



**BARAJLARDA FARKLI YAKLAŞIMLAR:  
BARTIN BAHÇECİK YERALTI BARAJI  
ÖRNEĞİ**

**2023  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Halis Yusuf KILIÇ**

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

**BARAJLARDA FARKLI YAKLAŞIMLAR: BARTIN BAHÇECİK  
YERALTI BARAJI ÖRNEĞİ**

**Halis Yusuf KILIÇ**

**Tez Danışmanı**

**Prof. Dr. Tülay EKEMEN KESKİN**

**T.C.**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Ocak 2023**

Halis Yusuf KILIÇ tarafından hazırlanan “BARAJLARDA FARKLI YAKLAŞIMLAR: BARTIN BAHÇECİK YERALTI BARAJI ÖRNEĞİ ” 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

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Prof. Dr. Ahmet APAYDIN (GRÜ)	.....
Üye : Prof. Dr. Tülay EKEMEN KESKİN (KBÜ)	.....
Üye : Doç. Dr. Ertuğrul ESMERAY (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.”*

Halis Yusuf KILIÇ

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **BARAJLARDA FARKLI YAKLAŞIMLAR: BARTIN BAHÇECİK YERALTI BARAJI ÖRNEĞİ**

**Halis Yusuf KILIÇ**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Tülay EKEMEN KESKİN**

**Ocak 2023, 93 sayfa**

Kuraklık, iklim değişikliği ve temiz su kaynaklarında yaşanan sıkıntıların her geçen gün daha da arttığı dünyamızda, yeni su politikaları ve su kontrol teknikleri önemini giderek artırmaktadır. Suyun temiz ve kullanılabilir şekilde kontrol altında tutulması, yönetilmesi ve geri kazanılması ciddi çalışmalar gerektirmektedir. Bu kapsamda son yıllarda önemi giderek artan yeraltı barajları ülkemiz için de önem arz etmektedir. Hali hazırda ülkemizde yapılmış, yapılmakta olan ve yapımı planlanan birçok yeraltı barajı bulunmaktadır. Farklı yapım yöntemlerine ve kullanım amaçlarına sahip olan bu barajlardan bir tanesi de yapımına 2020 yılında başlanan Bartın Bahçecik Yeraltı Barajıdır.

Bu çalışmada, Bartın Bahçecik Yeraltı Barajı özelinde bir değerlendirme yapılmış olup; yeraltı barajları gövde tipleri ve Bahçecik Yeraltı Barajı gövde tipi olan Slurry-

Trench (Bulamaç Hendeği-Plastik Beton) yöntemi hakkında bilgiler verilmiştir. Özellikle maliyet açısından daha ekonomik olabilecek ve özgün bir yaklaşım olarak çalışma bölgesine farklı derinliklerde (6 m, 11 m, 16 m) geosentetik/jeomembran bir gövde tipi önerilmiş ve ayrıca mevcut projeden hali hazırda alınan su miktarından bir miktar daha fazla su alınabilmesi amacıyla, su alma yapısının (drenaj boruları) yerleştirilme derinliğindeki artışa bağlı olarak su artış miktarlarına ve dolayısıyla da artan kazı kübajlarına dair hesaplamalar ve değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda mevcut projede ki kazı kübaj işlerine dair bilgi sahibi olabilmek ve su alma yapısının kotunun değişmesine bağlı olarak oluşacak ek kazı hacimlerini ve dolayısıyla ek maliyet hesaplamalarını ortaya koyabilmek amacıyla bir yazılım kullanılmıştır. Bu kapsamda mevcut Slurry-Trench geçirimsizlik perdesi hacmi, derivasyon kanalı hacmi, iletim/isale hattı kazı hacmi, drenaj borularının yerleştirilmesi için kazı hacmi ve bu tez kapsamında önerilen 3 farklı derinlikteki (6 m (mevcut), 11 m, 16 m) drenaj boruları kotunun değişimden kaynaklı olarak oluşan ek kazı hacmi ve maliyeti hesaplanmıştır. Böylece mevcut kazı hacimleri; geçirimsizlik perdesi (başlık dahil) 3708,236 m<sup>3</sup>, derivasyon kanalı 135645 m<sup>3</sup>, isale hattı 21773 m<sup>3</sup>, drenaj alanı (6 m için) 113057 m<sup>3</sup> olarak hesaplanmış olup, drenaj alanında kot değişimi yapılması durumunda 11 m derinlikteki kazı için 226520 m<sup>3</sup> ve 16 m derinlikteki kazı için ise 336984 m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Bu durumda drenaj borusu kazı hacimlerinde 113463 m<sup>3</sup> ve 223927 m<sup>3</sup> artışların olacağı hesaplanmıştır.

