÜNEŞ'e, dijital ortamda veri temininde destek olan SOM Proje firmasına, analizlerde yazılım desteğinden dolayı H. İbrahim ÇETİNER'e, tezin düzenlenmesi ve istatistiksel değerlendirilmesinde yardımcı olan sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Fatih SAKA'ya ve tezin geliştirilmesi konusunda çalışmalarımıza rehber olan sayın hocam Prof. Dr. Ahmet APAYDIN'a, sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tezimin oluşturulması aşamasında tavsiyelerinden faydalandığım sevgili dostum Oral ÜNAL'a, motivasyonumu sürekli yüksek tutan sevgili arkadaşım Berk ATLI'ya, çalışmamı birlikte yürüttüğüm sevgili arkadaşım H. Yusuf KILIÇ'a, çeviri kısımlarında yardımcı olan sayın hocam Oğuz BOZTEPE'ye, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili ablam Su ŞANDER'e, sevgili kardeşim H. Belgin ŞANDER'e, sevgili annem Çiğdem ŞANDER'e, sevgili babam Sürmeli ŞANDER'e, sevgili yol arkadaşım Gülgün FİŞENK'e teşekkür ederim

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	.ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
1. 1. ÇALIŞMANIN AMACI.....	1
1.2. ÇALIŞMA KAPSAMINA GİRİŞ.....	2
1.3. YERALTI BARAJLARI.....	3
1.3.1. Yeraltı Barajlarının Tarihsel Gelişimi .....	4
1.3.2. Yer Seçimi .....	7
1.3.2. Projelendirme.....	8
1.3.3. İnşaat ve İşletme .....	9
BÖLÜM 2 .....	11
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	11
BÖLÜM 3 .....	15
MATERYAL VE METOT .....	15
3.1. BARTIN BAHÇECİK YERALTI BARAJI.....	18
3.2. AKIM TAHMİN YÖNTEMLERİ .....	23
3.2.1. Doğrusal Regresyon.....	23
3.2.2. Çoklu Doğrusal (ÇDR).....	24

3.2.4. Skforecast Kütüphanesi .....	25
3.2.5. Ortalama Mutlak Hata (OMH) .....	26
3.2.6. Ortalama Mutlak Yüzde Hata (OMYH) .....	27
3.2.7. Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu .....	27
3.2.8. Adam Optimizasyonu .....	28
3.3. KULLANILAN YAZILIMLAR VE PROGRAMLAMA DİLLERİ.....	28
3.3.1. H3GEN Cad Yazılımı.....	28
3.3.1.1. Havza Analizi.....	29
3.3.1.2. Çalışma Sahası Arazi Modelinin Oluşturulması.....	31
3.3.1.3. Bahçecik Yeraltı Barajının En ve Tip Kesitlerinin Oluşturulması .	31
3.3.2. Python.....	36
BÖLÜM 4 .....	38
AKIM TAHMİN ANALİZLERİ VE DEBİ HESAPLAMALARI .....	38
4.1. VERİLER .....	38
4.2. AKIM TAHMİNLERİ .....	42
BÖLÜM 5 .....	50
YERALTI SUYU DEBİ HESAPLARI .....	50
5.1. DUPUIT YAKLAŞIMI.....	50
5.2. DEBİ HESAPLARI.....	50
BÖLÜM 6 .....	58
SONUÇLAR .....	58
KAYNAKÇA.....	60
ÖZGEÇMİŞ .....	64

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Basitleştirilmiş bir yeraltı baraj modeli.....	4
Şekil 1.2. Pernambuco Eyaleti Yeraltı Barajı gövde modelleri .....	6
Şekil 1.3. Vadi alüvyonlarında yeraltı barajı inşa etmek için ideal şartlar .....	8
Şekil 1.4. Tipik yeraltı barajı gövde tipleri .....	9
Şekil 3.1. Tez akış diyagramı.....	17
Şekil 3.2. Bartın Bahçecik Yeraltı Barajı yer bulduru haritası .....	19
Şekil 3.3. Bartın Bahçecik Yeraltı Barajı proje alanı ve 1/5000 ölçekli konumu .....	20
Şekil 3.4. Bartın Bahçecik Yeraltı Barajının gövdesi, derivasyon kanalı ve drenaj boruları kazı alanı .....	21
Şekil 3.5. Çalışma alanı A-A' jeolojik kesiti .....	22
Şekil 3.6. Çalışma alanı B-B' jeolojik kesiti .....	22
Şekil 3.7. Yapay sinir ağları (YSA) modeli .....	25
Şekil 3.8. Zaman serisi matris dönüşümü .....	26
Şekil 3.9. Dışsal değişken zaman serisi dönüşümü.....	26
Şekil 3.10 Taudem Algoritması .....	29
Şekil 3.11. 8 yönlü akım modeli. ....	30
Şekil 3.12. Bartın Bahçecik Yeraltı Barajı aksı havza alanı modeli. ....	31
Şekil 3.13. Bartın Bahçecik Yeraltı Barajı projesi arazi modelleri.....	32
Şekil 3.14. Bahçecik Yeraltı Barajı en kesit modeli. ....	32
Şekil 3.15. Bahçecik Yeraltı Barajı tip kesitlerin tanımları. ....	33
Şekil 3.16. Bahçecik Yeraltı Barajı geçirimsizlik perdesi, başlığı ve mansap kay ....	33
dolgu tip kesit modeli.....	33
Şekil 3.17. Bahçecik Yeraltı Barajı derivasyon kanal kesitleri.....	34
Şekil 3.18. Bahçecik Yeraltı Barajı derivasyon kanalı modeli. ....	34
Şekil 3.19. Bahçecik Yeraltı Barajı ishale hattı yüzey modeli.....	35
Şekil 3.20. Bahçecik Yeraltı Barajı ishale hattı enkesitleri.....	35
Şekil 3.21. Bahçecik Yeraltı Barajı drenaj yüzey modeli. ....	36
Şekil 3.22. Bahçecik Yeraltı Barajı drenaj alan enkesitleri. ....	36
Şekil 4.1. Batı Karadeniz Havza doğusunda yer alan meteoroloji ve akım gözlem istasyonlarının konumları .....	40

Şekil 4.2 Filyos Havza'sındaki meteoroloji ve akım gözlem istasyonları .....	40
Şekil 4.3. Gözlem istasyonları arasındaki korelasyon katsayıları.....	41
Şekil 4.4. D13A014 nolu akım gözlem istasyonunun akım tahmini. ....	43
Şekil 4.5. D13A015 nolu akım gözlem istasyonunun akım tahmini. ....	43
Şekil 4.6. D13A021 nolu akım gözlem istasyonunun akım tahmini. ....	43
Şekil 4.7. D13A022 nolu akım gözlem istasyonunun akım tahmini. ....	44
Şekil 4.8. D13A040 nolu akım gözlem istasyonunun akım tahmini. ....	44
Şekil 4.9. D13A050 nolu akım gözlem istasyonunun akım tahmini. ....	44
Şekil 4.10. E13A007 nolu akım gözlem istasyonunun akım tahmini.....	45
Şekil 4.11. E13A014 nolu akım gözlem istasyonunun akım tahmini.....	45
Şekil 4.12. E13A033 nolu akım gözlem istasyonunun akım tahmini.....	45
Şekil 4.13. E13A034 nolu akım gözlem istasyonunun akım tahmini.....	46
Şekil 4.14. E13A035 nolu akım gözlem istasyonunun akım tahmini.....	46
Şekil 4.15. E13A032 nolu akım gözlem istasyonunun akım tahmini.....	46
Şekil 4.16. YSA modeli ile tahmin ve gerçek değer kıyaslaması. ....	48
Şekil 4.17. E13A031 AGİ ölçülen debiler ile tahmin edilen debilerin kıyaslanması.49	
Şekil 5.1. Aks ve Rezarvuvar sondajlarının H3GEN Cad yazılımındaki gösterimi. ...	57

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 1.1 Faklenmark indeks değerleri.....	2
Çizelge 4.1. Analizlerde kullanılan yağış ve akım gözlem istasyon bilgileri. ....	39
Çizelge 4.2 Model hata performans metrikleri. ....	42
Çizelge 4.3. Model başarı metrikleri.....	47
Çizelge 4.4. Havza alanlarına göre akım tahminleri. ....	48
Çizelge 5.1 Ovacuma Çayı akım değerleri .....	51
Çizelge 5.2. Temel sondaj bilgileri .....	52
Çizelge 5.3. Aks üzerindeki kuyular arası yatay uzaklık. ....	53
Çizelge 5.4. Rezervuar üzerindeki kuyular arası yatay uzaklık. ....	53
Çizelge 5.5. K değeri 13.32 <i>m/g</i> için 1 m YAS yükselmesi için gereken ilave ..... besleme miktarları.....	54
Çizelge 5.6. K değeri 14.8 <i>m/</i> için 1 m YAS yükselmesi için gereken ilave besleme miktarları.....	55
Çizelge 5.7. K değeri 86.9 <i>m/g</i> için 1 m YAS yükselmesi için gereken ilave besleme miktarları.....	55
Çizelge 5.8. K değeri 0.147 <i>m/g</i> için 1 m YAS yükselmesi için gereken ilave ..... besleme miktarları.....	56
Çizelge 5.9. K değeri 6.74 <i>m/g</i> için 1 m YAS yükselmesi için gereken ilave besleme miktarları.....	56
Çizelge 5.10. K değeri 25.56 <i>m/g</i> için 1 m YAS yükselmesi için gereken ilave ..... besleme miktarları.....	57

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

- $y$  : Bağımlı değişken  
 $x$  : Bağımsız değişken  
 $cm$  : Santimetre  
 $m$  : Metre  
 $mm$  : Milimetre  
 $s$  : Saniye  
 $L$  : Litre  
 $m^3$  : Metreküp  
 $k^2$  : Kilometrekare  
 $w_0$  : Sapma terimi  
 $w_1$  : Çizgi üzerindeki eğim  
 $z$  : z skoru  
 $n$  : Hata sayısı  
 $\Sigma$  : Toplam sembolü  
 $e$  : Euler sabiti  
 $Q$  : Debi ( $m^3/s$ )  
 $K$  : Hidrolik iletkenlik  
 $h_1$  : 1 nolu kuyudaki akifer doygun kalınlığı  
 $h_2$  : 2 nolu kuyudaki akifer doygun kalınlığı  
 $L$  : Kuyular arası mesafe

## KISALTMALAR

YSA/ANN	: Yapay Sinir Ağları/Artificial Neural Network
DSİ	: Devlet Su İşleri
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
OMH	: Ortalama Mutlak Hata
OMYH	: Ortalama Mutlak Yüzde Hata
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
ÇDR/MLR	: Çoklu Doğrusal Regresyon/Multiple Linear Regression
MOCT	: İnşaat ve Ulaştırma Bakanlığı (Ministry of Construction & Transportation)
MSE	: Ortalama Kök Hata (Mean Square Error)
SGD	: Standart Gradyan Alçalış (Standard Gradient Descent)
TauDEM	: Dijital Yükseklik Modeli Kullanarak Arazi Analizi (Terrain Analysis Using Digital Elevation Model)
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
UTM	: Urchin Takip Modülü (Urchin Tracking Module)
ITRF	: Uluslararası Karasal Referans Sistemi (International Terrestrial Reference Frame)



## **BÖLÜM 1**

### **GİRİŞ**

Türkiye, son yılların sıklıkla kuraklık ve su kıtlığı problemleriyle karşı karşıya kalmıştır. Bu problemler, genellikle yaz aylarında daha belirgin hale gelmekte ve su kaynaklarının azalması, tarım ve sanayi gibi sektörleri çok ciddi şekilde etkilenmektedir. Türkiye'de su kıtlığı problemi, ülkenin yoğun nüfusu ve su kaynaklarının azlığı gibi faktörlerden dolayı ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, tarımsal üretimin yoğun olduğu bölgelerde su tasarrufu yapılmasına rağmen, su kıtlığı problemi devam etmektedir [1]. Türkiye'de su kıtlığı problemine çözüm bulmak için, su kaynaklarının daha etkin kullanılması ve yeni teknolojiler kullanılarak yenilikçi çözümlerin bulunması gerekmektedir. Bu amaçla, su tasarrufu yapılması, yenilenebilir su kaynaklarının kullanılması, suyun yeraltında depolanma miktarının artışı, su israfından vazgeçerek, daha az su tüketen sulama sistemlerinin veya ürün yetiştirmede yenilikçi sistemlerin kullanılması gibi birçok farklı çözümler önerilmektedir. Bu önerilere, su tasarrufu yapılması için su tasarruf cihazlarının kullanımını teşvik etmek, yenilenebilir su kaynaklarının kullanımını desteklemek için özel teşvikler uygulanması ve bu tez kapsamında yer verilen yeraltı barajlarının inşası ve veriminin artırılması için akım tahmin araştırmaları örnek olarak verilebilir.

#### **1. 1. ÇALIŞMANIN AMACI**

Bu tez çalışmasında çalışma alanını oluşturan Bartın Bahçecik Yeraltı Barajının günümüz itibariyle sağladığı suyun, ilerleyen yıllarda Bartın ve Amasra Merkezi'nin içme ve kullanma suyu ihtiyacı olması halinde, ilave olarak baraj akiferinin beslenebilmesi için gerekli akımlarının hesaplanması amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında ilk adım olarak yeraltı barajına ulaşan Ovacuma Çayının akımları tahmin

edilmiş ikinci adım olarak ise yeraltı barajı akiferindeki kuyularda yeraltısuyu seviyesinin 1 m yükselebilmesi için gerekli ilave beslenme debileri hesaplanmıştır.

## 1.2. ÇALIŞMA KAPSAMINA GİRİŞ

Türkiye su zengini bir ülke olmayıp, 2050 yılında kişi başı su miktarı  $1100 m^3$  olacağı tahmin edilmektedir [2]. Bu değer Çizelge 1.1 ile kıyaslandığında Türkiye'nin "Su Stresi" altında olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca son yıllarda ciddi bir şekilde karşı karşıya kaldığımız kuraklık olayları bu gerçeği daha ciddi bir şekilde yaşamamıza sebep olmakta ve bu tez kapsamında ele alınan ve birçok ülkede kuraklık ile mücadelede akla gelen yeraltı barajları ve bu barajlar ile ilişkili su akımlarının tahmin edilmesi gibi çalışmaların acil bir şekilde yapılmasını gerektirmektedir. Akım tahminlerinden elde edilen veriler ile gelecek tahmin model çalışmalarının da kısa süre içerisinde geliştirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Çizelge 1.1. Faklenmark indeks değerleri [3].

<b>Kategori</b>	<b>Su (<math>m^3</math>/kişi)</b>
<b>Mutlak Su Kıtlığı</b>	< 500
<b>Su Kıtlığı</b>	500-1000
<b>Su Stresi</b>	1000-1700
<b>Su Baskısı Yok</b>	>1700

Birçok ülkede olduğu gibi Türkiye'de yeraltı barajlarının kullanımı, su ihtiyacının karşılanmasına yardımcı olma potansiyeline sahiptir. Bu alanlar, özel yapılar ve makinelere dayalı olarak oluşturulmakta ve su depolamaya uygun bir şekilde tasarlandıkları için su kaybını azaltmaktadırlar.

Bu tez kapsamında öncelikle kuraklık ile mücadele kapsamında ele alınan ve Bartın İli ve Amasra İlçe merkezlerinin içme ve kullanma sularına takviye amaçlı olarak Slurry-Trench (Bulamaç Hendeği) gövde yöntemi ile inşaa edilmiş Bahçeçik Yeraltı Barajı inşa adımları ve özellikleri hakkında bilgi verilerek, bu baraj akiferinin

besleniminde katkısı olan Ovacuma Çayı'nın akım tahminleri gerçekleştirilmiştir. Bu vizyonda farklı yazılımlar kullanılmıştır. Öncelikle H3GEN Cad yazılımı ile Ovacuma Çayı'nın drenaj alanı bulunarak proje elemanları olan baraj gövdesi, derivasyon kanalı, drenaj boru kazı alanları ve iletim/isle hattının proje özellikleri saptanmıştır. Akım tahmin hesaplamalarında ise Phtyon yazılımı tercih edilmiştir. Akım tahmin çalışmalarında Batı Karadeniz Havzasında yer alan çalışma yöntemlerine uygun bazı meteoroloji ve akım gözlem istasyonlarının aylık toplam yağış, aylık ortalama sıcaklık ve aylık ortalama akım verileri kullanılarak, öncelikle E13A031 nolu Kocairmak (Bartın) akım gözlem istasyonunun aylık ortalama debi değerlerinin tahmini yapılarak, daha sonrasında ise havza alanı oranları yardımıyla Ovacuma Çayı debi tahminleri gerçekleştirilmiştir.

Ortalama debi tahmini için YSA ve ÇDR olmak üzere iki ayrı model kullanılmıştır. YSA modeli için belirleme katsayısı ( $r^2$ ) 0.802, OMYH 3.102 ve OMH 6.153 ve ÇDR modeli için  $r^2$  0.790, OMYH 3.110 ve OMH 6.024 olarak hesaplanmıştır.

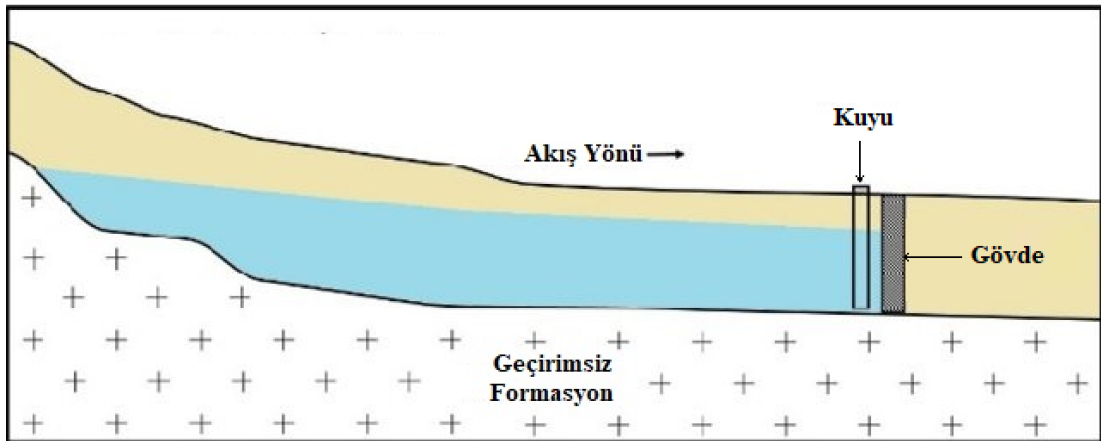
### **1.3. YERALTI BARAJLARI**

Hidrolojik döngüde yeraltısuyu, altındaki kayaların ve toprakların gözeneklerini veya boşluklarını doyurmaktadır [2]. Yeraltı barajı, su akışını kesmek için çeşitli şekillerde tasarlanmış bir yapıdır ve kurak veya yarı kurak bölgelerde kullanılmak üzere tasarlanmaktadır (Şekil 1.1). Tropikal iklimlerde yeraltı barajları küçük veya orta ölçekli su kaynakları olarak kullanılmaktadır. Su temini için henüz tam olarak evrensel bir yöntem olarak görülmemekle birlikte su depolamak için yerüstü barajları yerine yeraltı barajlarının kullanılması yüksek buharlaşma, kirlilik, siltasyon ve su kirliliği gibi problemlerin önlenmesinde faydalı olması açısından önemlidir [4].

Yeraltı barajlarının yapım prensipleri nispeten basit olup vadi boyunca geçirimsiz tabakaya kadar bir hendek kazılmakta ve kazılan hendek üzerine geçirimsiz bir tabaka inşa edilmektedir [5].

Yeraltı barajlarında depolanan yeraltısuyu, topoğrafik, jeolojik, teknik ve ekonomik durumlara bağlı olarak cazibeyle veya çoğu kez kuyulardan pompa kullanılarak

alınmaktadır. Genel olarak, yeraltı barajlarında suların cazibe ile iletilmesi pompa ile iletilmesinden daha yüksek maliyetli olmaktadır. Bu yüzden cazibeli barajların inşaat maliyeti, pompajlı barajların ise işletme maliyeti daha yüksek olmaktadır. Yeraltı barajlarının inşa edilebilmesi için, yeterli kalınlık ve yayılıma sahip, alttan ve yanlardan geçirimsiz formasyonlarla sınırlı, Depolama Katsayısı (S) ve Hidrolik İletkenlik (K) değerleri yüksek akifer ve tercihen akiferin kesit alanının küçüldüğü dar bir boğaz bulunmalıdır. Geçirimsiz perde kil, beton, betonarme veya sentetik malzemeler kullanılarak inşa edilebilmektedir. Geçirimsizliği sağlayacak olan perdenin inşaatında değişik türde doğal veya yapay malzemeler kullanılabilir. En çok kullanılanlar kil, beton, plastik, blok kaya veya bunların bileşimidir. Malzemenin seçiminde, yerüstü barajlarında olduğu gibi, doğal koşullar ile piyasa koşulları etkili olmaktadır [6].



Şekil 1.1. Şematik Yeraltı Barajı.

### 1.3.1. Yeraltı Barajlarının Tarihsel Gelişimi

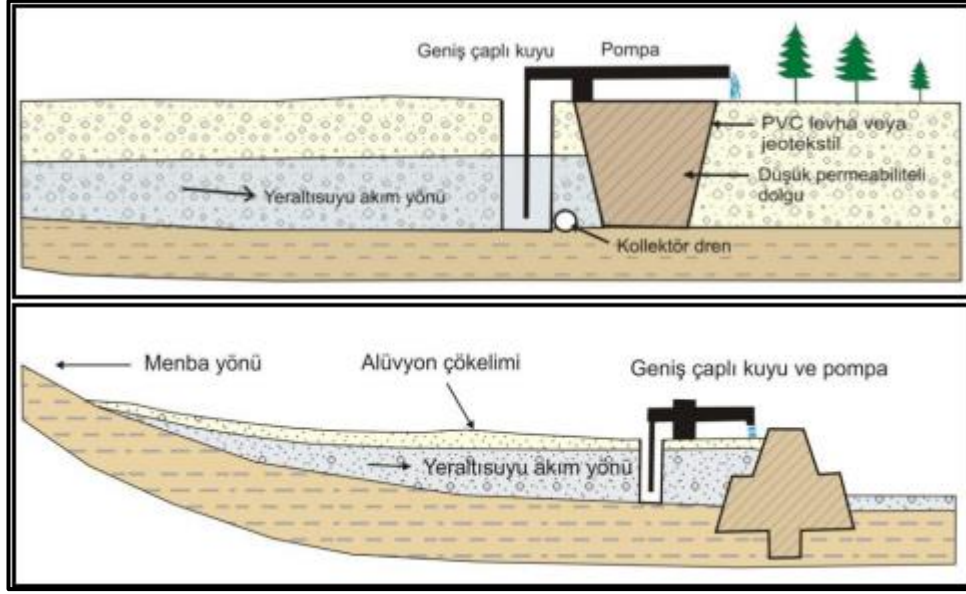
Su, insanlığın tarihinde her zaman önemli bir yer almıştır. Dünyada ilk yüzey barajı M.Ö 4000 yıllarında Nil Nehri üzerinde inşa edildiği tahmin edilmektedir. Hitit dönemine ait (M.Ö 1240) Anadolu'da küçük ölçekli barajlar inşa edildiğine dair kanıtlar bulunmaktadır. Çorum-Alacahöyük'te bulunan Hitit Barajı sağlam ve kullanılabilir durumdadır [6]. Suyun yeraltında depolanma fikri uygarlıklar için her zaman önem arz etmiştir. Romalı'lar döneminde Sardinia Adasında ve Tunus'ta yeraltı

barajları inşa edilmiş olması uygarlıkların su yönetimine verdiği önemi göstermektedir [7].