Mevcut Slurry-Trench gövde yüksekliği yaklaşık 5 m ile 26 m arasında değişmekte olup, etkili su alma yapısı olan drenaj borularının derinliği 6 m'dir. Dupuit Denklemi kullanılarak akiferin önceki dönemlerde gerçekleştirilmiş arazi ölçüm bilgilerine göre tüm yıl boyunca doymun olacağı kabulü ile, 6 m'ye yerleştirilen drenaj boruları vasıtasıyla alınabilecek su miktarı 19 L/s olarak saptanırken, drenaj borularını kazı derinliği artışıyla alınabilecek su miktarları ise 30,04 L/s ve 36,16 L/s olarak öngörülmüştür.

Bu çalışma kapsamında yüzeyden itibaren 6 m, 11 m ve 16 m olarak tasarlanan geosentetik/jeomembran gövde ve aynı derinliklerde tüm drenaj kazısı boyunca zemine uygulanacak geosentetik/jeomembran taban örtüsü tasarım önerisi, mevcutta

olan 5-26 m Slurry-Trench gövde tipi ile kıyaslandığında; gövde derinliğinin daha az olarak tasarlanması, kullanılacak malzemelerin daha ekonomik olması ve işçiliğinin daha hızlı olması gibi sebeplerden dolayı daha ekonomik olarak değerlendirilmiştir. DSİ 23. Bölge Müdürlüğü ve ilgili uygulayıcı firmalardan alınan 2021 fiyat bilgilerine göre Slurry-Trench gövde tipinin yaklaşık olarak 18.100.100 TL (2.436.083 DOLAR) olduğu saptanmış olup, bu tez kapsamında önerilen 6 m, 11 m ve 16 m derinliklerdeki geosentetik tasarımı yapıların ise aynı yılın fiyat bilgilerine göre ek kazı maliyetleri ile birlikte yaklaşık olarak sırasıyla 1.382.623 TL (186.086 DOLAR), 4.543.997 TL (611.574 DOLAR) ve 6.759.895 TL (909.811 DOLAR) olarak hesaplanmıştır.

Ayrıca Bartın Bahçecik Yeraltı Barajı aksında Ovacuma Çayı Havzası'ndan kaynaklanabilecek taşkın afeti meydana gelmesi durumundaki taşkın yayılım alanlarının saptanabilmesi amacıyla çay üzerinde herhangi bir akım gözlem istasyonu bulunmadığı için yağış verileri kullanılarak bir yazılım yardımıyla DSİ Sentetik ve Mockus yöntemleri ile taşkın analizleri gerçekleştirilmiş ve DSİ Sentetik yöntemine göre 100 yıllık tekerrür süreli gelmesi muhtemel taşkın debisi 188,496 m<sup>3</sup>/s olarak hesaplanmıştır. Bu muhtemel taşkın debisine göre baraj rezervuarında mevcut arazi ve topografik şartlar altında yüzeysuyu seviyesi yükselişi yaklaşık olarak ortalama 1 -1,5 m olarak hesaplanmıştır. Bu durumda suların barajın hemen yakınında bulunan Karabük-Bartın Karayolunun bazı kesimlerini etkisi altına alabileceği, bu açıdan çeşitli tehlikeler doğurabileceği saptanmış olup, barajın karayolu ile yakınlaştığı kesimlerde taşkın düzenleme ve koruma yapılarının inşasının uygun olabileceği önerilmektedir.

**Anahtar Sözcükler:** Bulamaç Hendeği, Jeosentetik, Jeomembran, Yeraltısuyu, Taşkın analizi, Bahçecik Yeraltı Barajı

**Bilim Kodu:** 91106

## **ABSTRACT**

**Master Thesis**

### **DIFFERENT APPROACHES TO DAMS: THE CASE OF BARTIN BAHÇECİK UNDERGROUND DAM**

**Halis Yusuf KILIÇ**

**Karabük University**

**Institute of Graduate Programs**

**Department of Civil Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Tülay EKEMEN KESKİN**

**January 2023, 93 pages**

In our world where drought, climate change and problems in clean water resources are increasing day by day, new water policies and water control techniques increase their importance. Keeping clean and usable water under control, management and recovery requires serious studies. In this context, underground dams, whose importance has been increasing in recent years, are also important for our country. Currently, there are many underground dams built, under construction and planned to be built in our country. One of these dams, which has different construction methods and usage purposes, is the Bartın Bahçecik Underground Dam, the construction of which started in 2020.

In this study, an evaluation was made on the Bartın Bahçecik Underground Dam; information about the body types of underground dams and the Slurry-Trench (Slurry Trench-Plastic Concrete) method, which is the body type of Bahçecik Underground



Dam. In particular, a geosynthetic/geomembrane body type at different depths (6 m, 11 m, 16 m) was proposed for the study area as a more cost-effective and original approach. Calculations and evaluations were carried out on the amount of water increase due to the increase in the depth of placement of the intake structure (drainage pipes), and therefore the increased excavation cubes. In this context, software was used in order to have information about the excavation and cubage works in the current project and to reveal the additional excavation volumes that will occur due to the change in the elevation of the water intake structure, and therefore additional cost calculations. In this context, the existing Slurry-Trench impermeable bulkhead volume, the diversion channel volume, the transmission/conveying line excavation volume, the excavation volume for the placement of drainage pipes and the drainage pipes of 3 different depths (6 m (existing), 11 m, 16 m) proposed within the scope of this thesis. The additional excavation volume and cost resulting from the change in elevation were calculated. Thus, the existing excavation volumes; The impermeability bulkhead (including the hood) is 3708,236 m<sup>3</sup>, the diversion channel is 135645 m<sup>3</sup>, the transmission line is 21773 m<sup>3</sup>, the drainage area (for 6 m) is 113057 m<sup>3</sup>. In the case of elevation change in the drainage area, it has been calculated as 226520 m<sup>3</sup> for excavation at 11 m depth and 336984 m<sup>3</sup>, for excavation at 16 m depth.

The existing Slurry-Trench body height varies between approximately 5 m and 26 m, and the depth of the drainage pipes, which is an effective water intake structure, is 6 m. Assuming that the aquifer will be saturated throughout the year, using the Dupuit Equation, the amount of water that can be taken through the drainage pipes placed at 6 m is determined as 19 L/s, while the amount of water that can be taken through the drainage pipes with the increase in the excavation depth is 30,04 L/s. and 36,16 L/s.