Dünyanın en eski yeraltı barajlarından biri ise İran'ın İsfahan Kenti yakınlarında Meymeh'te inşa edildiği bilinmektedir. Yüksekliği 9 m olan bu baraj sulama mevsimi boyunca 270 bin m<sup>3</sup> depolama kapasitesine sahiptir. Bu baraj, Vazvan kentindeki su kemerinde su kayıplarını önlemek için ve Sistan ile Baluchestan vilayetlerinde su temin etme amacıyla kullanılmaktadır. Topoğrafik ve iklim özellikleri açısından İran'ın yeraltı barajları inşasına uygun olduğu belirtilmektedir [6].

Son 100 yıllık süreç zarfında dünya üzerinde birçok yeraltı barajı inşa edildiği bilinmektedir. Özellikle su kıtlığı çeken ülkelerde (Güney ve Doğu Afrika, Hindistan) çeşitli büyüklük ve özelliklerde yeraltı barajları inşa edilmiştir [4]. Ayrıca 2001 yılında Japonya'da en büyük rezervuar kapasitesine sahip (20,000,000 m<sup>3</sup>) yeraltı barajı inşa edilmiştir [8].

Yeraltı barajları dünya üzerine en fazla inşa eden ve bu konuda en fazla tecrübeye sahip olan ülkelerin başında Brezilya gelmektedir. Ülkenin yarı kurak iklim koşullarına sahip olması nedeni ile çok fazla buharlaşma görülmektedir. Yıllık ortalama yağışı 600 mm olan bu bölgede potansiyel buharlaşma 2000 mm civarındadır. Buharlaşma kayıplarını en aza indirmek amacı ile yapılan çalışmalar sonucunda Pernambuco Eyaletinde 1990'lı yılların başından itibaren 500 adet küçük ölçekli yeraltı barajı (Şekil 1.1) inşa edilmiştir [6].



Şekil 1.2. Pernambuco Eyaleti Yeraltı Barajı gövde modelleri [6].

21. yüzyıl başlarından itibaren Kore’de 6 adet yeraltı barajı bulunduğu bilinmektedir. Bu barajların toplamından bir günde 150 bin  $m^3$  su temin edilmektedir. 2002 yılında İnşaat ve Taşımacılık Bakanlığı (MOCT) tarafından yapılan incelemelere göre Kore’de 21 adet yeraltı baraj yeri tespit etmiştir [9].

Afrika Kıtasında inşa edilen ilk yeraltı barajı 1905 yılında Tanzanya’da yapıldığı tahmin edilmektedir [10]. Afrika kıtasının özellikle orta ve doğu bölgesindeki kurak-yarı kurak ülkelerinde (Kenya, Tanzanya, Somali gibi) küçük ölçekli yerleşimlerin içme kullanma suyu ve bazı bölgelerde de sulama suyu ihtiyacının karşılanması amacıyla yeraltı barajları inşa edilmektedir. Japonya, özellikle kaya akiferlerinde enjeksiyonla büyük boyutlu yeraltı barajlarının inşa edildiği bir ülke olarak bilinmekte olup Japonya Tarım Arazilerini Geliştirme Ajansı, çakıllı sahil alüvyonlarından tuzlu su girişimini önlemek ve evsel su ihtiyacını karşılamak amacıyla Miyako Adalarında, dünya çapında büyük iki adet yeraltı barajı inşa etmiştir [6].

2000’li yılların başından itibaren Türkiye’nin yarı kurak bölgelerinde çeşitli kurumlar tarafından eskiye kıyasla daha büyük ve daha işlevsel yeraltı barajları inşa edilmiştir. Yahsihan (Kırıkkale) ve Malıboğazı (Ankara) yeraltı barajları, Türkiye’de 21. yüzyılın başlarındaki ilk yeraltı barajı deneyimlerindedir. İlki, Yahsihan İlçesinde 2003

yılından itibaren içme amaçlı olarak kullanılmaktadır. Malıboğazı Yeraltı Barajı, sulama amacıyla 2004 yılında inşa edilmiştir. Sular, her iki barajdan da cazibeyle elde edilmektedir. Öte yandan, çevredeki dört köye içme suyu sağlamak amacıyla 2005 yılında Kırıkkale'ye bağlı Aşağı Olunlu Köyünde küçük bir yeraltı barajı inşa edilmiştir. Bahşılı Yeraltı Barajı, Bahşılı Beldesinin içme suyu ihtiyacını karşılamak amacıyla 2009 yılında Kırıkkale Valiliği denetiminde Bahşılı Belediyesi tarafından inşa edilmiştir. Ülkemizde son zamanlarda yapılan çalışmalardan bir tanesi Ankara'nın Elmadağ ilçesinde yapılan Kargalı Barajıdır. Bu çalışmayı diğerlerinden ayıran özelliği hem yeraltı hemde yerüstü depolamasının olmasıdır [11].

Dünyada ve Türkiye de çeşitli ihtiyaçlara göre yeraltı barajlarının sayıları giderek artmakta ve kuraklık ile mücadele çalışmaları kapsamında ülkelerin yeraltı barajlarına giderek daha fazla önem verdiği anlaşılmaktadır.

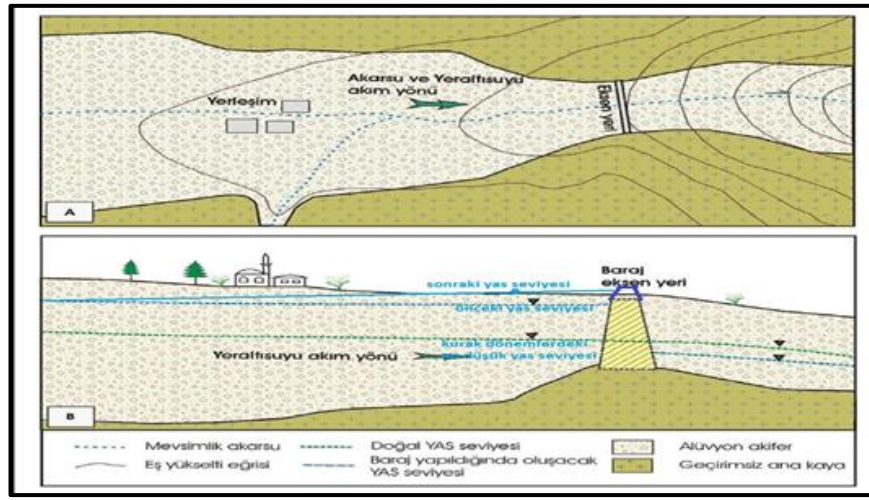
### **1.3.2. Yer Seçimi**

Diğer yüzey barajlarında olduğu gibi yeraltı barajlarında da yer seçimi baraj tipi ve veriminde en önemli etken olup, öncelikle havza hidrolojisi ve hidrojeolojisi araştırılmalı ve bu bilgiler doğrultusunda yer seçimi yapılmalıdır. Akiferin geometrisi, hidrolik özellikleri, beslenme koşulları ve su kalitesi gibi faktörler, yeraltı barajının verimini ve ömrünü etkilemektedir. Yeraltı barajlarının yer seçiminde en önemli unsurlar, suyun depolanabileceği bir rezervuar alanının olması, topoğrafyanın jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerin uygunluğu ve özellikle istenilen düzeyde su temini elde edilip edilemeyeceğidir. Baraj havzası özellikleri ve yağış yeterli şartları sağlıyor ise belirlenen eksen üzerinde belirli bir zaman aralığında debi ölçümleri yapılmalıdır. Debi miktarı, gövde ve rezervuar hacmi için malzeme durumları göz önüne alınarak projelendirmeye başlanılmaktadır. Bu tez kapsamında da araştırıldığı gibi yüzeysel akış ve yeraltısuyu beslenimi gibi faktörler de yer seçiminde dikkate alınmalıdır. Öncelikle hidrojeolojik haritalama yapılarak akifer sınırları belirlenmelidir. Bu sayede, barajın yapılacağı yerde hangi malzemelerin bulunduğu ve barajın verimi hakkında, bilgi edinilebilir. Gerekli görülmesi durumunda jeofizik etütlerle detaylandırılması yapılabilmektedir. Ayrıca, özellikle akifer boyutları ve hidrolik parametreler hakkında bilgi toplamak amacıyla sondajlar yapılarak en uygun yer tespit

edilmeye çalışılmaktadır [6]. Şekil 1.3’de vadi alüvyonlarında yeraltı barajı inşa etmek için ideal şartları gösteren bir görsel verilmiştir.

Ayrıca yer seçiminde dikkat edilmesi önerilen bazı hususlar şunlardır [12];

1. Gerekli yeraltısuyunu depolayacak kadar gözenekliliğe ve yeraltısuyunu taşınımını sağlayacak kadar geçirgenliğe sahip bir akifer bulunmalıdır.
2. Temel seviyenin geçirimsiz olması gerekmektedir.
3. Taşınacak su miktarına karşılık gelen yeterli yeraltısuyu beslemesi olmalıdır.



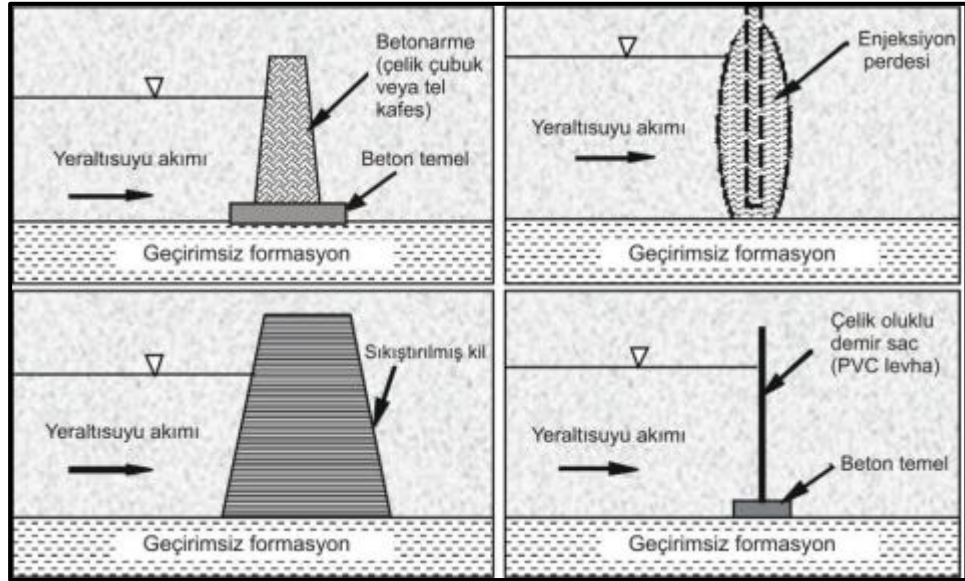
Şekil 1.3. Vadi alüvyonlarında yeraltı barajı inşa etmek için ideal şartlar [13].

### 1.3.2. Projelendirme

Yeraltı barajlarında gövdeyi oluşturan perde, suyun, diğer alanlara geçişini önlemek için kullanılan bir yapı olup doğal malzemeler (kil, volkanik cüruf, volkanik kayaç gibi) veya yapay malzemeler (beton, plastik, polietilen gibi) kullanılarak yapılabilmektedir (Şekil 1.4). Hangi malzemelerin kullanılacağı, projenin özgül şartları ve barajın yapılacağı yerdeki koşullara göre belirlenmektedir. En sık kullanılan malzemeler kil, beton, plastik, blok kaya ve bu malzemelerin bileşimidir. Malzeme seçiminde, bölgenin doğal koşulları (örneğin, toprak yapısı, sismik aktivite) ve ekonomik koşullar (malzemenin fiyatı ve stok durumu gibi) etkili olmaktadır [4].



Yeraltı barajlarının maliyetlerinin düşürülmesi için, mümkün olduğu kadar baraj yerinden veya yakın çevresinden kazılan malzemeler kullanılmalıdır. Farklı gövde tipindeki barajların tasarım standartları baraj tipine göre değişmekte ve genel olarak, en ucuz yeraltı barajları toprak dolgu barajlar olmaktadır. Bununla birlikte dünya çapında bölgenin şartlarına göre, çatlaklı kaya akiferlerinde enjeksiyon perdesi, Bulamaç Hendeği (Slurry-Trench) ve Bitişik Kazık (Bored Pile) gibi yapılar da kullanılmaktadır. Bu yapılar, gövde olarak daha pahalı olmasına rağmen, çatlaklı kaya akiferlerinde toprak dolgu barajlarının performansı yetersiz olabileceğinden tercihi daha uygun olmaktadır. Yani baraj tasarımı projenin özgül şartlarına göre yapılmaktadır. Sahil akiferlerinde tuzlu deniz suyunun girişini önleyerek tatlı yeraltısuyu tuzlanmadan akiferde depolanı amaçlayan yeraltı barajları, teknik ve ekonomik analizler sonucunda uygun görüldüğü takdirde inşa edilebilir. Bu tip barajlar, tuzlu deniz suyunun yeraltı sularına girişini önleyerek, tatlı yeraltısuyunun tuzlanmasını önlemekte ve tatlı su kaynaklarını korumaktadır [6].



Şekil 1.4. Tipik yeraltı barajı gövde tipleri [6].

### 1.3.3. İnşaat ve İşletme

Yeraltı barajlarındaki etüt işlemleri bölgenin doğal koşullarına ve ekonomik durumlara göre birkaç yıl sürebilmektedir. İnşaatları projenin büyüklüğüne göre değişmekte olup

genellikle bir inşaat sezonunda gerçekleşmektedir. Bu nedenle yerüstü barajlarında olduğu gibi, ülkemizde inşa edilecek yeraltı barajlarında proje çalışmalarının kış döneminde tamamlanması ve inşaatına havaların uygun olduğu bahar aylarında veya en geç yaz başında başlanacak şekilde hazırlıkların yapılması gerekmektedir. Barajdan çekilecek su miktarının ve kalitesinin işletme süresince izlenmesi için uygun yerlerde ölçüm istasyonları inşa edilmeli ve akiferin davranışı periyodik olarak izlenmesi gerekmektedir [6].

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Yeraltı barajları konusunda literatürde erişilebilen ilk kapsamlı çalışma Hanson ve Nilsson 1986 [14] ve Nilsson 1988 [15]’in çalışmaları olup Japonya Çevre Ajansı’nın (Japan Green Resources Agency) yayını [16] ise çeşitli yeraltı barajlarında uygulanan yöntemlere geniş bir bakış getirmektedir.

Apaydın (2018)’nin “Yer Seçiminden İşletmeye; Yeraltı Barajları” adlı kitabında, bir yeraltı barajının gerekli olması durumunda projelendirme aşamalarını, yer seçimi ve inşa aşamalarını, aynı zamanda işletilme aşamalarını detaylı olarak ele almıştır. Kitap Türkiye’de yeraltı barajlarının uçtan uca projelendirmesinde, inşasında ve işletmesinde araştırmacılar için önemli bir yayın ve rehber niteliği taşımaktadır [6].

Nishigaki ve diğ. (2004)’nin “Underground dam technology in some parts of the World” adlı çalışmalarında artan insan nüfusunun yeraltısuyundaki azalmaya sebep oluşuna, çözüm önerisi olarak yeraltı barajlarına değinilmiştir. Çalışma da yeraltı barajlarındaki avantajları yerüstü barajları ile kıyaslamış buharlaşmanın daha az olduğuna ve alüvyon birikintisi sebebiyle oluşabilecek rezarvuvar hacmindeki azalmanın olmamasından dolayı daha uzun ömürlü olacağını ifade etmiştir. Dünyanın çeşitli bölgelerindeki yeraltı barajlarının tasarımları, uygun yer seçimi ve baraj inşası gibi konuları incelenmiştir [17].

Ouerdachi ve diğ. (2012)’nin “Modeling of underground dams application to planning in the semi arid areas (Biskra, Algeria)” adlı çalışmalarında; Dünya genelinde yeraltısularının işletilmesinde yüzey barajlarının kullanıldığına ve bu barajların yüksek buharlaşmalara maruz kaldığına değinilmiştir. Çeşitli bilgisayar yazılımlar ile kurak veya yarı kurak bölgelerde baraj gövdesi tasarımları yapılarak incelenmiş olup düşük buharlaşma için yer seçimine etki eden faktörler incelenmiştir [18].

Nawa ve diğ. (2009)'un "The analysis of saltwater intrusion through Komesu underground dam and water quality management for salinity" adlı çalışmalarında; Japonya'da tuzlu su girişini önlemek amacıyla inşa edilen Komesu Barajını incelenmiştir. Barajın gövdesi tuzlu su geçişini büyük ölçüde kestiği kanısına varılmıştır. Tuzlu su kütleindeki artış nedeniyle izin verilen tuzluluk seviyesini aşp aşmayacağını önceden tahmin etmek gerektiği belirtilmiş ve Japonya'dan verilen örnek ile çalışma pekiştirilmiştir [19].

Hasan ve diğ. (2014)'ün "Moving towards accurate monitoring and prediction of gold mine underground dam levels" adlı çalışmalarında; makine öğrenimi yöntemleri kullanılarak (YSA, ÇDR) Güney Afrika'da tek pompalı bir yeraltı barajının su seviyeleri sınıflandırılmış ve tahmin edilmiştir. Çalışmada en başarılı sonuçları YSA algoritması verdiği kanısına varılmıştır. Sonuçların doğruluğunu artırmak amacıyla önce genel bir sınıf belirlenmiş olup model test edilmiş daha sonra beş ayrı sınıflandırma yapılarak çoklu sınıflandırıcıların tekli sınıflandırıcılardan daha başarılı olduğu kanısına varılmıştır [20].

Vaheddoost ve diğ. (2014)'ün "Prediction of discharge in Qanat due to construction of an underground dam using artificial neural network methods" adlı çalışmalarında; dünyadaki su problemlerine değinilmiştir. Akım tahmini için 3 gözlem istasyonundan alınan veriler ile (yağış, sıcaklık, buharlaşma, nem, yeraltı su seviyesi) yapay sinir ağları ve çoklu lineer regresyon modelleri ile tahminler yapılmıştır. ÇDR modeli 3.51 OMYH oranı ile daha başarılı olduğu belirtilmiştir [21].

Kişi (2008)'in "River flow forecasting and estimation using different artificial neural network techniques" adlı çalışmasında; Çanakdere Nehri'nin aylık debi miktarlarının tahmini için 2 farklı istasyondan alınan veriler ile yapay sinir ağları ve çoklu lineer regresyon ile tahminler yapılması planlanmıştır. Çalışma kapsamında YSA ve ARMA algoritmaları kullanılmıştır. YSA en başarılı tahmin sonuçlarını vermiş olup MSE oranı en düşük 85.59 olarak hesaplanmıştır [22].

Ekemen Keskin ve diğ. (2020)'nin "Prediction of electrical conductivity using YSA and MLR: a case study from Turkey" adlı çalışmalarında; Türkiye'de çeşitli

bölgelerde bulunan ve farklı kimyasal bileşime sahip yeraltısularındaki 12 adet hidrokimyasal girdi parametresi ile Elektiriksel İletkenlik (EC) tahmini yapılmıştır. Algoritma olarak YSA seçilmiş ve çeşitli optimizasyon algoritmaları ile denemeler gerçekleştirilmiştir. En yüksek başarı SGD optimizasyon algoritması ile elde edilmiş olup korelasyon katsayısı yüzde 93.8 olarak hesaplanmıştır [23].

Damla ve diğ. (2020)'nin "Yapay sinir ağı kullanılarak su seviyesinin tahmin edilmesi: Yalova Gökçe Barajı örneği" adlı çalışmalarında; Yalova Gökçe Barajı'nın su seviyesi tahmini için YSA kullanımı gerçekleştirilmiştir. Veriler DSİ 1. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilerek, veri periyodu 2000 ile 2019 yıllarını kapsamaktadır. Girdi parametreleri olarak Çınarcık İlçesi (Yalova) ortalama aylık yağış, buharlaşma ve baraj su tahliyesi değerleri kullanılmış ve çıktı parametresi olarak baraj rezarvuvarındaki su seviye ölçümleri kullanılmıştır. En iyi tahmin sonucunun korelasyon katsayısı yüzde 94.14 olarak hesaplanmıştır [24].

Altunkaynak ve diğ. (2018)'in "Zaman serileri kullanılarak nehir akım tahmini ve farklı yöntemlerle karşılaştırılması" adlı çalışmalarında; Amerika'da bulunan Colombia Nehri üzerinde akım tahmini yapılmıştır. Çalışmada kullanılan veri periyodu 1950 ile 1960 yıllarını kapsamaktadır. Bu veriler kullanılarak akım tahmin için matematiksel modeller geliştirilmiş olup uygulamada ANFIS, YSA ve ARIMA modelleri tercih edilmiştir. En başarılı yöntem olarak ANFIS saptanmış ve ayrıca hidroloji alanındaki çalışmalarda bu yöntemlerin geliştirilebilir olduğuna değinilmiştir [25].

Şen ve diğ. (2018)'in "Günlük akımların tahmini açısından çok tabakalı perseptron ve dalgacık-çok tabakalı perseptron modellerinin performans karşılaştırması" adlı çalışmalarında; Amerika'da rastgele seçilen istasyondan alınan akım verileri kullanılarak akım tahmini yapılmıştır. Aziz Meryem Nehri Havzası içerisinde bulunan istasyonun 2000 ile 2011 yılları arasındaki verileri kullanılmıştır. Çalışmada literatürde yapılan çalışmalar dışında farklı bir yaklaşım sergilenerek modeller spektral bantlara ayrıştırılmıştır. Bu sayede trendleri ve periyodikliği ortadan kaldırmış olup daha başarılı modeller elde edilmiştir. ANN modeli daha başarılı sonuçlar vermiş olup RMSE değeri 10.995 olarak hesaplanmıştır [26].

Yüksek ve diğ. (2018)'nin “Yağış-akış modellemesinde optimum yapay sinir ağı yapısının araştırılması” adlı çalışmalarında Giresun İline bağlı Aksu Dere'si üzerinde bulunan akım gözlem istasyonu ve Giresun Meteoroloji Gözlem İstasyonu'ndan alınan ortalama aylık yağış verileri kullanılarak 5 farklı YSA modeli oluşturulmuştur. Çeşitli gizli katman nöron sayıları ve çeşitli aktivasyon fonksiyonları ile denemeler yapılmıştır. 12.090 RMSE skoru ile en başarılı modelin YSA olduğu kanısına varılmıştır [27].

## BÖLÜM 3

### MATERYAL VE METOT

Bu tez kapsamında öncelikle Batı Karadeniz Havzası'nda yer alan Bartın Bahçecik Yeraltı Barajının gövde yöntemi olan Slurry-Trench (Bulamaç Hendeği) inşa aşamaları hakkında bilgi verilerek, barajın ve Ovacuma Çayı'nın hidrolojik özelliklerinin saptanması kapsamında Ovacuma Çayı'nın drenaj alanı bulunmuş, projenin mühendislik özellikleri kapsamında proje elemanları olan baraj gövdesi, derivasyon kanalı, drenaj boru kazı alanları ve iletim hattının proje özellikleri saptanmıştır ve nihai aşamada ise akım tahminlerine ve barajın ilave beslenme hesaplamalarına geçilmiştir. Drenaj alanının saptanması ve mühendislik özellikleri hakkındaki bilgilerin saptanması için H3GEN yazılımı tercih edilmiştir.