Within the scope of this study, the geosynthetic/geomembrane body designed as 6 m, 11 m and 16 m from the surface and the geosynthetic/geomembrane base cover design proposal is to be applied to the ground throughout the entire drainage excavation at the same depths, when compared with the existing 5-26 m Slurry-Trench body type; It has been evaluated as more economical due to the reasons such as the design of the trunk depth is less, the materials to be used are more economical and the workmanship is

faster. According to the 2021 price information obtained from the DSI 23rd Regional Directorate and the relevant implementing companies, the Slurry-Trench hull type was determined to be approximately 18.100.100 TL (2.436.083 DOLAR), and the geosynthetic design at 6 m, 11 m and 16 m depths recommended within the scope of this thesis. According to the price information of the buildings of the same year, the additional excavation costs were calculated as 1.382.623 TL (186.086 DOLAR), 4.543.997 TL (611.574 DOLAR) and 6.759.895 TL (909.810 DOLAR), respectively.

In addition, since there is no flow monitoring station on the stream, flood analyzes were carried out with the help of DSI Synthetic and Mockus methods with the help of software, in order to determine the flood propagation areas in the event of a flood disaster that may arise from the Ovacuma Stream Basin on the axis of the Bartın Bahçecik Underground Dam. According to the report, the possible flood flow rate of 100 years is calculated as 188,496 m<sup>3</sup>/s. According to this probable flood flow, the rise in surface water level in the dam reservoir under the existing land and topographic conditions has been calculated as approximately 1 -1,5 m. In this case, it has been determined that the waters may affect some parts of the Karabük-Bartın Highway, which is located in the immediate vicinity of the dam, and pose various dangers in this respect, and it is suggested that the construction of flood regulation and protection structures in the sections where the dam is close to the highway may be appropriate.

**Key Word:** Slurry Trench, Geosynthetics, Geomembrane, Groundwater, Flood analysis, Bahcecik 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 danışmanı 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, sahada bulamaç hendeği konusunda bilgiler paylaşan SONAR firmasına, analizlerde yazılım desteğinden dolayı H. İbrahim ÇETİNER'e, tezimin daha da geliştirilmesi ve akıcı hale gelmesi için engin tecrübe ve önerilerini esirgemeyen sayın Prof. Dr. Ahmet APAYDIN'a, tezimin oluşturulması aşamasında tavsiyelerinden ve bilgilerinden faydalandığım, desteğini ve emeğini esirgemeyen aziz dostum Emrah Şander'e; teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tezimin oluşturulması aşamasında maddi ve manevi her zaman yanımda olan babam Uğur KILIÇ'a, annem Güldenur KILIÇ'a ve kardeşim Ömer Çağatay KILIÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	x
İÇİNDEKİLER .....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xviii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	5
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
BÖLÜM 3 .....	8
MATERYAL VE METOT .....	8
3.1. Dupuit Denklemi .....	10
3.2. Çalışma Kapsamında Kullanılan Bilgisayar Yazılımları .....	10
3.2.1. H3GEN .....	11
3.2.2. NetCAD .....	11
3.3. Taşkın Analizinde Kullanılan Yöntemler.....	13
3.3.1. DSİ Sentetik Yöntemi.....	13
3.3.2. Mockus Yöntemi .....	14
BÖLÜM 4 .....	18
BARAJLAR .....	18

4.1. Yerüstü Barajları .....	18
4.2. Yeraltı Barajları .....	19
4.2.1. Yeraltı Barajlarının Avantajları ve Dezavantajları .....	20
4.2.2. Yeraltı Barajlarında Suyun Elde Edilmesi ve Projelendirilmesi .....	21
4.2.3. Yeraltı Barajlarında Gövde Tipleri .....	21
4.2.4. Yeraltı Barajları Proje Örnekleri .....	22
4.2.4.1 Malıboğazı Yeraltı Barajı .....	22
4.2.4.2 Kırıkkale-Keskin Aşağı Olunlu Yeraltı Barajı .....	22
4.2.4.3 Elazığ Baskil Yeraltı Barajı .....	23
4.2.4.4 Çorum İskilip Yeraltı Barajı .....	24
4.2.4.5 Fukuzato Yeraltı Barajı- Miyakojima Adası / JAPONYA .....	24
4.2.5. Mevzuatlar ve Teknik Şartnameler .....	25
BÖLÜM 5 .....	26
BARTIN ULUS BAHÇECİK YERALTI BARAJI .....	26
5.1. Jeolojik Yapı .....	29
5.2. Su Kimyası .....	32
5.3. Bartın Yeraltı Barajı Slurry-Trench Gövde (Plastik Beton- Bulamaç Hendeği) .....	33
5.3.1. Makina / Ekipman .....	35
5.3.2. Malzeme/Bileşen .....	36
5.3.3. Uygulama .....	37
5.4. Derivasyon Kanalı .....	39
5.5. İsale Hattı .....	40
5.6. Su Alma Yapıları (Drenaj Boruları) .....	41
BÖLÜM 6 .....	43
GEOSENTETİK GÖVDE .....	43
6.1. HDPE Jeomembranların Kullanım Alanları .....	43
6.2. HDPE Jeomembranların Teknik Özellikleri .....	45
6.3. HDPE Jeomembran Kaplama Gövde Tipi ve Maliyet Hesaplamaları .....	45