Tezin nihai aşamasını oluşturan Bartın Bahçecik Yeraltı Barajı aksına ulaşan, akiferin beslenmesinde katkısı olan ve gelecekte ihtiyaç olması durumunda baraj akiferinin ilave beslenmesinde katkısı olabilecek Ovacuma Çayı'nın akımının tahmini için, öncelikle benzer havza jeolojik özelliklerine sahip Bartın Çayı havzası içerisinde yer alan E13A031 (Kocarımak) akım gözlem istasyonunun akım verileri tahmin edilmiş ve sonraki aşamada havza alanı oranı matematiksel modelinden yararlanılarak Ovacuma Çayı'nın akımının tahmini gerçekleştirilmiştir. Gerekli model ve hesaplamalar için Tensorflow, Keras ve ScKitLearn makine öğrenimi ve istatistik kütüphaneleri kullanılmıştır. Bu kapsamdaki son aşamada ise Dupuit [28] (Eşitlik 3.1) denklemi kullanılarak yeraltı barajı akiferindeki 1 m'lik yeraltısuyu seviyesi yükselimi için, Ovacuma Çayından kaç L/s'lik bir ilave beslenim gerektiği hesaplanmıştır.

$$Q = W * K * \frac{(h_2^2 - h_1^2)}{2L} \quad (3.1)$$

Q: Debi ( $m^3/g$ )

W: İlgili kesitte akifer genişliği (m)

K: Hidrolik İletkenlik (m/gün)

$h_1$  : 1 nolu kuyudaki akifer doygun kalınlığı (veya maksimum su yüksekliği) (m)

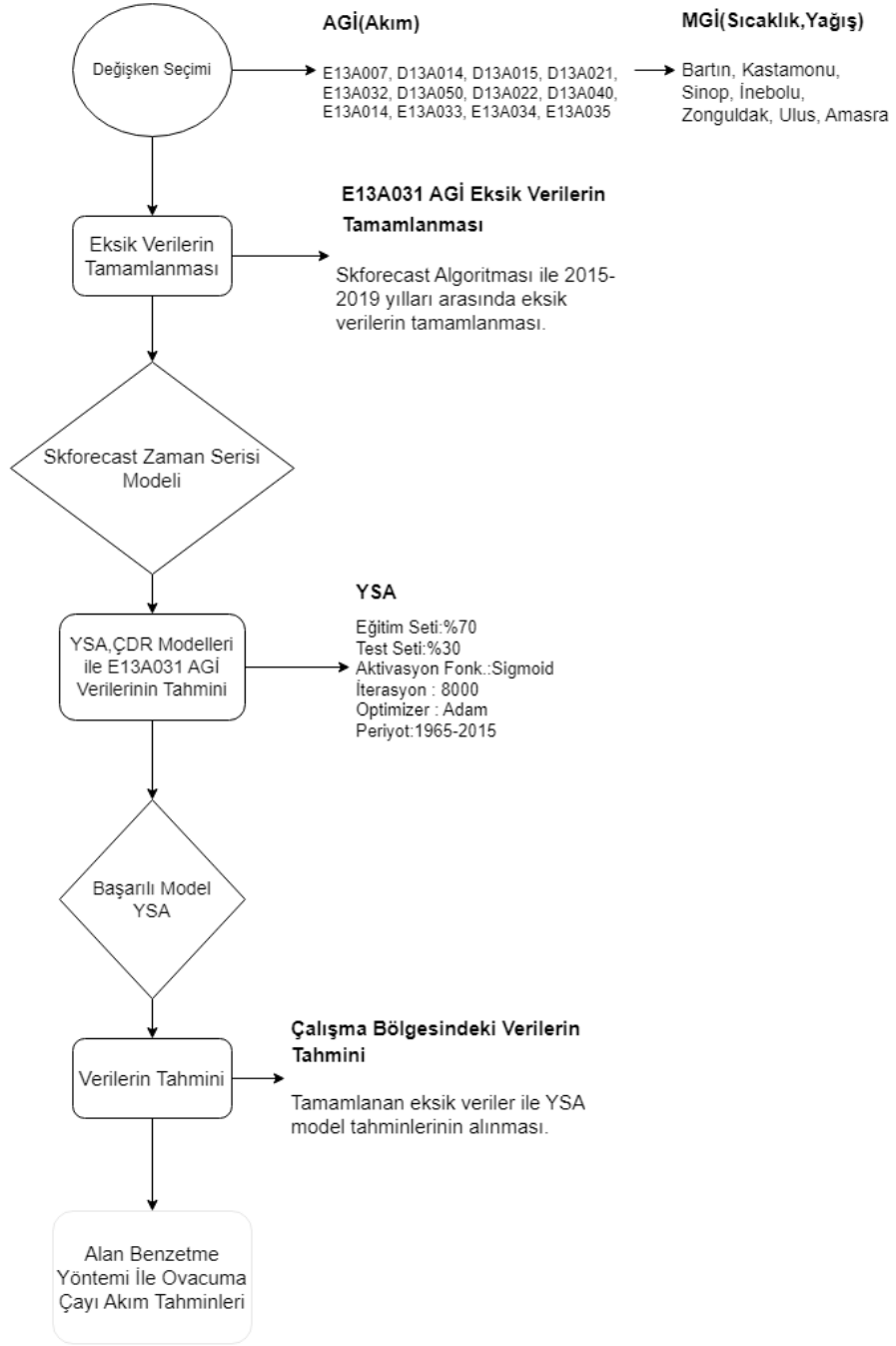
$h_2$  : 2 nolu kuyudaki akifer doygun kalınlığı (veya minimum su yüksekliği) (m)

L: Kuyular arası mesafe (veya etki yarı çapı) (m)

Bu analizler için, Bartın, Kastamonu, Sinop, İnebolu, Zonguldak, Ulus, Amasra meteoroloji gözlem istasyonlarından alınan aylık toplam yağış verileri, aylık ortalama sıcaklık verileri ve Batı Karadeniz Havzası içerisinde yer alan E13A007, D13A014, D13A015, D13A021, E13A032, D13A050, D13A022, D13A040, E13A014, E13A033, E13A034, E13A035 istasyonlarını akım verileri kullanılmıştır. Yağış verileri T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden, akım verileri ise T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Analizlerde ortak zaman periyodu olduğu için yağış ve sıcaklık verilerinde 1965-2019 yılları arası, akım verilerinde ise 1965-2015 yılları arası kullanılmıştır.

Akım ve beslenme tahmin analizlerinin tümünde Python yazılımı kullanılmış, bu kapsamda öncelikle eksik periyoda sahip olan akım gözlem istasyonu verileri zaman serisi analizleri kullanılarak saptanmış ve akım tahmin modellerinde bu veriler kullanılmıştır. Zaman seri analizlerinde yağış verileri 1965-2019 yılları arasında verileri sahip olup, akım verileri ise 1965-2015 yılları arasında verilere sahiptir ve 2015-2019 yılları arasında 4 yıllık eksik verilerin tamamlanmasında Skforecast algoritması [36] kullanılmıştır. Çalışmanın ana amaçlarından olan akım tahmin modellerinde, elde edilen verilerin kıyaslanabilmesi açısından YSA ve ÇDR yöntemleri tercih edilmiştir. Elde edilen sonuçların performans ölçümleri ise belirleme katsayısı, ortalama mutlak hata (OMH) ve ortalama mutlak yüzde hata (OMYH) ile gerçekleştirilmiştir. YSA için en başarılı sonuçlar Sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve Adam optimizasyon algoritması kullanılarak elde edilmiştir. Bu bölümde çalışma alanı ve tez kapsamında kullanılan materyal ve yöntemler hakkında bilgiler verilmiş ve iş akış diyagramı Şekil 3.1'de verilmiştir.





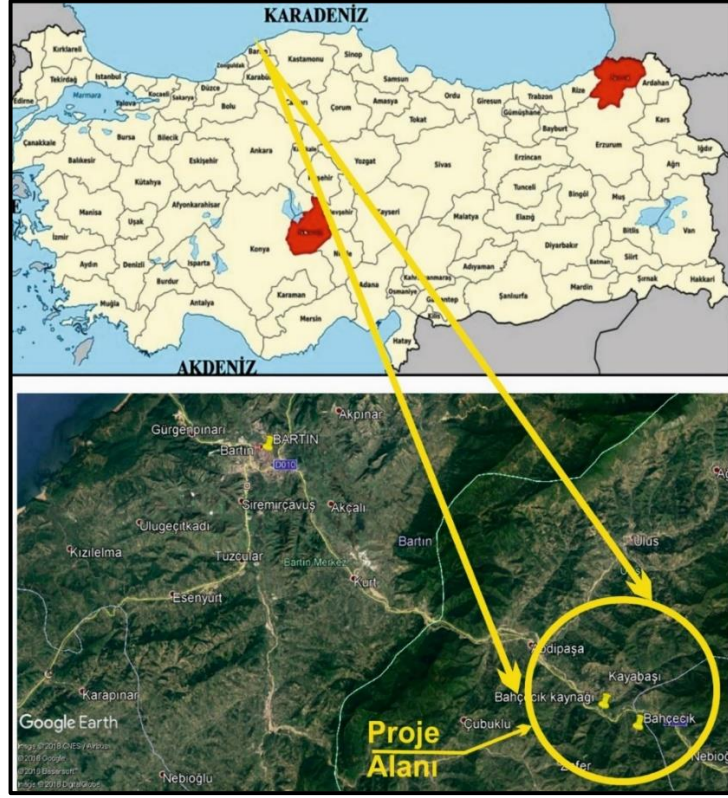
Şekil 3.1. Tez akış diyagramı.

### 3.1. BARTIN BAHÇECİK YERALTI BARAJI

Bartın İl Merkezi ile Amasra İlçe merkezinin içme ve kullanma suyu ihtiyacının büyük bir kısmı Bahçecik Kaynağından karşılanmakta olup, kaynağın debisinin çok değişken/kararsız akıma sahip (2013-2016 yılları arasında minimum 40 L/s ile maksimum 3699 L/s arasında değişmekte) olması nedeniyle ilave su teminine ihtiyaç duyulmuştur. Bahçecik Köyü yakınlarında, Safranbolu-Bartın Karayolu'nun sağ kesiminde yer alan ve takviye niteliğinde bölgenin içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılamak amacıyla 210000 m<sup>3</sup> su depolama kapasitesine (Eşitlik 3.2) sahip Bartın Ulus Bahçecik Yeraltı Barajı'nın, 2020 yılı Ekim ayında yapımına başlanmış olup Mart 2022 yılı Dünya Su Günü'nde hizmete açılmıştır (Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6).

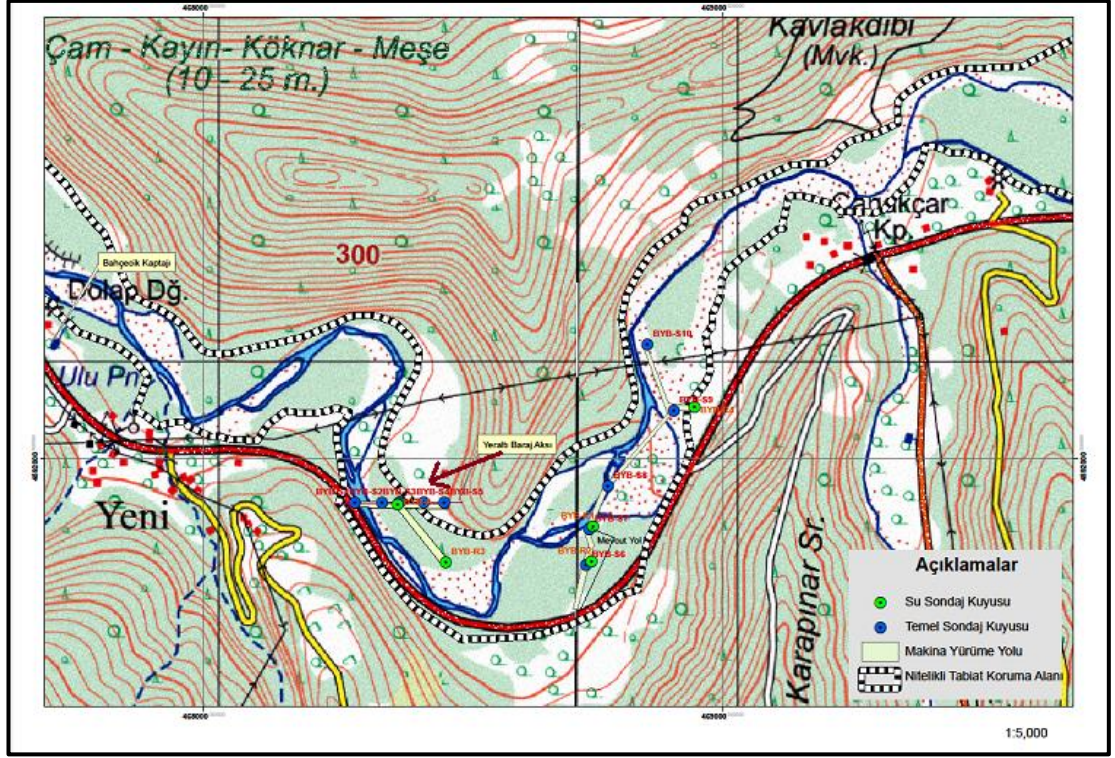
$$\begin{aligned} \text{Depolama Kapasitesi (V)} &= \text{Depolama Katsayısı (S)} * \text{Akifer Hacmi} && (3.2)[29] \\ &= 0.07 * 3000000 \\ &= 210000 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

(Not: Talveg kotu (192 m) altındaki yaklaşık akifer hacmi 3000000 m<sup>3</sup> 'tür. Hesaplamalarda talveg kotundan itibaren akifer uzunluğu yaklaşık 1750 m, rezervuar akifer genişliği yaklaşık 85 m, ortalama kalınlığı 20 m ve yaklaşık depolama katsayısı 0.07 olarak kabul edilmiştir.)



Şekil 3.2. Bartın Bahçecik Yeraltı Barajı yer buldurur haritası [29].

Baraj ve çevresinde Kuvaterner yaşlı Alüvyonlar ve Yamaç Molozları ile Kretase yaşlı Fliş Serileri (Ulus Formasyonu) yayılım göstermektedir. Alüvyonların kalınlığı rezervuar alanında 18.50 m ile 23.50 m arasında (ortalama 20 m) (Şekil 3.5) değişirken, baraj aks yerinde ise 5.00 m ile 25.80 m arasında değişmektedir (Şekil 3.6). Rezervuar kalınlığı hesaplamalarda ortalama 20 m olarak kabul edilmiştir. Ana kaya olarak ise Ulus Formasyonu'na ait kiltası-silttaşı ardalanasından oluşan fliş serileri yer almaktadır. Alüvyonlar geçirimli-çok geçirimli, ana kayayı oluşturan fliş serileri ise genel olarak geçirimsiz-az geçirimli özellik göstermektedirler. Bahçecik Yeraltı Barajı geçirimsizlik perdesi ve başlık-savak betonundan oluşmaktadır. Talveg kotu 192 m, kret uzunluğu 170 m ve isale/iletim hattı kaptaj yapısından itibaren 574 m olup, geçirimsizlik perdesi Bulamaç Hendeği yöntemiyle inşa edilmiştir [29].



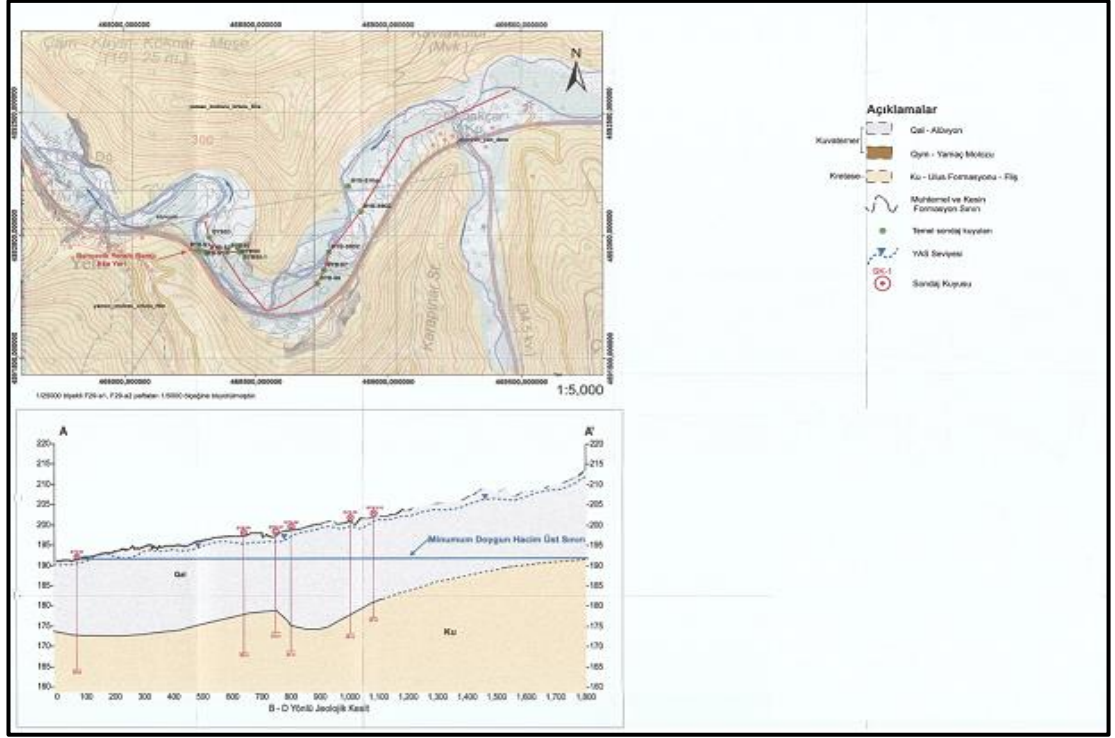
Şekil 3.3. Bartın Bahçecik Yeraltı Barajı proje alanı ve 1/5000 ölçekli konumu [29].

Alüvyonda geçirimsizlik, ana kayada 2 m soket oluşturarak yaklaşık olarak 3300 m<sup>2</sup> geçirimsizlik perdesi yapılmak suretiyle sağlanmıştır. Baraj üst kotunda bulunan Ovacuma Çayı baraj üzerinde yapılmış taşkın savağı vasıtasıyla membaya iletilmektedir. Geçirimsizlik perdesinin; taşkın esnasında alüvyonda oluşması muhtemel talveg oyulmaları sonucu zarar görmesini önlemek amacıyla, akım yönlendirmesi yapacak şekilde koruma betonu-savak vb. önlemler alınmıştır [29].

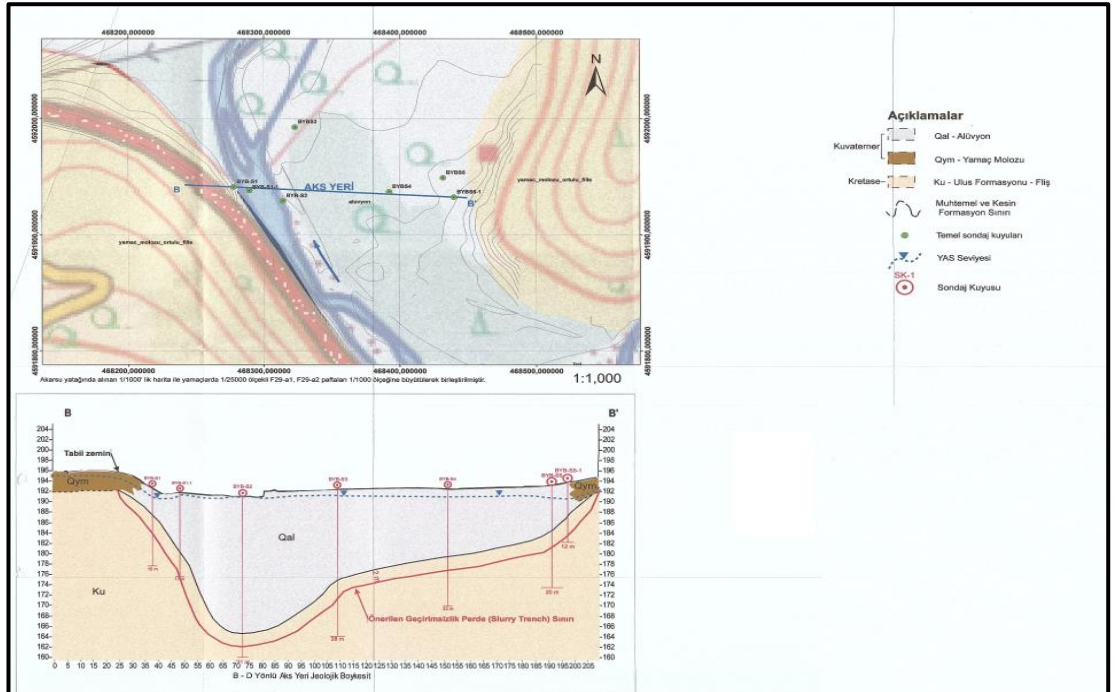




Şekil 3.4. Bartın Bahçecik Yeraltı Barajının gövdesi, derivasyon kanalı ve drenaj boruları kazı alanı [29].



Şekil 3.5. Çalışma alanı A-A' jeolojik kesiti [29].



Şekil 3.6. Çalışma alanı B-B' jeolojik kesiti [29].

## 3.2. AKIM TAHMİN YÖNTEMLERİ

Su kaynaklarının uygun şekillerde yönetimi hidrolojik döngü parametrelerinin doğru şekilde ölçümü ve tahmininden geçmektedir [27]. Su hidrolojik çevrim içerisinde sürekli olarak hareket etmektedir. Hareket sonucunda belirli bir zaman ve mekânda suyun miktarı sürekli olarak değişmektedir. Değişen su miktarına paralel olarak akımın tahmin edilmesi birçok farklı parametreye bağlıdır. Su, hayatın varlığı için gerekli olan en önemli doğal kaynakların başında gelmektedir. Yeryüzünde gelişen teknoloji, insan yaşamı hidrolojik döngüyü etkilemekte ve su kaynaklarının giderek azalmasına sebebiyet vermektedir [24]. Azalan su kaynakları beraberinde birçok problemi getirmektedir. Bu problemlerin çözümüne yönelik olarak inşa edilen mühendislik tasarımlarının yanında, suların doğru yönetilebilmesi için hidrolojik verilerin doğru şekilde ölçülebilmesi ve gerekli durumlarda tahminlerinin yapılarak gelecek öngörülerinin yapılabilmesi muhtemel su kıtlığı problemlerinin çözümüne destek sağlayabilmektedir.

Literatürde akım tahmin problemleri için ampirik yaklaşımlar önerilmekle birlikte, son yıllarda çoklu ve değişken verilerin makine öğrenim algoritmaları ile tahminlerinin başarılı sonuçlar verdiği kanısına varılmıştır [30, 31]. Genellikle benzer pike sahip akımlar benzer mevsimlerde oluşabilmektedir. Bu yüzden akımın tahmin edilmesinde “Zaman Serileri Analizleri”nin de başarılı tahminler vereceği ifade edilmektedir [31].