BÖLÜM 7 .....	52
SU ALMA YAPISI KOT DEĞİŞİMİ.....	52
7.1. Bahçecik Yeraltı Barajı Arazi Modelinin Oluşturulması.....	52
7.2. Bahçecik Yeraltı Barajının Kübaj Hesaplamaları .....	59
7.2.1. Yeraltı Barajı Slurry-Trench Gövde Kübaj Hesaplamaları .....	59
7.2.2. Derivasyon Kanalı Kübaj Hesaplamaları .....	61
7.2.3. İsale Hattı Kübaj hesaplamaları.....	62
7.2.4. Drenaj Boruları Alanı Kübaj hesaplamaları .....	63
7.2.5. Drenaj Boruları alanına ait taban kotunun değiştirilmesi.....	64
7.3. Su Alma Yapısının Kot Değişikliğine Göre Hesaplamalar.....	66
7.3.1. Yeraltısuyu Debi Hesapları.....	66
7.3.1.2. Dupuit Yaklaşımı .....	68
7.3.2 Ek İsale Hattı Hesapları.....	70
BÖLÜM 8 .....	72
TAŞKIN ANALİZİ.....	72
8.1. Taşkın Analizi .....	72
8.1.1. Havzaların Modellenmesi.....	74
8.1.2. Yağış Analizleri .....	76
8.1.3. Harmonik Eğim Hesapları .....	77
8.1.4. 1/25000 Ölçekli Sayısallaştırılmış Topoğrafik Haritalar Yardımıyla Taşkın analizi.....	78
8.1.4.1. DSİ Sentetik Birim Hidrograf ile Taşkın Debi Hesapları.....	78
8.1.4.2. Mockus Birim Hidrografa Göre Taşkın Debi Hesapları.....	81
8.1.5 Taşkın Yayılım Alanı .....	84
BÖLÜM 9 .....	86
TARTIŞMA VE SONUÇLAR .....	86
KAYNAKLAR .....	89
ÖZGEÇMİŞ .....	93