Bu bölümde akım tahmin hesaplamalarında yararlanılan yöntemler ve kullanılan analizler hakkında bilgiler verilmiştir.

### 3.2.1. Doğrusal Regresyon

Lineer regresyon, bir veri kümesindeki iki değişken arasındaki ilişkiyi açıklamaya yarayan bir istatistiksel yöntemdir. Bu ilişkiyi açıklamaya yarayan eğriye, lineer regresyon modeli denilmektedir. Lineer regresyon modeli, bir değişkenin (bağımlı değişken) değerini diğer bir değişkenin (bağımsız değişken) değerine göre tahmin etmeye çalışır ve lineer regresyon modelinin tahminlerini yapmasına yardımcı olmaktadır [32].

Doğrusal Regresyon denklemi (Eşitlik 3.1) [32];

$$y = w_0 + w_1x \quad (3.1)$$

$y$  : Bağımlı değişken

$x$  : Bağımsız değişken

$w_0$  : Sapma terimi veya  $y$  eksenini

$w_1$  : Regresyon denklemi eğimi

### 3.2.2. Çoklu Doğrusal (ÇDR)

Çoklu doğrusal regresyon, bir veri kümesinde birden fazla bağımsız değişkenin bir bağımlı değişken üzerindeki etkisini açıklamaya yarayan bir istatistiksel yöntemdir. Bu yöntem, birden fazla bağımsız değişkenin birlikte kullanıldığı lineer regresyon modelidir.

Çoklu doğrusal regresyon modeli, veri kümesinden elde edilen verilere dayanarak birden fazla değişkeni bir arada dikkate alan en iyi uyum lineer eğriyi bulmaya çalışır. Bu eğri, veri kümesindeki değişkenler arasındaki ilişkiyi en iyi şekilde açıklamaya yarayan eğridir ve çoklu doğrusal regresyon modelinin tahminlerini yapmasına yardımcı olmaktadır [32]. Eşitlik 3.1, sınırsız sayıda bağımsız değişkenli bir model için bu şekilde yazılabilmektedir (Eşitlik 3.2) [32];

$$y = k_0 + k_1x_1 + k_2x_2 + \dots + k_nx_n \quad (3.2)$$

$k_n$ : Çoklu doğrusal denklem katsayıları

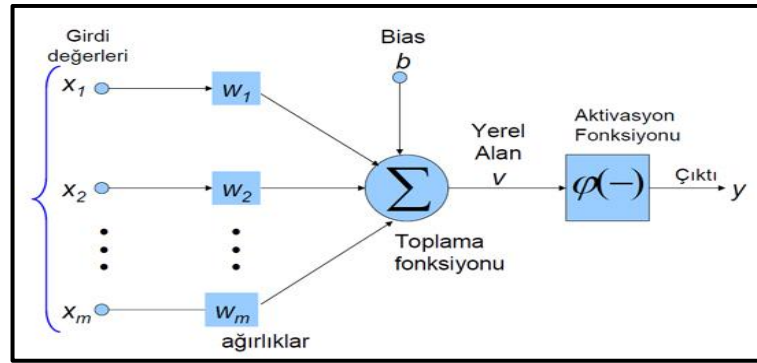
### 3.2.3. Yapay Sinir Ağları (YSA)

Yapay sinir ağları, insan beyninin işleyişine benzer bir yapıya sahip olup, birçok katmanlı bir tasarıma sahiptir. Bu katmanlar arasında girdi katmanı, gizli katmanlar ve çıktı katmanı bulunmaktadır. Bu katmanlar arasında sinir hücreleri veya nöronlar aracılığıyla bilgi aktarımı gerçekleşmektedir. Yapay sinir ağları, verilen bir girdiye göre bir çıktı üretme konusunda oldukça başarılıdır ve bu yüzden birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Yapay sinir ağları makine öğrenimi algoritmalarında



kullanılmaktadır ve görüntü tanıma, ses tanıma gibi uygulamalarda da başarılı bir şekilde kullanılabilir. Beynin bütün davranışlarını tam olarak modelleyebilmek için fiziksel bileşenlerinin doğru olarak modellenmesi gerektiği düşüncesi ile çeşitli yapay hücre ve ağ modelleri geliştirilmiştir [36].

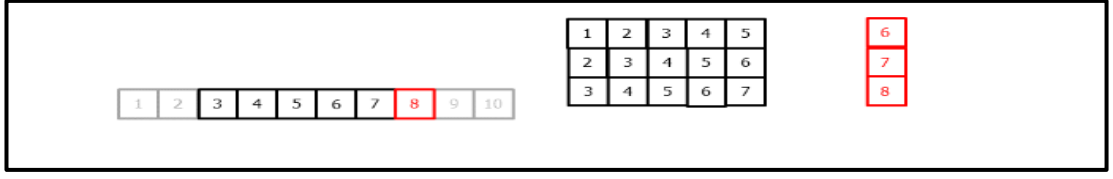
YSA'lar vektör sayısallaştırma sınıflandırma, kümeleme, fonksiyonel yaklaşımlar, örüntü uyumluluğu, optimizasyon, kontrol problemleri ve arama çalışmalarında etkin ve doğru sonuçlar verebilmektedir. İnşaat mühendisliğinin birçok alanında kullanılabilir. Hidroloji ile ilgili kullanım alanları olarak yağış akış modellemesi, yeraltısuyu modellemesi, taşkın tahmini, sedimantasyon tahmini, su yönetimi politikası, su kalitesi, hidrolojik zaman serileri, rezervuar işlemleri vb. örnek gösterilebilir [34]. Şekil 3.7' de YSA algoritmasının genel bir akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Yapay sinir ağları (YSA) modeli [35].

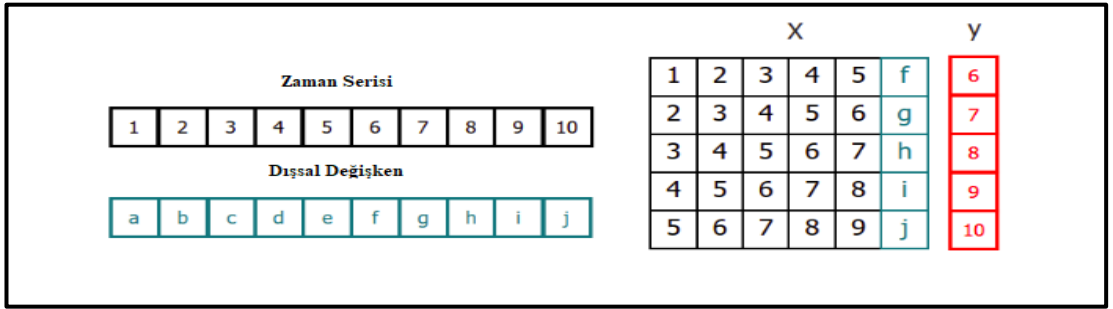
### 3.2.4. Skforecast Kütüphanesi

Bir zaman serisi, kronolojik olarak düzenlenmiş, prensip olarak zaman içinde eşit aralıklı bir veri dizisidir (Şekil 3.8). Makine öğrenimi modellerini tahmin problemlerine uygulamak için zaman serisinin  $t_1$  anındaki değerinin  $t_0$  anındaki değer ile ilişkili olduğu bir matrise dönüştürülmesi gerekmektedir. Bir zaman serisi bağlamında, bir zaman adımının  $t_0$  anına göre gecikmesi, serinin önceki zaman adımlarındaki değerleri olarak tanımlanmaktadır [36].



Şekil 3.8. Zaman serisi matris dönüşümü [36].

Şekil 3.9'daki bağımsız değişken ve zaman serisi, matris dönüşümü yapıldıktan sonra herhangi bir tahmin algoritması ile geleceğe yönelik tahmin yapılabilmektedir.



Şekil 3.9. Dışsal değişken zaman serisi dönüşümü [36].

### 3.2.5. Ortalama Mutlak Hata (OMH)

Ortalama mutlak hata, bir ölçümün gerçek değere olan uzaklığının ortalamasıdır. Genellikle standart sapma gibi istatistiksel bir ölçümle birlikte ve standart sapmanın üst ve alt sınırlarını belirlemekte kullanılmaktadır. Ortalama mutlak hata hesaplamak için, ölçümlerin her birinin gerçek değerden ne kadar uzak olduğu bulunur ve bu uzaklıklar toplamı, ölçümlerin sayısına bölünür. Bu sayede modelin başarısının ortalamadan ne kadar uzakta olduğu kanısına varılmaktadır [37].

Eşitlik 3.3'de ortalama mutlak hata formülü verilmiştir.

$$OMH = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n} \quad (3.3)$$

$n$  : Hata sayısı,

$\Sigma$  : Toplam sembolü,

$\bar{x}$  : Ortalama değer

$|x_i - \bar{x}|$ : Mutlak hatalar.

### 3.2.6. Ortalama Mutlak Yüzde Hata (OMYH)

Ortalama mutlak yüzde hata, tahmin ve gerçek değerlerin farkının mutlak oransal ortalamasıdır. OMYH farklı birim türüne sahip olan modellerin kıyaslanmasında ortaya çıkabilecek hata dezavantajlarını elimine etmektedir. Ayrıca yüzde olarak bir anlam ifade etmektedir (Eşitlik 3.4). Bu yüzden literatürde tahmin edilen ve gerçek değerlerin kıyaslanmasında kullanılmaktadır [38].

$$OMYH = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \quad (3.4)$$

$n$  : Örneklem boyutu

$A_t$  : Gerçek değer,

$F_t$  : Tahmin değeri.

### 3.2.7. Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu

Sigmoid aktivasyon fonksiyonu adını kartezyen uzayda çizdiği şekilden almaktadır. 1 ile 0 arasındaki bağımsız değişken ( $y$ ) değerleri için tanımlanmış olup  $x = 0$  ekseninden önce 0'a sonrasında ise 1'e yakınsamaktadır. Genellikle derin öğrenme kütüphanelerinde aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılmaktadır. Eşitlik 3.5'de Sigmoid fonksiyonunun formülü verilmiştir [40].

$$F(x) = \frac{1}{1 + e^{-ax}} \quad (3.5)$$

$F(x)$  : Bağımlı değişken,

$x$  : Bağımsız değişken,

$a$  : Denklem katsayısı,

$e$  : Euler sabiti

### **3.2.8. Adam Optimizasyonu**

Adam optimizasyonu, bir sinir ağının eğitim sırasında ağırlıklarını ve büyüme oranlarını ayarlamak için ağırlık güncelleme adımlarını hesaplar. Bu adımlar, ağırlıkların ne kadar değiştirileceğini belirler ve genellikle periyodik olarak uygulanır. Adam optimizasyonu, ağırlık güncelleme adımlarını hesaplarken momentum ve ortalama karesel hata gibi istatistiksel ölçümleri de kullanır. Bu ölçümler, ağırlık güncelleme adımlarının ne kadar büyük olacağını belirler ve ağırlıkların dengeli bir şekilde güncellenmesini sağlar. Adam optimizasyonu, sinir ağı eğitiminde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir ve genellikle diğer yöntemlerden daha hızlı ve daha doğru sonuçlar vermektedir. Sinir ağı eğitiminde kullanılan diğer yöntemler arasında Stokastik Gradyan Alçalış (SGD), AdaGrad ve RMSprop gibi yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler de ağırlık güncelleme adımlarını hesaplamak için kullanılmaktadır ve sinir ağı eğitiminde farklı senaryolarda farklı yöntemlerin daha uygun olabileceği göz önüne alınmalıdır [36].

## **3.3. KULLANILAN YAZILIMLAR VE PROGRAMLAMA DİLLERİ**

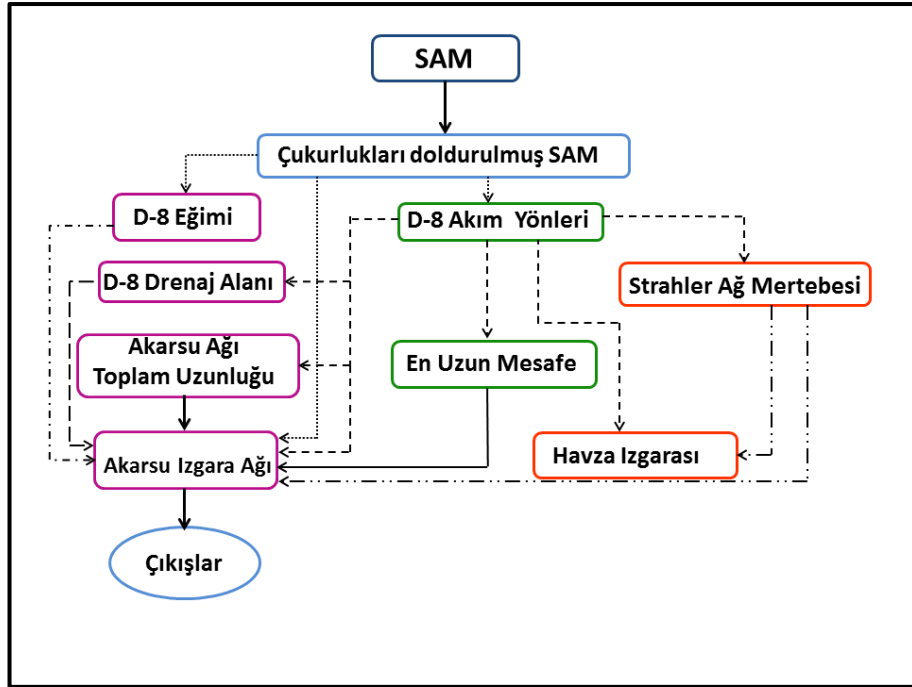
Tez kapsamında havza analizleri, arazi modelleri, tip kesitlerin oluşturulması ve kübaj hesapları için H3GEN Cad yazılımı kullanılmış olup, debi hesaplamaları ve akım tahmin analizleri için ise Python programlama dili tercih edilmiştir.

### **3.3.1. H3GEN Cad Yazılımı**

H3GEN Cad yazılımı 2021 yılından itibaren tamamen yerli kaynaklar ile geliştirilmiştir. Birçok modüle sahip olan yazılım kullanılarak genel cad işlemleri, havza analizi, menfez boyutlandırma işlemleri, güzergah yönetimi, sondaj işlemleri, enkesit ve tip kesit yönetimi, kübaj hesabı gibi birçok işlem yapılabilmektedir ve taşkın hesaplamaları ve şev stabilite analizleri ise geliştirilmeye çalışılmaktadır.

### 3.3.1.1. Havza Analizi

Akışını bir çıkış noktasına ulaştıran alan olarak tanımlanan havza, hidrolojik ve hidrolik hesaplamalarda ve su yönetim çalışmalarında büyük bir öneme sahiptir. Tez konusu olan Bartın Bahçecik Yeraltı Barajı rezervuarına ulaşan Ovacuma Çayı Havzası'nın modellenmesi ve havza sınırlarının belirlenmesi için Tarboton (1997) tarafından geliştirilmiş olan TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models) algoritması kullanılmıştır [41]. Şekil 3.10'da TauDEM algoritmasının şematik hali verilmiştir.

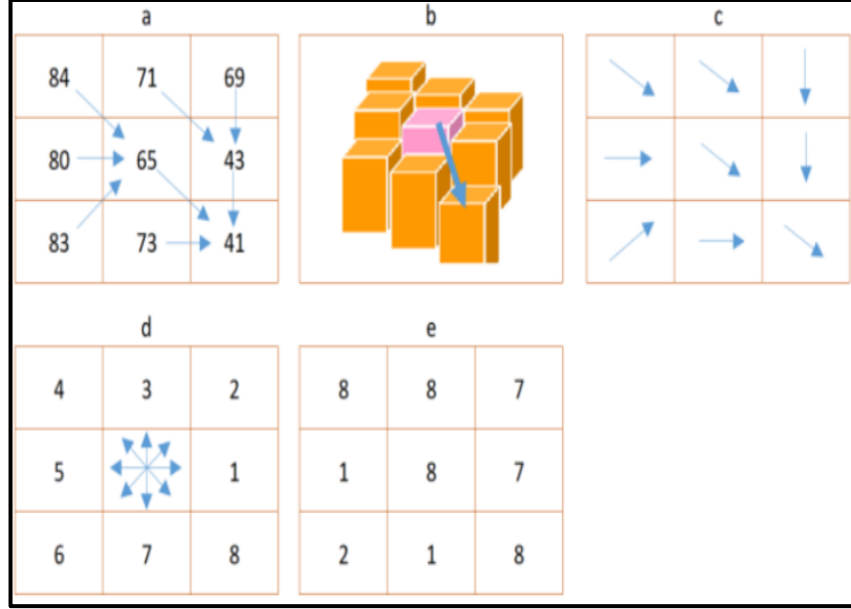


Şekil 3.10 Taudem Algoritması [41].

Bu algoritma sayısal arazi modeli girdi verisi olarak kullanarak çeşitli analizler sonucunda havza sınırlarını tespit etmektedir.

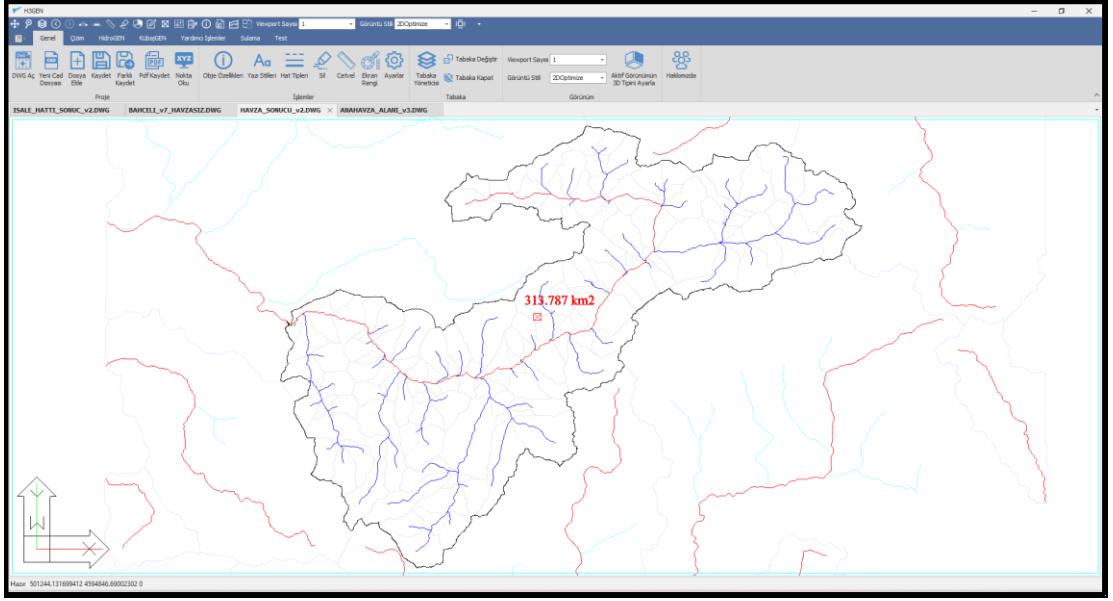
1. Şekil 3.11. üzerindeki (a) bölümünde yer alan rakamlar yüksekliklerin topoğrafik gösterimidir (b).
2. Akış ağını belirlemek için her bir hücreden itibaren, komşu 8 hücre arasında en düşük kotlu hücreye doğru olan akım yönleri belirlenmektedir (c).

3. Akım yönleri için her bir hücreye bir yönü gösterecek şekilde rakamsal değerler atanmaktadır (1. Doğu, 2. Kuzeydoğu, vb.) (d).
4. Bu rakamsal değerlerin Şekil 3.11. üzerindeki (a) bölümünde yer alan yüksekliklere göre gerçek akım yönleri tespit edilmektedir (e).



Şekil 3.11. 8 yönlü akım modeli.

Çalışma sahasına ait havzaların modellenmesi UTM 6 projeksiyonu ve ED50 datumunda, E29d3 ve d4, E30d4, F29a1-a4, F29b1-b4 ve F30a1 ve a4 pafta numaralı 1/25000 ölçekli sayısal topoğrafik haritalar kullanılmıştır. Havza analizi, en kesitler ve kübaj hesaplamaları için bu projeksiyon hali hazır projelerin projeksiyonu olan UTM3'a ve ITFR69 datumuna dönüştürülerek gerçekleştirilmiştir. Havza analizleri sonunda baraj aksını besleyen drenaj alanınının 313.79 km<sup>2</sup> olduğu saptanmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Bartın Bahçeçik Yeraltı Barajı aksı havza alanı modeli.

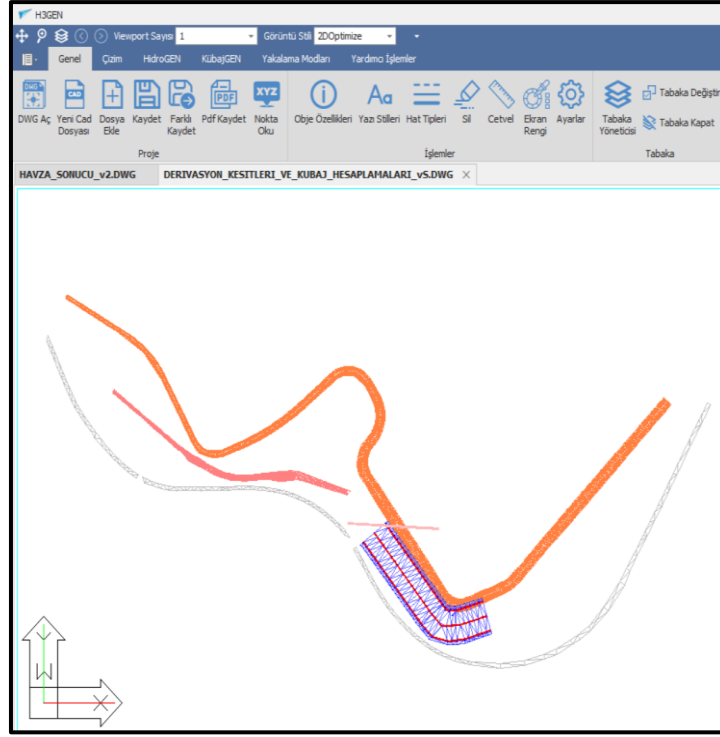
### 3.3.1.2. Çalışma Sahası Arazi Modelinin Oluşturulması

Çalışma sahasına ait hali hazır harita alımlarına ait sayısal veriler kullanılarak sayısal arazi modelleri oluşturulmuştur. Baraj aksı (açık pembe), derivasyon kanalı (turuncu), drenaj boru kazıları (mavi), iletim/isle hattı (pembe) ve Safranbolu-Bartın karayolu (gri) modellerine ilişkin görseller Şekil 3.13’de verilmiştir.

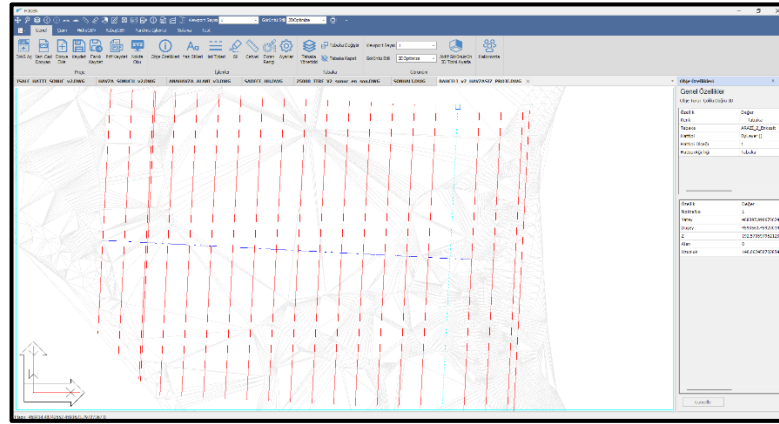
### 3.3.1.3. Bahçeçik Yeraltı Barajının En ve Tip Kesitlerinin Oluşturulması

Yeraltı barajı tip kesitlerinin oluşturulması için; baraj aksı tanımlanmış, aksa göre siyah kotlar oluşturulmuş ve en ve tip kesitler tanımlanmıştır. Baraj aksı için Güzergah Yöneticisi işlemi kullanılmıştır. Aksa göre siyah kotlar 10 m enkesit aralıkları ile sola ve sağa 70’er metre genişlikler ile tanımlanmıştır (Şekil 3.14).