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Tipik bir yeraltı barajı modeli [3] .....	2
Şekil 1.2. Mevcut baraj gövdesi ve önerilen geosentetik gövde (sol) ve taban kaplaması (sağ).....	4
Şekil 4.1. Keban Barajı [25].....	18
Şekil 4.2. Basitleştirilmiş bir yeraltı barajı modeli [2].....	19
Şekil 4.3. Malıboğazı yeraltı barajının memba-mansap doğrultulu kesiti [27].....	22
Şekil 4.4. Kırıkkale-Keskin Aşağı Olumlu Yeraltı Barajı modeli [26].....	23
Şekil 4.5. Elazığ Baskil Yeraltı Barajı modeli [26] .....	23
Şekil 4.6. Çorum İskilip Yeraltı Barajı yapım aşaması [2] .....	24
Şekil 4.7 Fukuzato Yeraltı Barajı [28] .....	25
Şekil 5.1. Bartın Bahçecik Yeraltı Barajı yer bulduru haritası [21].....	27
Şekil 5.2. Bahçecik Yeraltı Barajı uydu görüntüsü üzerine proje aşamalarının konumları [32].....	27
Şekil 5.3. Bahçecik Yeraltı Barajı inşaat aşaması [33] .....	28
Şekil 5.4. Bahçecik Yeraltı Barajının topografik konumu [35] .....	28
Şekil 5.5. Bahçecik yeraltı barajı B-B' jeoloji kesiti [33].....	30
Şekil 5.6. Sondaj çalışmaları [36] .....	31
Şekil 5.7. Karot örnekleri [36] .....	31
Şekil 5.8. 46403 nolu su kuyusundaki online ölçüm istasyonu [36].....	32
Şekil 5.9. Bahçecik Yeraltı Barajının Slurry-Trench gövdenin tip kesiti [13].....	34
Şekil 5.10. Bahçecik Yeraltı Barajı'nın Slurry Trench gövdenin başlık betonu.....	34
Şekil 5.11. Grab kazı makinası. ....	36
Şekil 5.12. Slurry-Trench gövde yapım çalışması [33].....	38
Şekil 5.13. Tremi ile döküm yapılma işlemi [33] .....	39
Şekil 5.14. Drenaj kanalı tip kesiti [35] .....	40
Şekil 5.15. İsale hattı boru tip kesiti [32] .....	41
Şekil 5.16. Drenaj borularının yerleştirileceği alan [35].....	42

Şekil 5.17. Drenaj hattı tip kesitleri [32].....	42
Şekil 6.1. Jeosentetiklerin kullanım alanları [8].....	44
Şekil 6.2. Bahçecik Yeraltı Barajı Slurry-Trench gövde kesiti [33].....	45
Şekil 6.3. Bahçecik Yeraltı Barajı proje özellikleri ve drenaj boruları kazı alanı (sarı). .....	47
Şekil 6.4. Bahçecik Yeraltı Barajı için önerilen 6 m, 11 m ve 16 m derinliklerinde jeosentetik gövde ve taban örtüsünün şematik kesitleri.....	48
Şekil 6.5. Bahçecik Yeraltı Barajı için önerilen jeosentetik taban drenaj alanı. ....	49
Şekil 7.1. Drenaj borusu kesit görünüş. ....	53
Şekil 7.2. Bartın Bahçecik Yeraltı Barajı projesi arazi modelleri.....	54
Şekil 7.3. Bahçecik Yeraltı Barajı en kesit modeli. ....	54
Şekil 7.4. Bahçecik Yeraltı Barajı tip kesitlerin tanımları .....	55
Şekil 7.5. Bahçecik Yeraltı Barajı geçirimsizlik perdesi, başlığı ve mansap kaya dolgu tip kesit modeli.....	55
Şekil 7.6. Bahçecik Yeraltı Barajı derivasyon kanal kesitleri.....	56
Şekil 7.7. Bahçecik Yeraltı Barajı derivasyon kanalı modeli .....	56
Şekil 7.8. Bahçecik Yeraltı Barajı ishale hattı yüzey modeli.....	57
Şekil 7.9. Bahçecik Yeraltı Barajı ishale hattı enkesitleri.....	57
Şekil 7.10. Bahçecik Yeraltı Barajı drenaj yüzey modeli .....	58
Şekil 7.11. Bahçecik Yeraltı Barajı drenaj alan enkesitleri .....	58
Şekil 7.12. Başlık betonları proje detayları .....	59
Şekil 7.13. Başlık betonları yapım işleri .....	60
Şekil 7.14. Slurry-Trench gövde tip kesit kübaj tanımları .....	61
Şekil 7.15. Derivasyon kanalı kübaj tanımı .....	61
Şekil 7.16. İsale hattı kübaj tanımı.....	62
Şekil 7.17. Drenaj kanalı kazısı.....	63
Şekil 7.18. Drenaj kanalı ve boru hatları kübaj tanımlaması .....	64
Şekil 7.19. 10 m derinliğindeki drenaj boru alanları en kesiti. ....	65
Şekil 7.20. Çalışma alanı A-A' jeolojik kesiti [32].....	67
Şekil 7.21. Çalışma alanı B-B' jeolojik kesiti [32] .....	68
Şekil 7.22. 5 m kot değişimine bağlı ek isale hattı uzunluğu.....	71