Yeraltı Barajının gövde, geçirimsizlik perdesi, kaya dolgu gibi bölümlerini oluşturulması amacıyla tip kesitleri oluşturulmuştur (Şekil 3.15, Şekil 3.16). İlgili kesitler alüvyon zemin ile verilen şev tanımlarına göre kesiştirilmiştir. Geçirimsizlik perdesi, her bir değişken kotlarda giden ana kayaya 2 m soketlenecek şekilde kotlandırılmıştır.

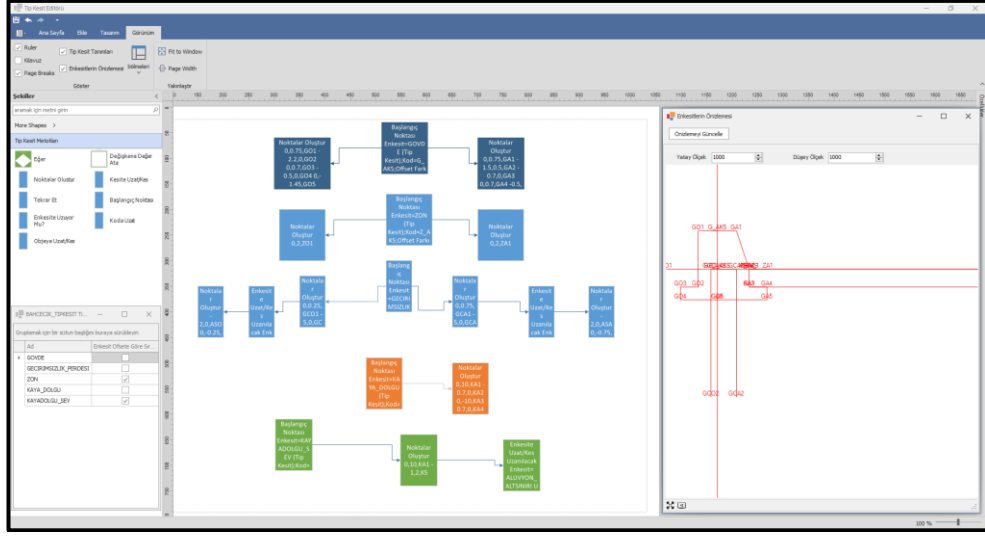


Şekil 3.13. Bartın Bahçeçik Yeraltı Barajı projesi arazi modelleri.

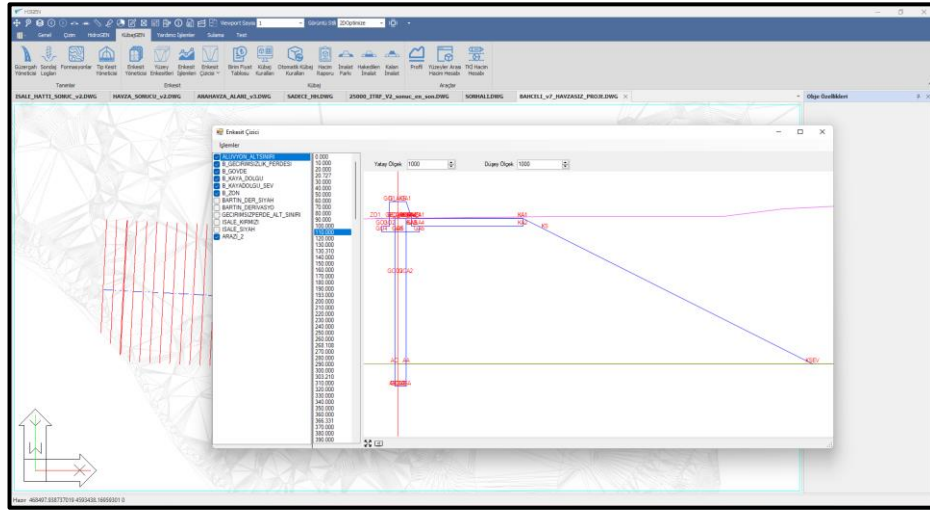


Şekil 3.14. Bahçeçik Yeraltı Barajı en kesit modeli.



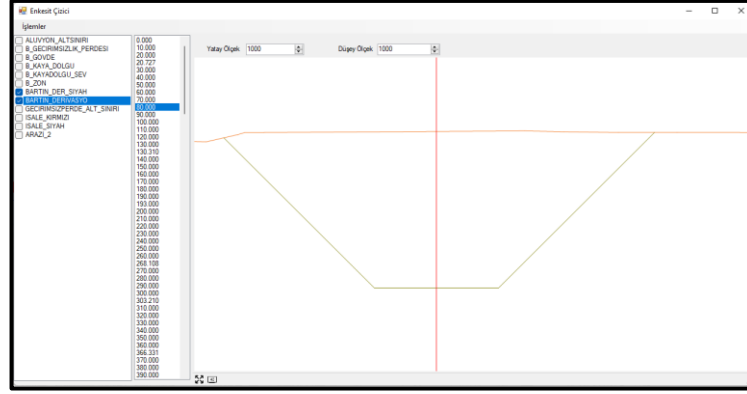


Şekil 3.15. Bahçecik Yeraltı Barajı tip kesitlerin tanımları.

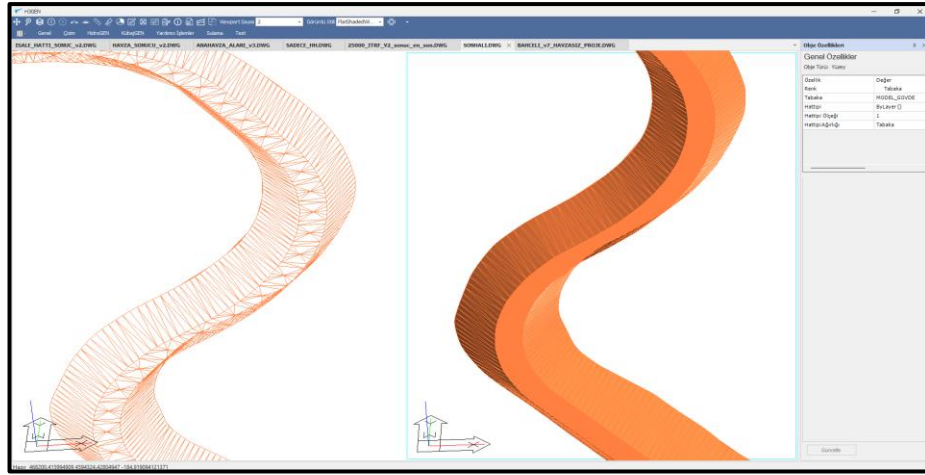


Şekil 3.16. Bahçecik Yeraltı Barajı geçirimsizlik perdesi, başlığı ve mansap kaya dolgu tip kesit modeli.

Derivasyon kanal güzergahı tanımlanmış, bu güzergah üzerinden 10 m aralıklar ve her bir yatay güzergah eleman geçişlerinde siyah kotlar oluşturulmuş ve ardından tip kesitleri tanımlanmıştır (Şekil 3.17, Şekil 3.18).

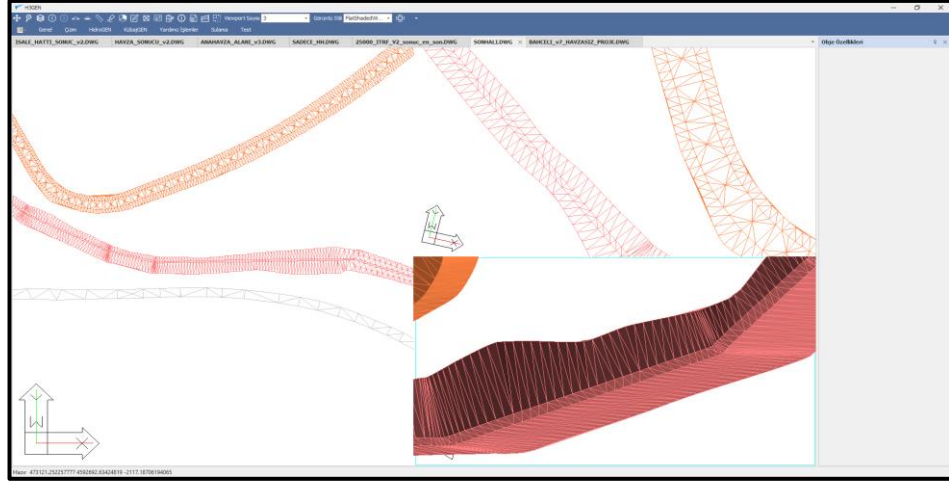


Şekil 3.17. Bahçecik Yeraltı Barajı derivasyon kanal kesitleri.

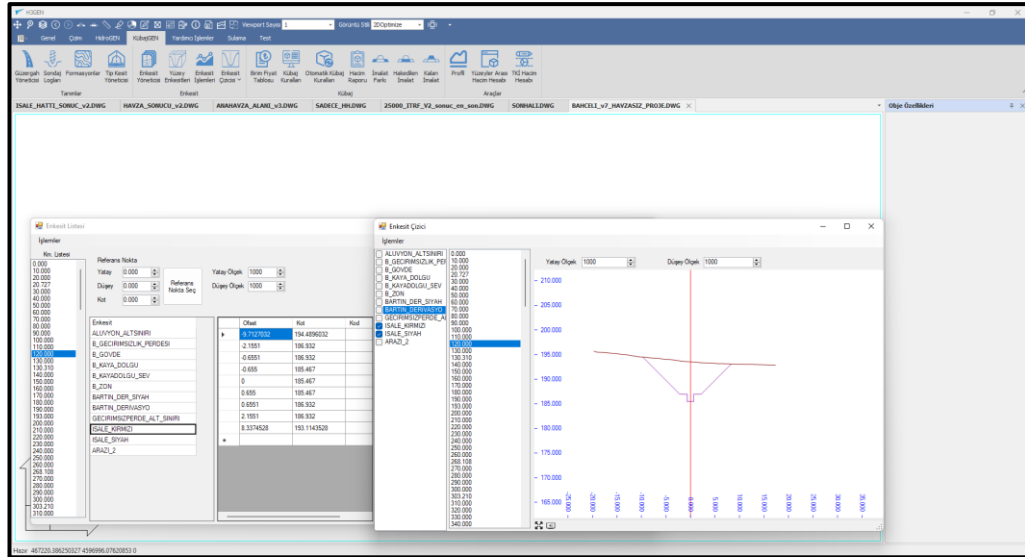


Şekil 3.18. Bahçecik Yeraltı Barajı derivasyon kanalı modeli.

Bahçecik Yeraltı Barajı geçirimsizlik perdesi inşası nedeniyle, drenaj borularıyla drenaj alanından gelen debinin Bahçecik Kaynağı Kaptajına iletilmesi amacıyla isale/iletim hatlarının projelendirilmesi yapılmış, boru güzergahları ve boru kesitlerine ait tipkesitler oluşturulmuştur (Şekil 3.19, Şekil 3.20).

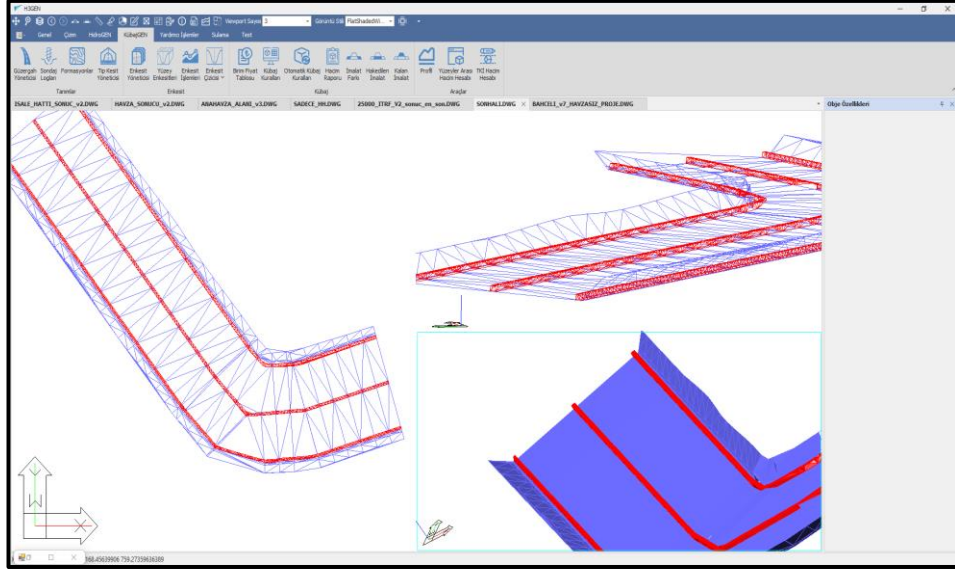


Şekil 3.19. Bahçecik Yeraltı Barajı ishale hattı yüzey modeli.

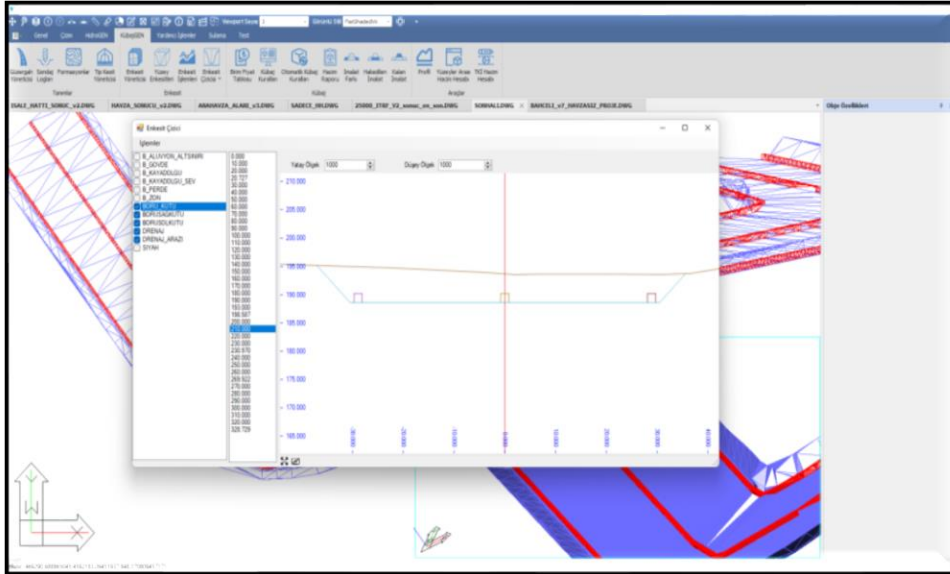


Şekil 3.20. Bahçecik Yeraltı Barajı ishale hattı enkesitleri.

Drenaj alanına ait drenaj kanalı ve yeraltısuyunun iletimi için boru geçkileri tanımlanmıştır (Şekil 3.21, Şekil 3.22).



Şekil 3.21. Bahçecik Yeraltı Barajı drenaj yüzey modeli.



Şekil 3.22. Bahçecik Yeraltı Barajı drenaj alan enkesitleri.

### 3.3.2. Python

Python Guido van Rossum tarafından 1989 [42] yılında geliştirilmeye başlanmıştır. O dönemde, Guido van Rossum, Monty Python adlı bir komedi grubunun hayranı olduğu için, dilin adı grubun adından esinlenerek seçmiştir. Python, genel amaçlı bir

programlama dilidir ve yüksek seviyeli bir dil olarak kategorize edilmektedir. Bu dil üzerinde yazılan kodlar düşük seviyeli makine diline çevrilmeden çalıştırılabilmektedir. Python dilinde, veri tipleri olarak sayılar, metinler, listeler, sözlükler ve nesnelere gibi seçenekler mevcuttur. Dil ayrıca, fonksiyonlar, döngüler ve koşullu ifadeler gibi genel programlama yapılarına da sahiptir. Python, kodun yeniden kullanımını ve program modülerliğini teşvik eden modülleri ve paketleri desteklemektedir. Python derleyicileri ve standart kütüphaneleri tüm büyük platformlarda ücretsiz olarak bulunmaktadır. Python programlama dili aynı zamanda makine öğrenimi ve veri bilimi için oldukça kullanışlıdır. Dünya üzerinde bir çok makine öğrenim uygulaması bu dil üzerinde geliştirilmektedir [42].

## BÖLÜM 4

### AKIM TAHMİN ANALİZLERİ VE DEBİ HESAPLAMALARI

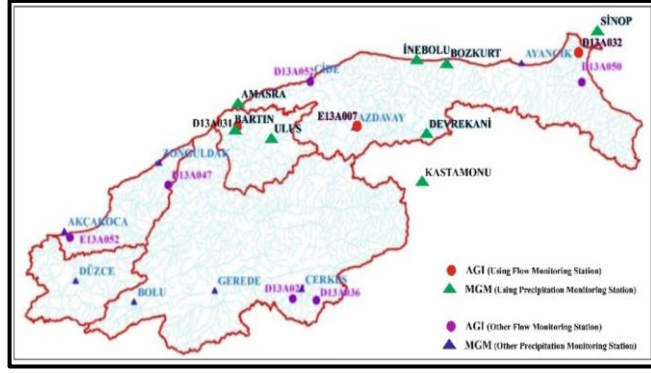
Bu tez çalışmasında çalışma alanını oluşturan Bartın Bahçecik Yeraltı Barajı'nın günümüz itibariyle sağladığı suyun, ilerleyen yıllarda Bartın ve Amasra merkezi'nin içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılayamadığı dönemlerde, su kuyuları vasıtasıyla ilave olarak baraj akiferinin beslenebilmesi için gerekli akımların hesaplanması amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında öncelikle Batı Karadeniz Havzası'nda yer alan verisi uygun ve yeterli olan Çizelge 4.1 de verilen yağış ve akım gözlem istasyonlarının aylık toplam yağış, aylık ortalama sıcaklık ve aylık ortalama akım verileri kullanılarak Bartın Alt Havzası Kocarımak Nehri E13A031 nolu akım gözlem istasyonunun aylık ortalama debi değerlerinin tahmin hesaplamaları yapılarak, Bartın Bahçecik Yeraltı Barajına akımı ulaşan Ovacuma Çayı'nın, 2018 yılında var olan az sayıdaki verisi kullanılarak debi değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Daha sonraki aşamada ise rezervuardaki kuyularda yeraltısuyu seviyesinin 1 m yükselebilmesi için gerekli ilave besleme miktarı hesaplanmıştır.

#### 4.1. VERİLER

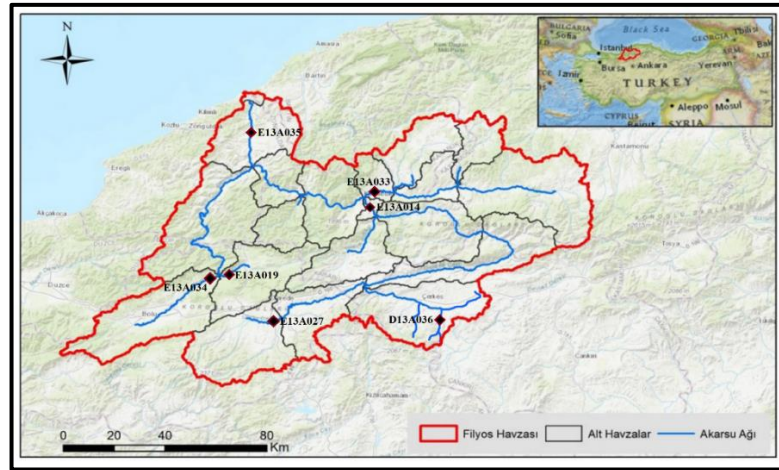
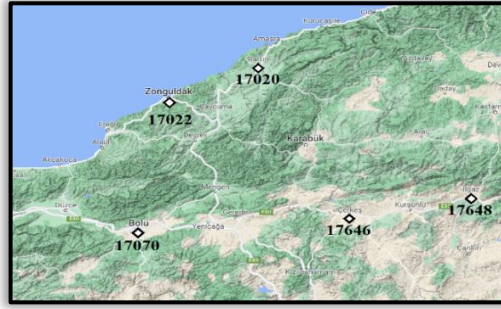
Çalışma kapsamında 7 farklı meteoroloji gözlem istasyonu (MGİ)'den alınan yağış ve sıcaklık verileri ve 12 farklı akım gözlem istasyonundan alınan akım değerleri kullanılmıştır. Verilerin, Batı Karadeniz Havzası'nda, çalışma alanına yakın olmasına ve benzer zaman periyodunda verilere sahip olmasına özellikle dikkat edilmiştir. Bu kapsamda modelleri oluşturmak için yağış ve sıcaklık verileri T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden, akım verileri ise T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı DSİ'den temin edilmiştir. Çizelge 4.1, Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de Kocarımak Nehri'nin E13A031 nolu akım gözlem istasyonu kesitindeki akım verileri tahmin etmek için kullanılan meteoroloji ve akım gözlem istasyonlarına ait bilgiler verilmiştir.

Çizelge 4.1. Analizlerde kullanılan yağış ve akım gözlem istasyon bilgileri.