Şekil 7.23. 5 m (KB ilk turuncu nokta) ve 10 m (KB ikinci turuncu nokta) kot değişimine bağlı ek isale hattı uzunluğu .....	71
Şekil 8.1. Taşkın akımlarının değerlendirilmesinde kullanılacak yöntemler [15]	72
Şekil 8.2. Üniform bir yağışın oluşturacağı akışın zaman içindeki değişimi [43].....	73
Şekil 8.3. Hidrograf elemanları [15] .....	73
Şekil 8.4. D8 akım modeli'nin şematik gösterimi [44, 45].....	75
Şekil 8.5. Sayısallaştırılmış topoğrafik haritalar kullanılarak modellenmiş havzalar ve .....	75
Şekil 8.6. Çalışma alanının sayısal arazi modeli ve Thiessen yağış alanları .....	76
Şekil 8.7. Modellenen havza alanları, akım ağları ve etki eden yağış gözlem istasyonlarının Thiessen alanları .....	77
Şekil 8.8. DSİ Sentetik Yöntemi birim hidrograf sonuçları grafiği .....	79
Şekil 8.9. Mockus yöntemi birim hidrograf sonuçları grafiği .....	82
Şekil 8.9. Taşkın yayılım alanı.....	84
Şekil 8.10. Baraj rezervuarındaki bazı kesitlerde taşkın döneminde görülebilecek olası su yükselim seviyeleri .....	85

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Toprak eğri numaraları (CN) [14, 21–24].....	17
Çizelge 5.1. Temel sondaj bilgileri [32].....	29
Çizelge 5.2. Çalışma alanındaki suların kimyasal analiz sonuçları [32].....	33
Çizelge 5.3. Çalışma alanındaki suların iz element analiz sonuçları [32] .....	33
Çizelge 5.4. Bentonit süspansiyonlarının özellikleri (EN 1538).....	37
Çizelge 6.1. HDPE (high density polyethylene) ve LLDPE (linear low-density polyethylene) jeomembranın teknik özellikleri [38].....	46
Çizelge 6.2. Maliyet hesap tablosu [40].....	50
Çizelge 6.3. Ek Maliyet hesap tablosu .....	50
Çizelge 6.4. Deneme kaynakları alt sınır değerleri [14] .....	51
Çizelge 6.5. Hava testi basınç değerleri [14] .....	51
Çizelge 7.1. Slurry-Trench gövde kübaj sonuçları.....	60
Çizelge 7.2. Derivasyon kanalı kübaj sonuçları.....	62
Çizelge 7.3. İsale hattı kübaj sonuçları .....	62
Çizelge 7.4. Drenaj boru alanı kübaj sonuçları .....	63
Çizelge 7.5. Drenaj boru alanının 5 m ve 10 m kot düşürme işlemi sonrası kübaj hesapları miktarları.....	65
Çizelge 8.1. Yağış istasyonlarına ait veriler ve farklı tekerrür aralıklarındaki en uygun dağılım sonuçları (24 saat süreli yağış yinelemeleri).....	77
Çizelge 8.2. Yağış gözlem istasyonlarına ait farklı tekerrür aralıklarındaki yağış analizleri.....	79
Çizelge 8.3. DSİ Sentetik Yönteme göre hesap parametreleri ve sonuçları .....	80
Çizelge 8.4: DSİ Sentetik yöntemi taşkın tekerrür debi sonuçları ( $m^3/s$ ).....	80
Çizelge 8.5. Bartın istasyonuna ait plüvyograf katsayıları .....	81
Çizelge 8.6. Mockus yönteme göre hesap parametreleri ve sonuçları .....	82
Çizelge 8.7. Yağış Alan Dağılım Katsayısı sonuçları .....	83
Çizelge 8.8. Mockus yöntemi taşkın tekerrür debi sonuçları.....	83