İstasyon No	İstasyon Adı	İstasyon İli	Yükseklik (m)	Kordinat	Gözlem Periyodu	Kullanılan Periyot
17602	Amasra	Bartın	73	41°45'09.4"N 32°22'57.7"E	1970-2019	1965-2019
17020	Bartın	Bartın	33	41°37'29.3"N 32°21'24.8"E	1961-2019	1965-2019
17024	İnebolu	Kastamonu	64	41°58'44.0"N 33°45'49.0"E	1951-2019	1965-2019
17074	Kastamonu	Kastamonu	800	41°22'15.6"N 33°46'32.2"E	1930-2019	1965-2019
17026	Sinop	Sinop	167	42°01'47.6"N 33°46'32.2"E	1960-2019	1965-2019
17615	Ulus	Bartın	50	41°34'54.8"N 32°38'13.2"E	1965-2019	1965-2019
17022	Zonguldak	Zonguldak	135	41° 34'54.8"N 31° 46'40.5"E	1965-2019	1965-2019
E13A031	Kocarmak Nehri	Bartın	15	41° 38' 33" N 32° 16' 55" E	1953-2015	1965-2015
E13A007	Devrekani Nehri	Kastamonu	815	41° 38' 39" N 33° 18' 02" E	1965-2019	1965-2015
D13A032	Karasu Nehri	Sinop	20	41° 59' 57" N 35° 01' 57" E	1968-2015	1965-2015
E13A014	Soğanlı Çayı	Karabük	271	41° 10' 11" N 32° 38' 32" E	1965-2015	1965-2015
E13A033	Araç Çayı	Karabük	2	41° 11' 45" N 2° 37' 26" E	1965-2015	1965-2015
E13A034	Bolu Çayı	Bolu	541	40° 53' 11" N 31° 55' 47" E	1965-2015	1965-2015
E13A035	Filyos Çayı	Sinop	2	41° 32' 49" N 41° 04' 44" E	1965-2015	1965-2015
D13A050	İspa Çayı	Sinop	85	41° 51' 0" N 35° 03' 0" E	1965-2015	1965-2015
D13A014	Ulus Çayı	Bartın	80	41° 32' 0" N 32° 28' 0" E	1964-2015	1965-2015
D13A021	Devrekani Deresi	Kastamonu	1094	41° 37' 0" N 33° 57' 0" E	1964-2015	1965-2015
D13A015	Devrekani Çayı	Kastamonu	924	41° 37' 35" N 30° 0' 28" E	1965-2015	1965-2015
D13A040	Gerede Çayı	Bolu	1095	40° 48' 0" N 32° 19' 0" E	1974-2015	1965-2015
D13A022	Akhasan Deresi	Kastamonu	1180	40° 46' 0" N 32° 48' 0" E	1967-2015	1965-2015



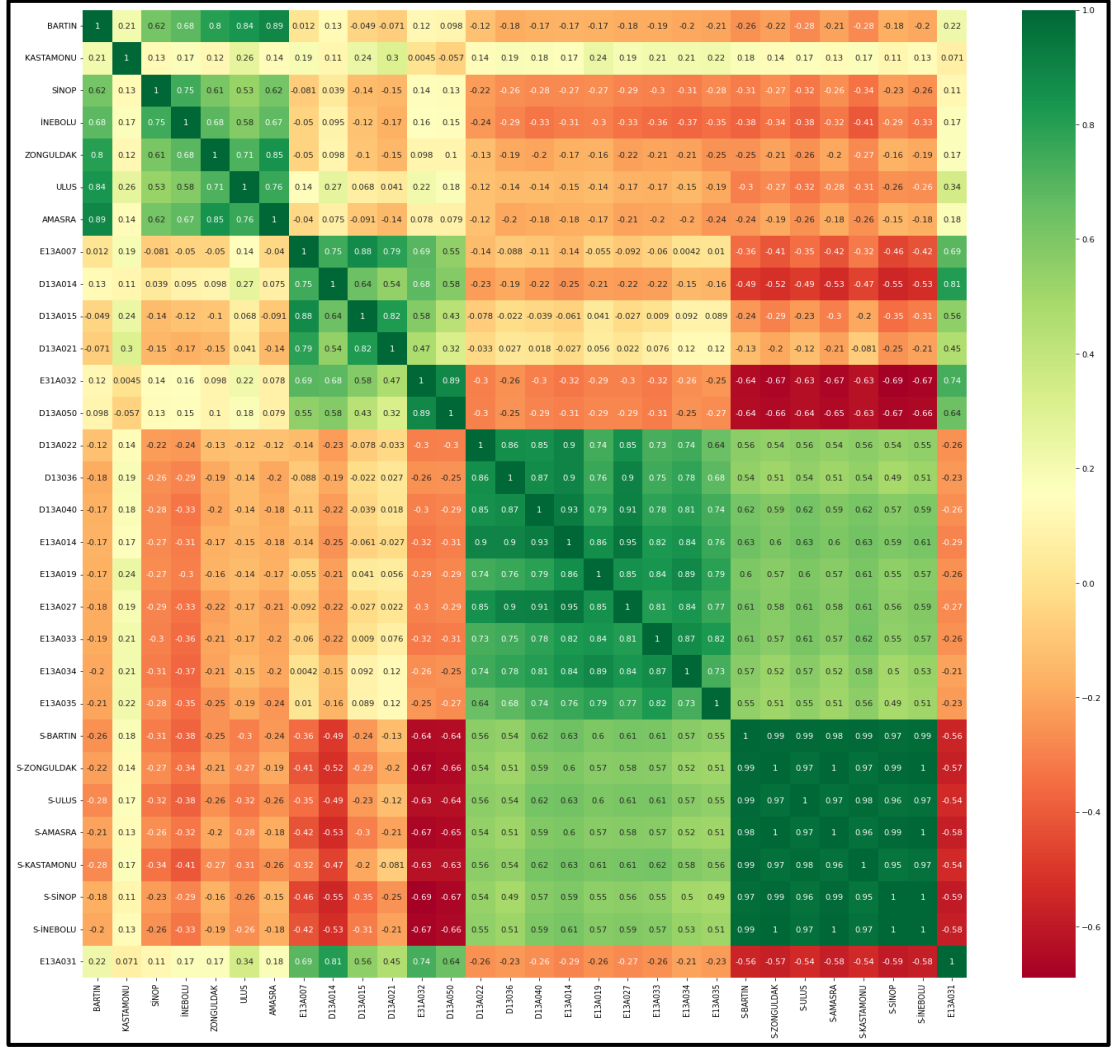
Şekil 4.1. Batı Karadeniz Havza doğusunda yer alan meteoroloji ve akım gözlem istasyonlarının konumları [43].



Şekil 4.2 Filyos Havza'sındaki meteoroloji ve akım gözlem istasyonları [44].

Veriler öncelikle Python programlama dili ile düzenlenmiş olup E13A031 numaralı istasyon ve diğer istasyonlar arasında korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplanan korelasyon katsayıları Şekil 4.3'de verilmiştir.





Şekil 4.3. Gözlem istasyonları arasındaki korelasyon katsayıları.

Verilerden anlaşılacağı üzere analizlerde dikkate alınan dönemlerde E13A031 numaralı akım gözlem istasyonu ile en yüksek korele olan yağış gözlem istasyonu 0.81 oranında D13A014 (Karabük-Soğanlı Çayı) akım gözlem istasyonu verileri iken, en düşük -0.59 oranı ile Sinop İstasyonu'nun sıcaklık verisi olduğu saptanmıştır. Analizlerde örneklem verilerini standard dağılıma yaklaştırmak ve model başarısını artırmak amacıyla verilerin z skorları hesaplanmış olup 3 değerinin üzerinde kalan bazı uç veriler silinmiştir.

## 4.2. AKIM TAHMİNLERİ

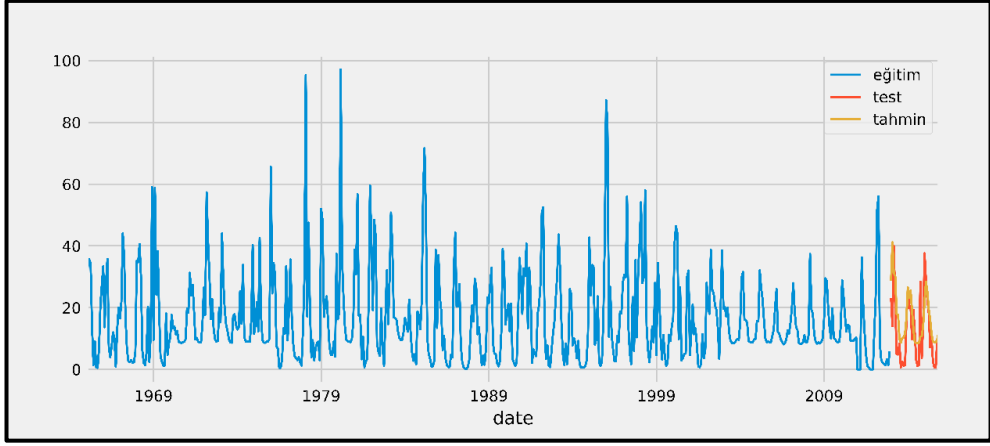
Bu kapsamda Batı Karadeniz Havzası'nda yer alan çalışma yöntemlerine uygun bazı meteoroloji ve akım gözlem istasyonlarının aylık toplam yağış, aylık ortalama sıcaklık ve aylık ortalama akım verileri kullanılarak, E13A031 nolu Kocairmak (Bartın) akım gözlem istasyonunun aylık ortalama debi değerlerinin tahmini yapılarak, Ovacuma Çayı'nın debi tahminlerinin yapılması hedeflenmiştir.

Çalışmada akım tahmini 3 aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Devlet Su İşleri (DSİ)'den alınan akım verileri genel olarak 1965 ile 2015 yıllarını kapsamaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'den alınan yağış ve sıcaklık verileri ise genel olarak 1965 ile 2019 yılları arasında kapsamaktadır.

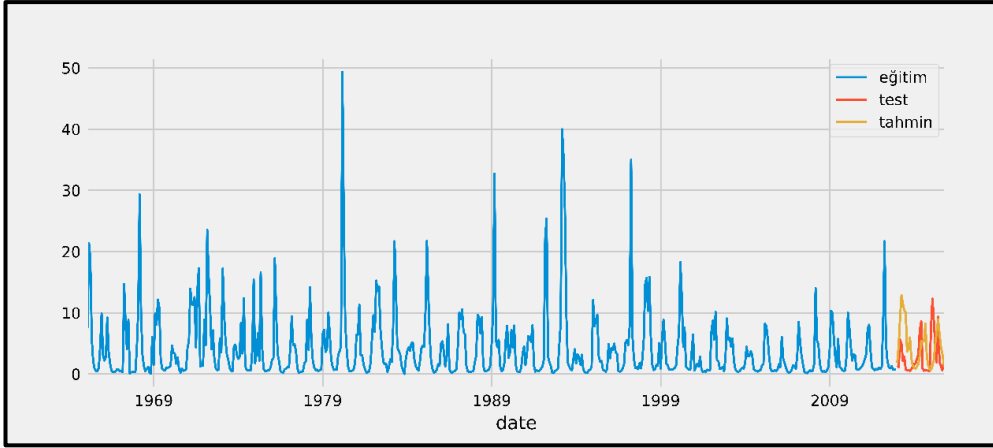
1. Birinci aşamada, akım gözlem istasyonlarının var olan 1965-2015 yılları arasındaki verileri kullanılarak "Zaman Serisi" analizleri ve Skforecast kütüphanesi yardımıyla modeller oluşturulmuş ve bu modeller dikkate alınarak akım gözlem istasyonlarına ait eksik olan 2016-2019 yılları arasındaki veriler tahmin edilmiştir. Bu analizler ile akım, yağış ve sıcaklık verileri aynı periyoda (1965-2019) getirilmiştir. Verilerin %95'i eğitim için %5'i test için kullanılmıştır. Tahmin performans ölçümleri (hata metrikleri) Çizelge 4.2'de verilmiştir. Şekil 4.4 ve Şekil 4.15 arasında her bir akım gözlem istasyonu için analizler sonucunda elde edilen eğitim, test ve tahmin, verileri gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Model hata performans metrikleri.

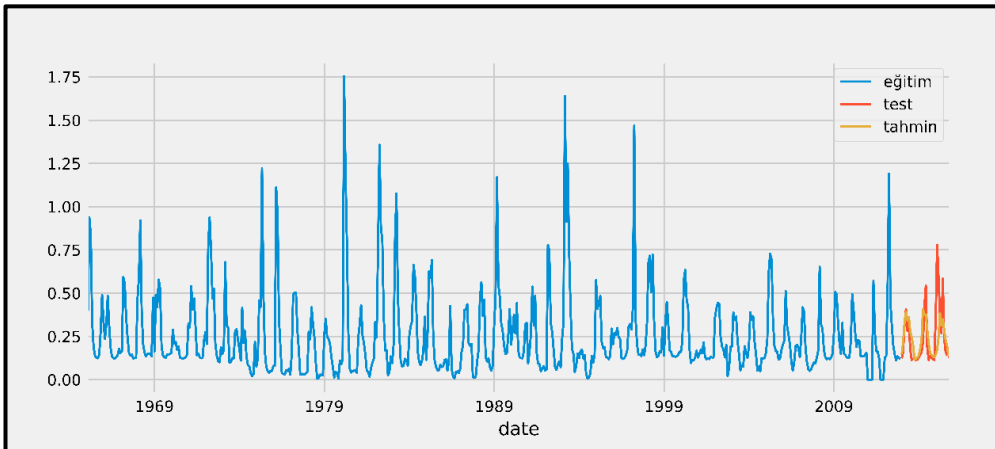
AGİ	OMH	OMYH
E13A007	4.176	0.982
D13A014	8.452	29.981
D13A015	2.809	1.178
D13A021	0.094	0.351
E31A032	2.528	1.151
D13A050	0.122	3.97
D13A022	0.187	3.577
D13A040	5.509	1.928
E13A014	13.92	1.897
E13A033	14.01	2.735
E13A034	10.68	6.151
E13A035	62.177	0.525



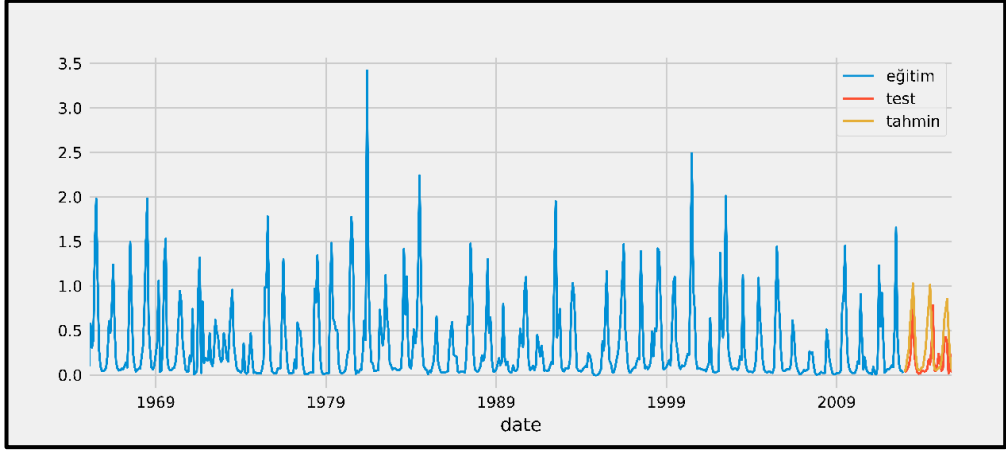
Şekil 4.4. D13A014 nolu akım gözlem istasyonunun akım tahmini.



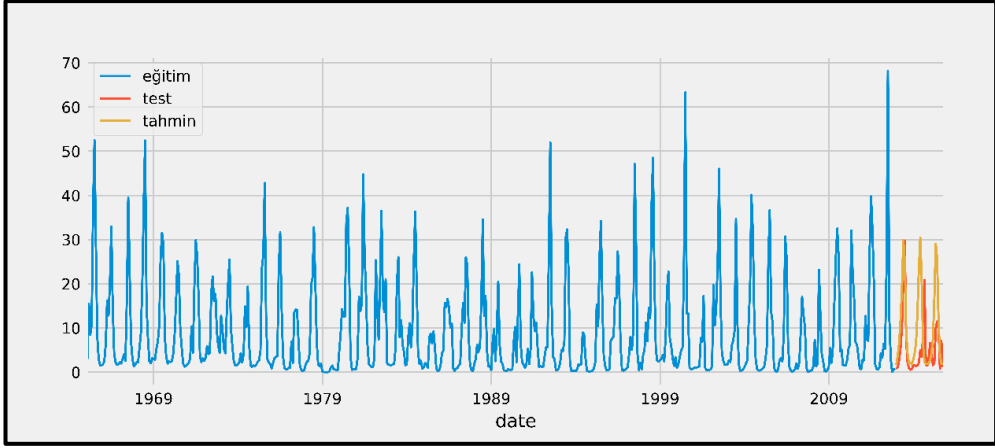
Şekil 4.5. D13A015 nolu akım gözlem istasyonunun akım tahmini.



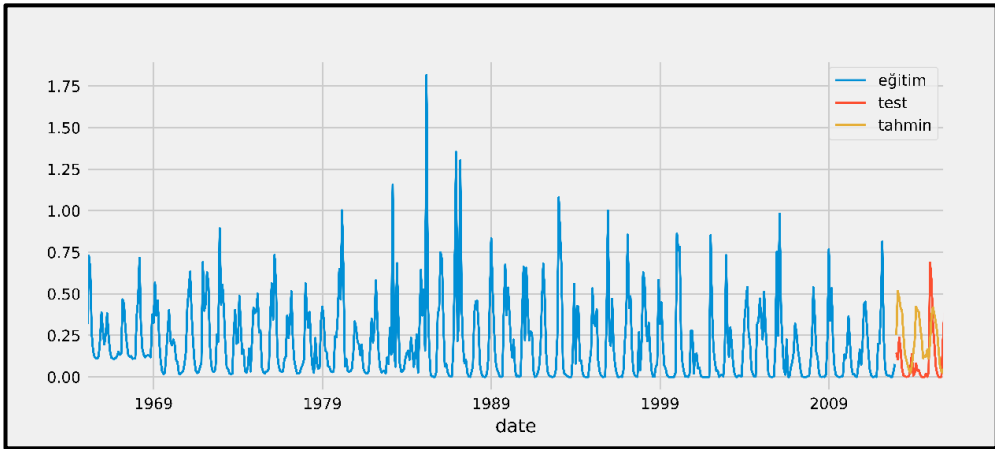
Şekil 4.6. D13A021 nolu akım gözlem istasyonunun akım tahmini.



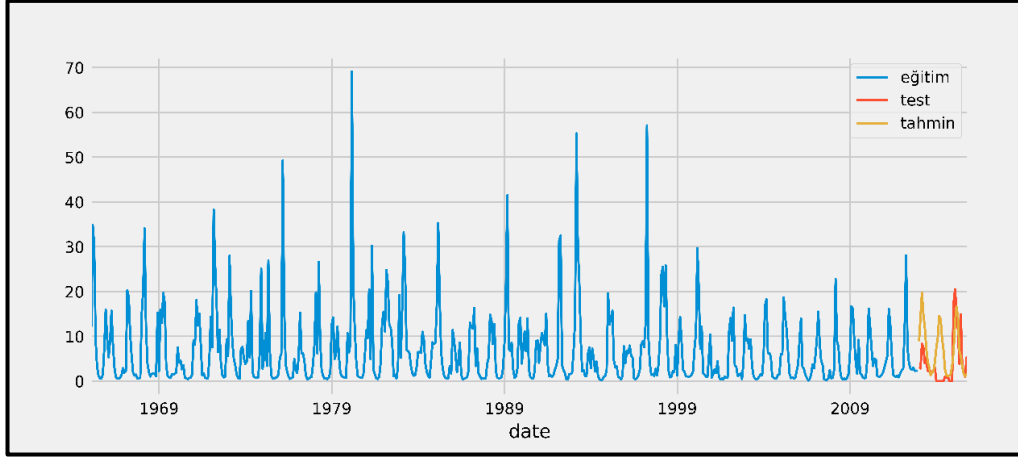
Şekil 4.7. D13A022 nolu akım gözlem istasyonunun akım tahmini.



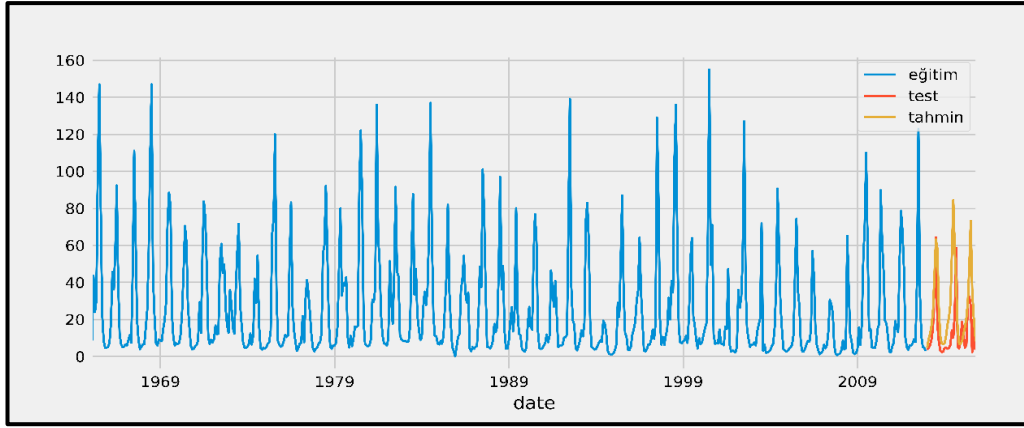
Şekil 4.8. D13A040 nolu akım gözlem istasyonunun akım tahmini.



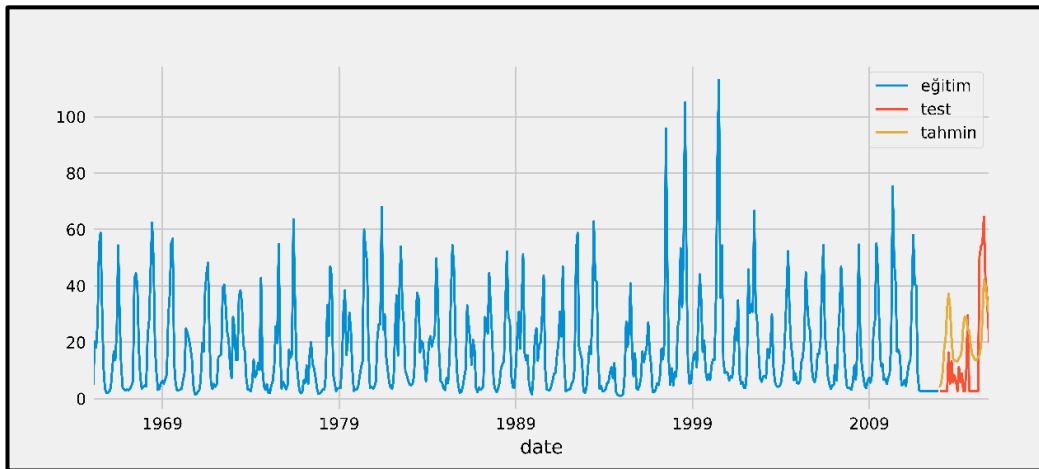
Şekil 4.9. D13A050 nolu akım gözlem istasyonunun akım tahmini.



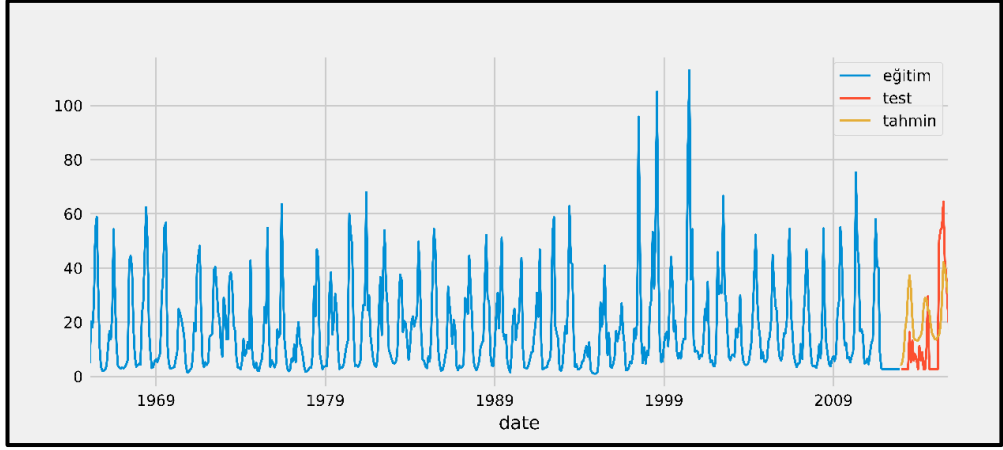
Şekil 4.10. E13A007 nolu akım gözlem istasyonunun akım tahmini.



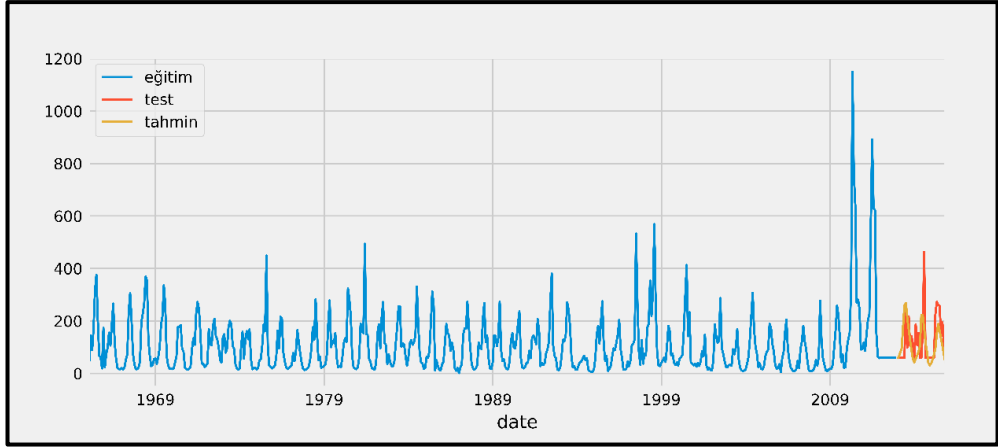
Şekil 4.11. E13A014 nolu akım gözlem istasyonunun akım tahmini.



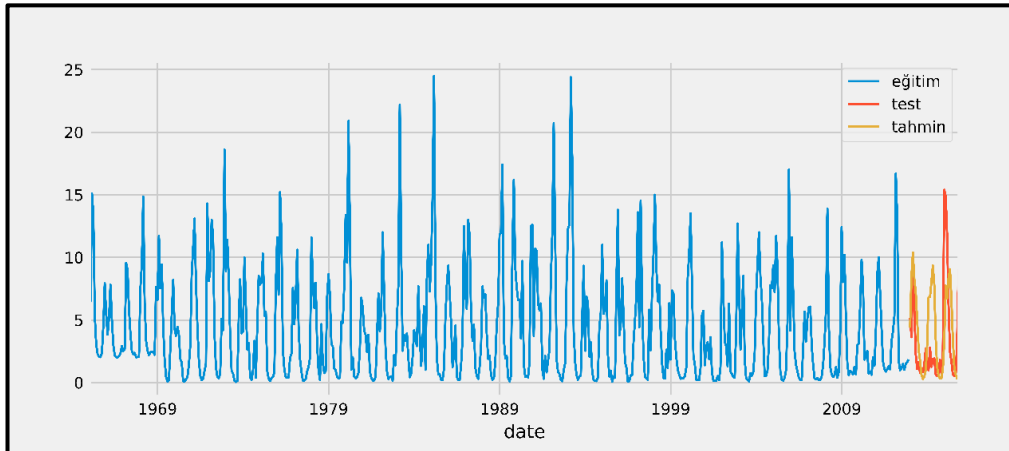
Şekil 4.12. E13A033 nolu akım gözlem istasyonunun akım tahmini.



Şekil 4.13. E13A034 nolu akım gözlem istasyonunun akım tahmini.



Şekil 4.14. E13A035 nolu akım gözlem istasyonunun akım tahmini.



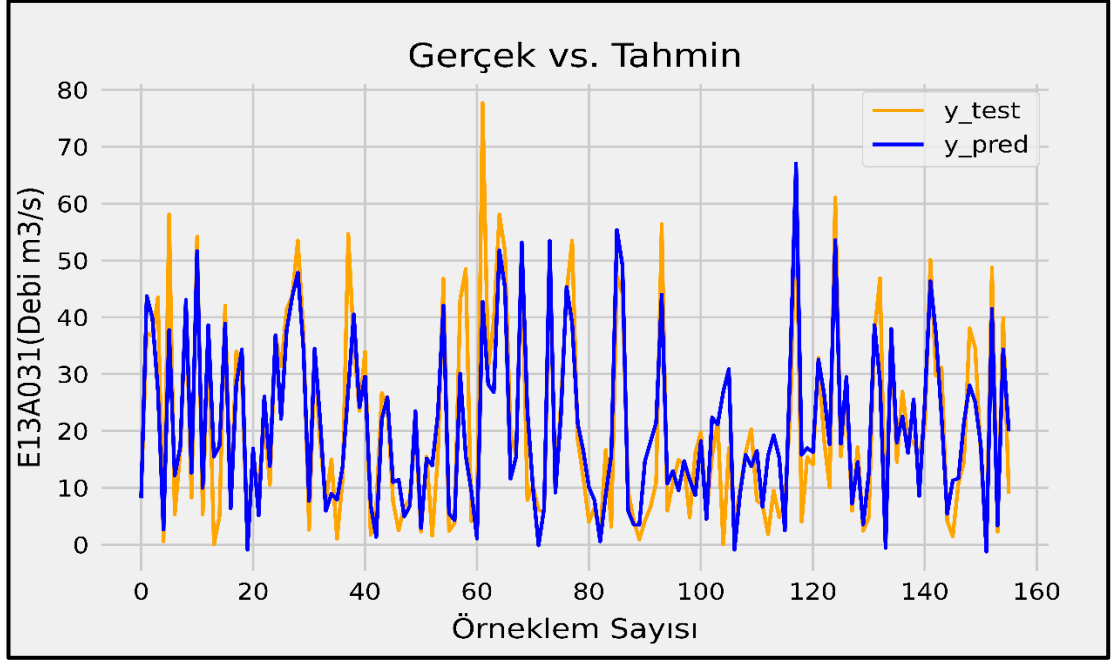
Şekil 4.15. E13A032 nolu akım gözlem istasyonunun akım tahmini.

2. İkinci aşamada 1965 ile 2015 yılları arasında 7 farklı meteorolojik gözlem istasyonundan alınan yağış ve sıcaklık verileri, 12 farklı akım gözlem istasyonundan alınan akım değerleri ile E13A031 akım gözlem istasyonunun debi değerleri tahmin edilmiştir. Tahmin için “Yapay Sinir Ağı (YSA) ve Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR)” olarak iki farklı model oluşturulmuştur. Modeller kendi arasında kıyaslanmış olup  $r$  metrikleri Çizelge 4.4’de verilmiştir. Çizelge 4.4’den anlaşılacağı üzere YSA modeli daha başarılı sonuçlar vermiştir. YSA modeli 0.802  $r^2$  oranına sahiptir. Model, veri setinin % 70’i ile eğitilmiş olup %30’u ile test edilmiştir. Test sonucunda tahmin edilen E13A031 AGİ’nu verileri Şekil 4.16’da verilmiştir. 3.02 OMYH skoru ile modelin başarısı doğrulanmıştır.

Çizelge 4.3. Model başarı metrikleri.

<b>Model</b>	<b>OMYH</b>	<b><math>r^2</math></b>
YSA	3.102	0.802
ÇDR	3.310	0.790

Yapay sinir ağlarında, literatür bilgileri ışığında deneme yanılma yöntemi ile elde edilen en başarılı modelde aktivasyon fonksiyonu olarak Sigmoid, optimizasyon için Adam algoritması kullanılmıştır. Veriler 8000 iterasyonla eğitilmiştir. Model, 26 hücreli 1 adet girdi katmanı, 5 hücreli 1 adet gizli katmanına ve 1 hücreli 1 çıktı katmanına sahiptir.



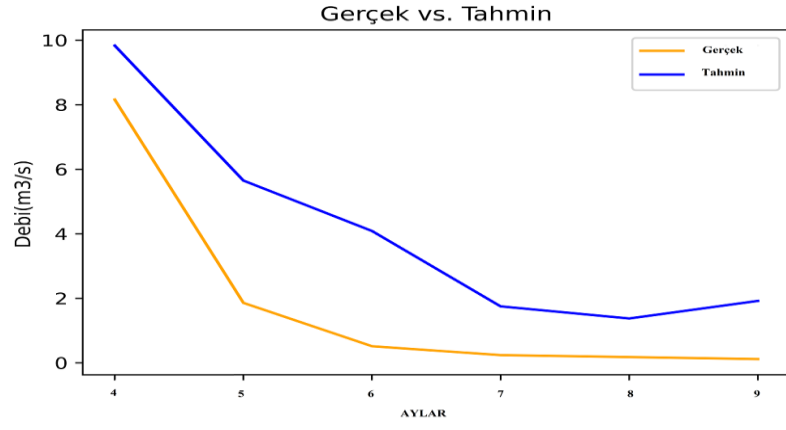
Şekil 4.16. YSA modeli ile tahmin ve gerçek değer kıyaslaması.

- Üçüncü aşamada ise birinci ve ikinci aşamadaki modeller kullanılarak, E13A031 nolu akım gözlem istasyonunun drenaj alanı (1370 km<sup>2</sup>) ve Bahçecik Yeraltı Barajı aksında Ovacuma Çayı'nın drenaj alanı (313 km<sup>2</sup>) arasındaki oran yardımıyla, Ovacuma Çayının 2018 yılında ölçülmüş akım verileri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4 ve Şekil 4.17'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Havza alanlarına göre akım tahminleri.

Yıl	Ay	E13A031 hesaplanan (m <sup>3</sup> /s)	Ovacuma Çayı ölçülen (m <sup>3</sup> /s)	Ovacuma Çayı tahmin (m <sup>3</sup> /s)
2018	4	43.02996445	8.156	9.830933483
2018	5	24.7234993	1.858	5.648507504
2018	6	17.88311768	0.514	4.085704987
2018	7	7.658224106	0.237	1.749652661
2018	8	6.01515007	0.176	1.374264213
2018	9	8.399120331	0.114	1.918923112





Şekil 4.17. E13A031 AGİ ölçülen debiler ile tahmin edilen debilerin kıyaslanması.

## BÖLÜM 5

### YERALTI SUYU DEBİ HESAPLARI

#### 5.1. DUPUIT YAKLAŞIMI

Genel olarak, yeraltısuyu seviyesi uzun veya kısa süreli mevsimsel veya yıllık meteorolojik faktörlere, atmosfer basıncına, sismik aktivitelere, ilave beslenme veya pompaj yapılarak su kullanımı gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak ciddi oranda değişebilmektedir. Son yıllardaki küresel ısınma vb faktörlere bağlı olarak gelişen ve hayat şartlarını oldukça fazla olumsuz etkileyen kuraklık ile mücadelede yeraltısuyunun temini ve yönetimin önemi daha artmaktadır.

Yeraltısuyu derinliğinin ve seviyesinin değişimi topraktaki nem, tuzluluk ve sıcaklık oranlarının değişimini önemli düzeyde etkilemektedir [45]. Bu tez kapsamında serbest akiferlerde yeraltısuyu değişimleri ile ilişkili olarak akiferden alınabilecek debi miktarı Dupuit Yaklaşımı [28] kullanılarak hesaplanmıştır. Dupuit Yaklaşımı kararlı ve yatay bir akifer akımında akım çizgilerinin yatay olduğu, eşpotansiyellerin düşey olduğu, düşey bir hat boyunca hidrolik eğimin sabit ve serbest su yüzeyi eğimine eşit olduğu kabulüne dayanmaktadır [28].

#### 5.2. DEBİ HESAPLARI

DSİ 23. Bölge Müdürlüğü/Kastamonu, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Şube Müdürlüğü tarafından ana kayanın belirlenmesi ve akifer birimi olan alüvyonun hidrolik karakteristiklerini saptamak amacıyla 14.06.2019 tarihinde 10 adet temel sondaj ve 02.07.2019 tarihinde 5 adet su sondaj çalışması yapılmıştır. Su sondajlarında yapılan pompa testleri sonucunda ortalama olarak Hidrolik İletkenlik (K) değerlerinin 14.8-86.9 m/gün arasında değiştiği (ortalama 25.56 m/gün), iletkenlik (T) değerlerinin ise 217.6–1113.4 m<sup>2</sup>/gün aralığında değiştiği saptanmıştır. Yeraltı Barajı temel sondajlarında

yapılan sızma testi sonuçlarına göre ise hesaplanan K değerleri  $1.7 \times 10^{-4} - 7.8 \times 10^{-3}$  cm/s arasında değiştiği saptanmıştır [29]. Bu çalışmada Dupuit Yaklaşımı yardımıyla baraj alanında açılmış olan gözlem kuyularındaki yeraltısuyu seviyeleri ve akifer doygun kalınlıkları kullanılarak akiferden alınabilecek su miktarı (debi) hesaplamalarında K değeri su sondajlarında minimum 14.8 m/gün ortalama 25.56 m/gün ve maksimum 86.9 m/gün alınmış, temel sondajlarında ise minimum 0.147 m/gün, maksimum 6.74 m/gün olarak alınmış ve her iki sondajın genel ortalaması olarak ise 13.32 m/gün şeklinde hesaplanmıştır.

Ovacuma Çayı alüvyonunu oluşumunda etken olan Ovacuma Çayı'nın 2018 yılında ölçülen akım değerinin 8.156–0.064 m<sup>3</sup>/s arasında değiştiği önceki çalışmalardan saptanmıştır. En düşük akım değeri 64 L/s ile Eylül, 2018 tarihinde saptanmıştır (Çizelge 5.1) [29].

Çizelge 5.1 Ovacuma Çayı' nın akım değerleri [29].

<b>İstasyon Adı</b>	<b>Bahçecik Yeraltı Barajı Aksı (UTM)</b>
Enlem	468282
Boylam	4591950
<b>Tarih</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>
3.04.2018	8.156
7.05.2018	1.858
1.06.2018	0.514
5.07.2018	0.25
23.07.2018	0.237
28.08.2018	0.092
17.09.2018	0.114

Yapılan yeraltısuyu çalışmalarında aks yeri ve rezervuar alanında yeraltısuyu seviyeleri 0.10 m ile 2.60 m arasında değişmekte olduğu tespit edilmiştir. Bu seviyelerin altında alüvyon yıl boyunca suya tamamen doygun durumda olduğu önceki çalışmalarda saptanmıştır. Bahçecik Yeraltı Barajı rezervuarında yapılan temel sondajlarda alüvyon kalınlığı 18.50 m ile 23.50 m arasında değişmekte olup ortalama 20.00 m' dir. Bahçecik Kaynağının hidrojeolojik yapısını ve beslenme-boşalım ilişkisini ortaya koymak amacıyla önceki yıllarda yapılmış olan hidrojeolojik amaçlı çalışmalar, literatür bilgileri ve arazi gözlemleri ışığında Ovacuma Çayı alüvyonlarının depolama katsayısının (S)

0.07 olarak kabul edilmiştir. Yeraltı Barajının talveg kotu ortalama 192 m olup altında kalan kısımda 3 000 000 m<sup>3</sup>'lük alüvyon kütlesinin hacmi olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca yapılacak koruma ve savak betonu ile kret kotu ortalama 2 m yükseltilmiş olup rezervuar alanında ortalama 150 m membaya doğru alüvyonal birikinti oluşacak olup bu hacim içerisinde 2 000 m<sup>3</sup> su depolanacağı tahmin edilmektedir [29].

Dupuit Yaklaşımı kullanılarak debilerin hesaplanması için gerekli kuyular arasındaki mesafeler, Çizelge 5.2'de verilen koordinatlar, Python programlama dilinde yazılan algoritma ile hesaplanmış ve Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'de verilmiştir. Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'den anlaşılacağı gibi 7 adet kuyu baraj aks üzerinde ve yakınlarında 5 tanesi ise rezervuar alanında açılmıştır.

Şekil 2.8'de verilen baraj aksı B-B' jeolojik kesiti ve Çizelge 5.2 yardımıyla baraj aksı akifer kesiti boyu ortalama 170 m olarak saptanmıştır. Hidrolik İletkenlik (K) değeri pompa ve sızma testi sonuçlarının ortalaması olan 13.32 m/gün olarak alınmıştır. Hesaplanan debi miktarları minimum 5 L/s ve maksimum 200 L/s arasında sınırlandırılmıştır. Değişkenler Python yazılımı kullanılarak Dupuit denkleminde yerine konularak aks üzerindeki kuyuların 1 m yeraltısuyu yükseltilecekleri için gereken ilave besleme miktarları hesaplanmış ve Çizelge 5.5'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Temel sondaj bilgileri [29].

Kuyu No	Yeri	X (UTM)	Y (UTM)	Derinlik (m)	Kot (m)	YASS*	Fark (m)	Tarih
BYB-S1	Aks yeri	468277	4591941	5	192.05	1.15	3.85	28.01.2020
BYB-S1-1	Aks yeri	468289	4591938	12.1	191.69	0.1	12	28.01.2020
BYB-S2	Aks yeri	468314	4591929	25.9	191.58	0.1	25.8	28.01.2020
BYB-S3	Aks yeri	468322	4591992	17.9	191.62	1.2	16.7	05.12.2019
BYB-S4	Aks yeri	468392	4591936	13.5	192.78	1.6	11.9	01.12.2019
BYB-S5	Aks yeri	468431	4591948	13.3	193.41	2.4	10.9	01.12.2019
BYB-S5-1	Aks yeri	468439	4591932	6.5	194.58	2.6	3.9	01.12.2019
BYB-S6	Rezervuar	468730	4591804	18.9	197.81	2.5	16.4	05.12.2019
BYB-S7	Rezervuar	468756	4591859	18.5	197.87	1.5	17	23.01.2020
BYB-S8	Rezervuar	468775	4591932	23.2	197.86	1.2	22	20.01.2020
BYB-S9	Rezervuar	468896	4592098	22.2	200.95	1.2	21	20.01.2020
BYB-S10	Rezervuar	468848	4592201	20	201.57	0.5	19.5	28.11.2019

\*YASS: Yeraltısuyu seviyesi (Zeminden)

Çizelge 5.3. Aks üzerindeki kuyular arası yatay uzaklık.

Kuyu No	Referans noktası	Yatay Mesafe (m)	Dikey Mesafe (m)	Uzaklık (m)
BYB-S1/BYB-S1-1	BYB-S1	12	3	11.619
BYB-S1/BYB-S2	BYB-S1	37	12	35
BYB-S1/BYB-S3	BYB-S1	45	51	24
BYB-S1/BYB-S4	BYB-S1	115	5	114.891
BYB-S1/BYB-S5	BYB-S1	154	7	153.841
BYB-S1/BYB-S5-1	BYB-S1	162	9	161.75
BYB-S1-1/BYB-S2	BYB-S1-1	25	9	23.324
BYB-S1-1/BYB-S3	BYB-S1-1	33	54	42.743
BYB-S1-1/BYB-S4	BYB-S1-1	103	2	102.981
BYB-S1-1/BYB-S5	BYB-S1-1	142	10	141.647
BYB-S1-1/BYB-S5-1	BYB-S1-1	150	6	149.88
BYB-S2/BYB-S3	BYB-S2	8	63	62.49
BYB-S2/BYB-S4	BYB-S2	78	7	77.685
BYB-S2/BYB-S5	BYB-S2	117	19	115.447
BYB-S2/BYB-S5-1	BYB-S2	125	3	124.964
BYB-S3/BYB-S4	BYB-S3	70	56	42
BYB-S3/BYB-S5	BYB-S3	109	44	99.725
BYB-S3/BYB-S5-1	BYB-S3	117	60	100.444
BYB-S4/BYB-S5	BYB-S4	39	12	37.108
BYB-S4/BYB-S5-1	BYB-S4	47	4	46.829
BYB-S5/BYB-S5-1	BYB-S5	8	16	13.856

Çizelge 5.4. Rezervuar üzerindeki kuyular arası yatay uzaklık.

Kuyu No	Referans noktası	Yatay Mesafe (m)	Dikey Mesafe (m)	Uzaklık (m)
BYB-S6/BYB-S7	BYB-S6	26	55	48.466
BYB-S6/BYB-S8	BYB-S6	45	128	119.829
BYB-S6/BYB-S9	BYB-S6	166	294	242.652
BYB-S6/BYB-S10	BYB-S6	118	397	379.058
BYB-S7/BYB-S8	BYB-S7	19	73	70.484
BYB-S7/BYB-S9	BYB-S7	140	239	193.703
BYB-S7/BYB-S10	BYB-S7	92	342	329.393
BYB-S8/BYB-S9	BYB-S8	121	166	113.644
BYB-S8/BYB-S10	BYB-S8	73	269	258.905
BYB-S9/BYB-S10	BYB-S9	48	103	91.132

Çizelge 5.5. K değeri 13.32 *m/gün* için 1 m YAS yükselmesi için gereken ilave besleme miktarları.

Kuyu No	Aks alüvyon genişliği (m)	Hidrolik iletkenlik (m/gün)	Kuyular arasındaki mesafe (m)	h2 (m)	h1 (m)	Debi (l/s)	İlave beslenme miktarı (L/s)
<b>BYB-S1/BYB-S1-1</b>	170	13.32	12	12	3.85	141.064	17.799
<b>BYB-S1/BYB-S3</b>	170	13.32	45	16.7	3.85	76.897	7.484
<b>BYB-S1/BYB-S4</b>	170	13.32	115	11.9	3.85	14.447	1.835
<b>BYB-S1/BYB-S5</b>	170	13.32	154	10.9	3.85	8.849	1.199
<b>BYB-S1-1/BYB-S3</b>	170	13.32	33	16.7	12	53.564	3.733
<b>BYB-S1-1/BYB-S5-1</b>	170	13.32	150	12	3.9	11.251	1.415
<b>BYB-S2/BYB-S4</b>	170	13.32	78	25.8	11.9	88.038	4.671
<b>BYB-S2/BYB-S5</b>	170	13.32	117	25.8	10.9	61.246	3.337
<b>BYB-S2/BYB-S5-1</b>	170	13.32	125	25.8	3.9	68.187	4.591
<b>BYB-S3/BYB-S4</b>	170	13.32	70	16.7	11.9	25.699	1.797
<b>BYB-S3/BYB-S5</b>	170	13.32	109	16.7	10.9	19.245	1.395
<b>BYB-S3/BYB-S5-1</b>	170	13.32	117	16.7	3.9	29.533	2.867
<b>BYB-S4/BYB-S5</b>	170	13.32	39	11.9	10.9	7.661	0.672
<b>BYB-S4/BYB-S5-1</b>	170	13.32	47	11.9	3.9	35.242	4.461
<b>BYB-S5/BYB-S5-1</b>	170	13.32	8	10.9	3.9	169.699	22.932

Yapılan su sondajlarında minimum K değeri 14.8 *m/gün* ve maksimum K değeri 86.9 *m/gün* olarak saptanmıştır. Minimum K değeri için yapılan hesaplamalar sonucunda ortalama 5.94 L/s ilave beslenme gerektiği saptanmıştır. Maksimum K değeri için yapılan hesaplamalar sonucunda ise ortalama 9.283 L/s ilave beslenme gerektiği saptanmıştır (Çizelge 5.7, Çizelge 5.8).

Çizelge 5.6. K değeri 14.8 m/gün için 1 m YAS yükselmesi için gereken ilave besleme miktarları.

Kuyu No	Aks alüvyon genişliği (m)	Hidrolik iletkenlik (m/gün)	Kuyular arasındaki mesafe (m)	h2 (m)	h1 (m)	Debi (l/s)	İlave beslenme miktarı (L/s)
BYB-S1/BYB-S1-1	170	14.8	12	12	3.85	156.737	19.778
BYB-S1/BYB-S3	170	14.8	45	16.7	3.85	85.442	8.315
BYB-S1/BYB-S4	170	14.8	115	11.9	3.85	16.053	2.038
BYB-S1/BYB-S5	170	14.8	154	10.9	3.85	9.832	1.333
BYB-S1-1/BYB-S3	170	14.8	33	16.7	12	59.516	4.147
BYB-S1-1/BYB-S5-1	170	14.8	150	12	3.9	12.501	1.573
BYB-S2/BYB-S4	170	14.8	78	25.8	11.9	97.82	5.19
BYB-S2/BYB-S5	170	14.8	117	25.8	10.9	68.051	3.708
BYB-S2/BYB-S5-1	170	14.8	125	25.8	3.9	75.763	5.102
BYB-S3/BYB-S4	170	14.8	70	16.7	11.9	28.555	1.996
BYB-S3/BYB-S5	170	14.8	109	16.7	10.9	21.383	1.55
BYB-S3/BYB-S5-1	170	14.8	117	16.7	3.9	32.814	3.186
BYB-S4/BYB-S5	170	14.8	39	11.9	10.9	8.512	0.747
BYB-S4/BYB-S5-1	170	14.8	47	11.9	3.9	39.158	4.956
BYB-S5/BYB-S5-1	170	14.8	8	10.9	3.9	188.554	25.481

Çizelge 5.7. K değeri 86.9 m/gün için 1 m YAS yükselmesi için gereken ilave besleme miktarları.

Kuyu No	Aks alüvyon genişliği (m)	Hidrolik iletkenlik (m/gün)	Kuyular arasındaki mesafe (m)	h2 (m)	h1 (m)	Debi (L/s)	İlave beslenme miktarı (L/s)
BYB-S1/BYB-S4	170	86.9	115	11.9	3.85	94.255	11.969
BYB-S1/BYB-S5	170	86.9	154	10.9	3.85	57.728	7.827
BYB-S1-1/BYB-S5	170	86.9	142	12	10.9	15.166	1.324
BYB-S1-1/BYB-S5-1	170	86.9	150	12	3.9	73.403	9.233
BYB-S3/BYB-S4	170	86.9	70	16.7	11.9	167.662	11.724
BYB-S3/BYB-S5	170	86.9	109	16.7	10.9	125.555	9.099
BYB-S3/BYB-S5-1	170	86.9	117	16.7	3.9	192.671	18.706
BYB-S4/BYB-S5	170	86.9	39	11.9	10.9	49.98	4.384

Yapılan temel sondajlarında minimum K değeri 0.147 m/gün ve maksimum K değeri 6.74 m/gün olarak saptanmıştır. Minimum K değeri için yapılan hesaplamalar

sonucunda ortalama 0.329 L/s ilave beslenme gerektiği saptanmıştır. Maksimum K değeri için yapılan hesaplamalar sonucunda ise ortalama 3.655 L/s ilave beslenme gerektiği saptanmıştır (Çizelge 5.8, Çizelge 5.9).

Çizelge 5.8. K değeri 0.147 m/gün için 1 m YAS yükselmesi için gereken ilave besleme miktarları.

Kuyu No	Aks alüvyon genişliği (m)	Hidrolik iletkenlik (m/gün)	Kuyular arasındaki mesafe (m)	h2 (m)	h1 (m)	Debi (l/s)	İlave beslenme miktarı (L/s)
BYB-S2/BYB-S3	170	0.147	8	25.8	16.7	6.991	0.329

Çizelge 5.9. K değeri 6.74 m/gün için 1 m YAS yükselmesi için gereken ilave besleme miktarları.

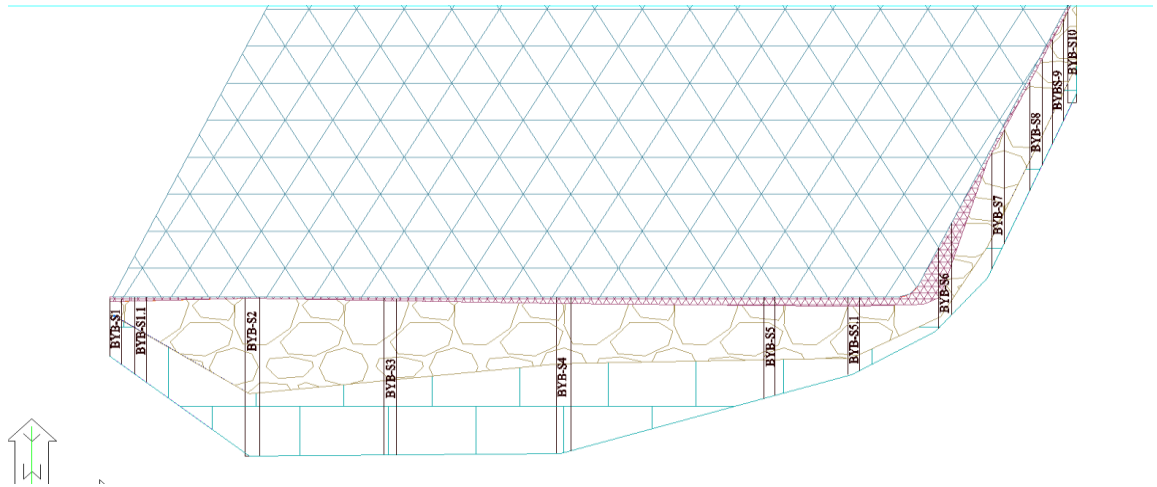
Kuyu No	Aks alüvyon genişliği (m)	Hidrolik iletkenlik (m/gün)	Kuyular arasındaki mesafe (m)	h2 (m)	h1 (m)	Debi (l/s)	İlave beslenme miktarı (L/s)
BYB-S1/BYB-S1-1	170	6.74	12	12	3.85	71.379	9.007
BYB-S1/BYB-S2	170	6.74	37	25.8	3.85	116.633	7.868
BYB-S1/BYB-S3	170	6.74	45	16.7	3.85	38.911	3.786
BYB-S1/BYB-S4	170	6.74	115	11.9	3.85	7.31	0.929
BYB-S1-1/BYB-S2	170	6.74	25	25.8	12	138.355	7.321
BYB-S1-1/BYB-S3	170	6.74	33	16.7	12	27.104	1.889
BYB-S1-1/BYB-S5-1	170	6.74	150	12	3.9	5.693	0.716
BYB-S2/BYB-S4	170	6.74	78	25.8	11.9	44.548	2.363
BYB-S2/BYB-S5	170	6.74	117	25.8	10.9	30.991	1.689
BYB-S2/BYB-S5-1	170	6.74	125	25.8	3.9	34.503	2.323
BYB-S3/BYB-S4	170	6.74	70	16.7	11.9	13.004	0.909
BYB-S3/BYB-S5	170	6.74	109	16.7	10.9	9.738	0.706
BYB-S3/BYB-S5-1	170	6.74	117	16.7	3.9	14.944	1.45
BYB-S4/BYB-S5-1	170	6.74	47	11.9	3.9	17.833	2.257
BYB-S5/BYB-S5-1	170	6.74	8	10.9	3.9	85.869	11.604

DSİ 23. Bölge Müdürlüğü tarafından yazılan barajın geoteknik raporunda da genel olarak kabul edilen ortalama K değeri 25.56 m/gün olup bu değere göre yapılan hesaplamalar sonucunda ortalama 5.824 L/s ilave beslenme gerektiği saptanmıştır (Çizelge 5.10).



Çizelge 5.10. K değeri 25.56 m/gün için 1 m YAS yükselmesi için gereken ilave besleme miktarları.

Kuyu No	Aks alüvyon genişliği (m)	Hidrolik iletkenlik (m/gün)	Kuyular arasındaki mesafe (m)	h2 (m)	h1 (m)	Debi (l/s)	İlave besleme miktarı (L/s)
BYB-S1/BYB-S3	170	25.56	45	16.7	3.85	147.56	14.361
BYB-S1/BYB-S4	170	25.56	115	11.9	3.85	27.723	3.521
BYB-S1/BYB-S5	170	25.56	154	10.9	3.85	16.98	2.302
BYB-S1-1/BYB-S3	170	25.56	33	16.7	12	102.785	7.163
BYB-S1-1/BYB-S5-1	170	25.56	150	12	3.9	21.59	2.716
BYB-S2/BYB-S4	170	25.56	78	25.8	11.9	168.938	8.962
BYB-S2/BYB-S5	170	25.56	117	25.8	10.9	117.526	6.404
BYB-S2/BYB-S5-1	170	25.56	125	25.8	3.9	130.845	8.811
BYB-S3/BYB-S4	170	25.56	70	16.7	11.9	49.315	3.448
BYB-S3/BYB-S5	170	25.56	109	16.7	10.9	36.93	2.676
BYB-S3/BYB-S5-1	170	25.56	117	16.7	3.9	56.671	5.502
BYB-S4/BYB-S5	170	25.56	39	11.9	10.9	14.701	1.289
BYB-S4/BYB-S5-1	170	25.56	47	11.9	3.9	67.626	8.561



Şekil 5.1. Aks ve Rezervuar sondajlarının H3GEN Cad yazılımındaki gösterimi (temel kayaç fliş seviyeleri) .

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR

Bu tez kapsamında öncelikle kuraklık ile mücadele kapsamında önemli olan ve Bartın İli ve Amasra İlçe merkezlerinin içme ve kullanma sularına takviye amaçlı olarak Slurry-Trench gövde yöntemi ile inşaa edilmiş Bahçeçik Yeraltı Barajı inşa adımları ve özellikleri hakkında bilgiler verilerek, tezin ana hedefinden birisi olan Bartın Bahçeçik Yeraltı Barajı rezervuarında su seviyesinin 1 m yükselebilmesi gerekli olan ilave beslenim miktarları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalara göre yeraltısuyu seviyesinin 1 m yükselmesi için farklı Hidrolik İletkenlik değerlerine göre minimum 0.329 L/s, ortalama 5.59 L/s ve maksimum 25.481 L/s ilave beslenimin gerektiği saptanmıştır.

Tezin amaçlarına ulaşabilmek için birçok hidrolojik problemin çözümüne ışık tutabilen nehir akımlarının tahminleri gerçekleştirilmiştir. Bahçeçik Yeraltı Barajı akiferinde bulunan kuyulardaki yeraltısuyu seviyelerindeki 1 m artış için gerekli ilave beslenmesinde kullanılabilir olan Ovacuma Çayı'nın debilerinin tahmininde yararlanılabilecek olan E13A031 nolu Kocarımak (Bartın) İstasyonunun akım tahmin verilerinin, Ovacuma Çayı'nın var olan 2018 yılında ölçülen debi miktarlarının tahmininde anlamlı şekilde kullanılacağı düşünülmektedir.

E13A031 nolu Kocarımak (Bartın) İstasyonunun akım verilerinin tahmini için Python programlama dili, Tensorflow, Keras ve ScKitLearn kütüphaneleri, YSA ve ÇDR modelleri kullanılmıştır. YSA ile bağımlı değişken olarak, E13A031 akım gözlem istasyonunun akım verilerinin tahmininde en yüksek başarı oranı elde edildiği için, bağımsız değişken olarak Bartın, Kastamonu, Sinop, İnebolu, Zonguldak, Ulus, Amasra yağış gözlem istasyonları ve E13A007, D13A014, D13A015, D13A021, E13A032, D13A050, D13A022, D13A040, E13A014, E13A033, E13A034, E13A035 nolu akım gözlem istasyonları tercih edilmiştir. Tercih edilen veriler sırasıyla model

üzerinde denenmiş ve en yüksek başarıya sahip olunan bağımsız değişkenler seçilmiştir. Verilerin %30'u test için %70'i eğitim için kullanılmıştır. YSA modelinde belirleme katsayısı ( $r^2$ ) 0.802, OMYH 3.102 ve OMH 6.153 olarak hesaplanmıştır. Çoklu Doğrusal Regresyon yöntemiyle E13A031 akım gözlem istasyonu verilerinin tahmini amacıyla Bartın, Kastamonu, Sinop, İnebolu, Zonguldak, Ulus, Amasra MGİ (sıcaklık ve yağış), E13A007, D13A014, D13A015, D13A021, E13A032, D13A050, D13A022, D13A040, E13A014, E13A033, E13A034, E13A035 nolu AGİ (akım) verileri kullanılmıştır. Verilerin %30'u test, %70'i eğitim amacıyla modele girilmiştir. Belirleme katsayısı ( $r^2$ ) 0.790, OMYH 3.110 ve OMH 6.024 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar yapay sinir ağlarının daha başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir.

YSA ile eğitilen model üzerinden, eksik yıl verileri zaman serileri ile tahmin edilen akım gözlem istasyonları verileri modele dahil edilerek öncelikle E13A031 akım gözlem istasyonunun 2016-2019 yılları arasında gelmesi muhtemel akım verileri tahmin edilmiştir. Son olarak ise E13A031 nolu Kocairmak Nehri havza alanı olan  $1370 \text{ km}^2$ 'lik alanı, Ovacuma Çayı havza alanı olan  $313 \text{ km}^2$ ' oranlanarak Ovacuma Çayı'nın 2018 yılında var olan akımları  $0.88 r^2$  ile tahmin edilmiştir. Başarı oranının veri sayısının artırılması ile artırılabilceği düşünülmektedir. Ayrıca başarı oranında drenaj alanı daha küçük olması ve çoğunlukla alüvyonların varlığı dolayısıyla Ovacuma Çayı Havzası'nın geçirimsizliğinin Kocairmak Havzası geçirimsizliğinden daha fazla olmasının da etkili olacağı düşünülmektedir. Bu nedenle daha sonraki çalışmalarda, daha fazla sayıda uygun veriler elde edilerek havza alan oranları kullanılarak yapılan tahmin hesaplamalarında, geçirimsizlik oranları ve taşkın analizlerinde kullanılan toprak eğri numarası faktörlerinin etkisinin araştırılması çalışmalarının yapılması önerilmektedir.

## KAYNAKÇA

1. Ögenler, O. ve Okuyaz, S., "Türkiye’de Suyun Durumu Hakkında Kısa Bir Değerlendirme", *Lokman Hekim Dergisi*, 7 (3): 178–186 (2017).
2. Yılmaz, M., "Control of Groundwater by Underground Dams", Yüksek Lisans Tezi, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 80s, (2003).
3. Tuğaç, Ç. ve Birpınar, M. E., "Impacts of Climate Change on Water Resources of Turkey", **4<sup>th</sup> International Conference Water Resources and Wetlands**, Romanya, 145-152 (2018).
4. Nilsson, Å., "Groundwater Dams for Small-Scale Water Supply", *Groundwater Dams For Small-Scale Water Supply*, 1–80 (1988).
5. Onder, H. ve Yılmaz, M., "Underground Dams", *European Water*, 11: 35–45 (2005).
6. Apaydın, A., "Yer Seçiminden İşletmeye Yeraltı Barajları", *DSİ Genel Müdürlüğü*, Ankara, 0–237 (2014).
7. Apaydın, Ahmet; Aktaş, Sibel Demirci; Kaya, S., "Yeraltında Su Depolama: Yeraltı Barajları", *Mavi Gezen*, 14 (Ocak 2009): 42–51 (2009).
8. Ishida, S. ve diğ. "Construction of subsurface dams and their impact on the environment." *RMZ - Materials and Geoenvironment*, 50, 149–152 (2003).
9. Trust Builder, "Water resources in Korea 2007", *Republic Of Korea Ministry Of Construction & Transportation (MOCT), Government Publications*, 0–60 (2007).
10. Nissen-Petersen, E., "Rain Catchment and Water Supply in Rural Africa: A Manual", *Hodder and Stoughton*, Londra (1982).
11. Apaydın, A., "Türkiye’de Yeraltı Barajlarının Uygulanabilirliği ve Yeraltı Barajları Eylem Planı’nın Değerlendirilmesi", *Konya Journal Of Engineering Sciences*, 10 (1): 130–146 (2022).
12. Ishida, S., Tsuchihara, T., Yoshimoto, S., ve Imaizumi, M., "Sustainable Use of Groundwater With Underground Dams", *Japan Agricultural Research Quarterly*, 45 (1): 51–61 (2011).
13. Dsi 23. Bölge Müdürlüğü and Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Şube Müdürlüğü, "Yeraltı Barajları Bartın Bahçecik Yeraltı Barajı Sunum", Karabük, (2019).

14. Hanson, G ve Nilsson, A., "Ground-Water Dams for Rural-Water Supplies in Developing Countries", *Ground Water*, Volume 24, No: 4, 497-506 (1986).
15. Nilsson, A. "Groundwater dams for small-scale water supply", *Intermediate Technology Publications Ltd.* London, pp. 69 (1988).
16. JGRA., "Technical Reference for Effective Groundwater Development", *Japan Green Resources Agency (J-Green)*, (2004).
17. Nishigaki, M., Kankam, Y. K., ve Komatsu, M., "Underground Dam Technology in Some Parts of the World", *Journal Of Groundwater Hydrology*, 46 (2): 113–130 (2004).
18. Ouerdachi, L., Boutaghane, H., Hafsi, R., Boulmaiz Tayeb, T., ve Bouzahar, F., "Modeling of Underground Dams Application to Planning in the Semi Arid Areas (Biskra, Algeria)", *Energy Procedia*, 18: 426–437 (2012).
19. Nawa, N. ve Miyazaki, K., "The analysis of Saltwater Intrusion Through Komesu Underground Dam and Water Quality Management for Salinity", *Paddy And Water Environment*, 7 (2): 71–82 (2009).
20. Hasan, A. N., Twala, B., ve Marwala, T., "Moving Towards Accurate Monitoring and Prediction of Gold Mine Underground Dam Levels", *Proceedings Of The International Joint Conference On Neural Networks*, 2844–2849 (2014).
21. Vaheddoost, B. ve Aksoy, H., "Prediction of Discharge in Qanat due to Construction of an Underground Dam Using Artificial Neural Network Methods", **11<sup>th</sup> International Confrence on Advances in Civil Engineering**, İstanbul (2014).
22. Kişi, Ö., "River Flow Forecasting and Estimation Using Different Artificial Neural Network Techniques", *Hydrology Research*, 39 (1): 27–40 (2008).
23. Ekemen Keskin, T., Özler, E., Şander, E., Düğenci, M., ve Ahmed, M. Y., "Prediction of electrical conductivity using ANN and MLR: a case study from Turkey", *Acta Geophysica*, 68 (3): 811–820 (2020).
24. Damla, Y., Temiz, T., ve Keskin, E., "Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Akımın Tahmin Edilmesi: Yalova Gökçe Barajı Örneği", *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik Ve Fen Bilimleri Dergisi*, 32–49 (2020).
25. Altunkaynak, A., Ensar Başakin, E., Üniversitesi, İ. T., Ve Su, H., Mühendisliği, K., and Geliş, T., "Zaman Serileri Kullanılarak Nehir Akım Tahmini ve Farklı Yöntemlerle Karşılaştırılması", *Journal Of Science And Technology*, 1 (11): 1 (2018).

26. Şen, .Z, Tayfur G., "Yeraltı Suyu Hidroloji ve Hidroliği", *Su Vakfı*, İstanbul, 645–649 (2018).
27. Yüksek Ö., Babacan H.,T. ve Saka F., “Y ağış-Akış Modellemesinde Optimum Yapay Sinir Ağı Yapısının Araştırılması”,*Türk Hidrolik Dergisi*, 6 (1): 31-137 (2018).
28. Ekberli, İ., Gülser, C., ve Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, O., "Taban Suyu Tablası Yüksekliğinin Değişimine Bağlı Olarak Taban Suyu Seviyesinin Matematiksel Modellenmesi", *Journal Of Soil Science And Plant Nutrition*, 9 (1): 23–29 (2021).
29. Dsi 23. Bölge Müdürlüğü/Kastamonu ve Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Şube Müdürlüğü, "Bahçecik Yeraltı Barajı geoteknik etüt raporu", Bartın, (2019).
30. Ülke A., Özkul S., ve Tayfur G., "Ampirik Yöntemlerle Gediz Nehri İçin Askıda Katı Madde Yüğü Tahmini", *İMO Teknik Dergi*,5387-5407 (2011)
31. Şen, .Z, Tayfur G., "Yeraltı Suyu Hidroloji ve Hidroliği", *Su Vakfı*, İstanbul, 645–649 (2018).
32. Kılıç, S., "Linear Regression Analysis", *Journal of Mood Disorders*, 3 (2): 90 (2013).
33. Ataseven, B., "Yapay Sinir Ağları ile Öngörü Modellemesi", *Öneri Dergisi*, 101–115 (2013).
34. Öztemel, E., "Yapay Sinir Ağları", *Papatya Yayıncılık*, İstanbul, 13–231 (2003).
35. İnternet: "Yapay Sinir Ağları - Veri Bilimi Okulu - Veri Bilimi Okulu", <https://www.veribilimiokulu.com/yapay-sinir-aglari/> (13.11.2022).
36. İnternet: "Introduction to Forecasting - Skforecast Docs", <https://joaquinamatrodriego.github.io/skforecast/0.6.0/introduction-forecasting/introduction-forecasting.html> (05.01.2023).
37. İnternet: " Absolute Error & Mean Absolute Error (MAE) ", <https://www.statisticshowto.com/absolute-error/> (26.12.2022).
38. İnternet: " MAPE (Mean Absolute Percentage Error) ", [https://docs.oracle.com/en/cloud/saas/planning-budgeting-cloud/pfusu/insights\\_metrics\\_MAPE.html](https://docs.oracle.com/en/cloud/saas/planning-budgeting-cloud/pfusu/insights_metrics_MAPE.html) (12.12.2022).
39. Kingma, D.P., ve Ba, J., "Adam: A Method for Stochastic Optimization",<sup>4<sup>th</sup></sup> *International Conference on Learning Representations*, Amerika Birleşik Devletleri (2014).

40. İnternet: " Sigmoid Function ",  
**<https://wiki.netcad.com.tr/pages/viewpage.action?pageId=217394233>**  
(05.12.2022).
41. İnternet: "Havza Sınırlarının Belirlenmesi - Havza Sınırlarının Belirlenmesi - Netcad Portal",  
**<https://deepai.org/machine-learning-glossary-and-terms/sigmoid-function>** (05.12.2022).
42. İnternet: "What Is Python? Executive Summary | Python.Org",  
**<https://www.python.org/doc/essays/blurb/>** (03.09.2022).
43. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. Batı Karadeniz Havzası Taşkın Yönetim Plan).Yüklenici firma; *Akar-Su Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şti.* Ankara (2019).
44. "İstasyon Bilgileri Veritabanı - Meteoroloji Genel Müdürlüğü",  
**<https://mgm.gov.tr/kurumsal/istasyonlarimiz.aspx?il=Zonguldak>** (2023).
45. Ekberli, İ. ve Gülser, C., "Boussinesq denkleminin çözümüne bağlı olarak taban suyu seviyesi yüksekliğinin incelenmesi", *Toprak Bilimi Ve Bitki Besleme Dergisi*, 6 (2): 134–142 (2018).

## ÖZGEÇMİŞ

Emrah ŞANDER ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamlamıştır. Ardahan Rekabet Kurumu Fen Lisesi, Matematik Eğitimi Bölümünden “iyi” derece ile mezun olduktan sonra 2013 yılında KBÜ Karabük Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne başlamış, 2019 yılında mezun olmuştur. 2019 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Hidrolik Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 2019 yılında Yazılım Mühendisi pozisyonunda özel sektörde çalışmaktadır. Yönetim sistemleri, makine öğrenim uygulamaları ve benzeri projeler üretmektedir.