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

cm	: Cantimetre
<i>m</i>	: Metre
<i>mm</i>	: Milimetre
<i>s</i>	: Saniye
<i>L</i>	: Litre
°C	: Santigrat derece
<i>psi</i>	: Pounds per squeue inch
<i>bar</i>	: Basınç
$m^3$	: Metreküp
<i>Q</i>	: Debi ( $m^3$ )
<i>W</i>	: İlgili kesitte akifer genişliği (m)
<i>K</i>	: Hidrolik İletkenlik (m/gün)
$h_1$	: Akifer doygun kalınlığı (m)
$h_2$	: Etki yarıçapndaki gözlem kuyusu doygun kalınlığı (m)
<i>L</i>	: Etki yarı çapı (m)

## KISALTMALAR

YB	: Yeraltı barajı
YASS	: Yeraltısuyu Seviyesi
AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
ASTM	: American Society for Testing and Materials
DSİ	: Devlet Su İşleri
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TL	: Türk lirası
GIS	: Geographical Information Systems
SB	: Zemin-Bentonit Bulamaç Duvarı
SCB	: Zemin-Çimento Bentonit Bulamaç Duvarı
CB	: Çimento-Bentonit Bulamaç Duvarı
EN	: European Norm
CN	: Toprak Eğiri Numarası
UV	: Ultra Viole
UTM	: Urchin Tracking Module
ITRF	: International Terrestrial Reference Fram
ED	: European Datum
YAD	: Yağış Alansal Dağılım
PLV	: Plüviyograf
HDPE	: High Density Polyethylene

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

#### 1.1. Çalışmanın Amacı

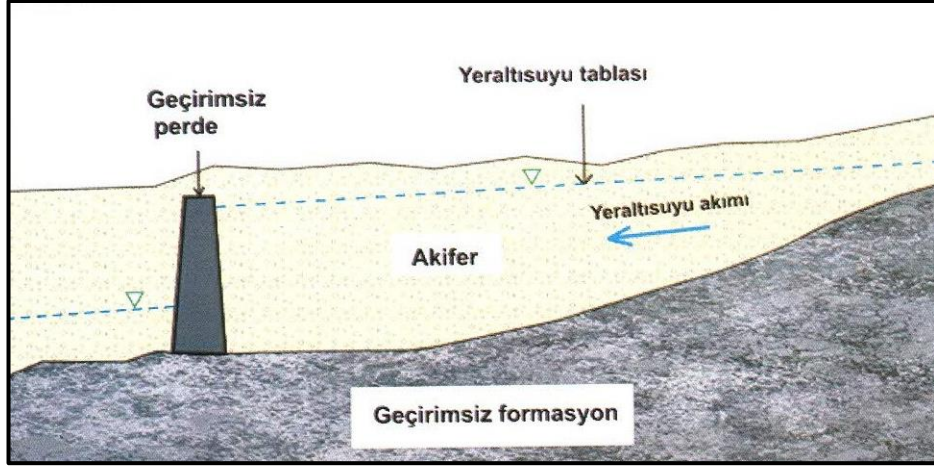
Bu tez kapsamında Bartın İl ve Amasra İlçe merkezlerinin içme ve kullanma suyu ihtiyaçlarını karşılayan Bahçecik (Ulupınar) Kaynağı'na takviye amacıyla inşa edilmiş Bartın Bahçecik Yeraltı Barajının mevcut Slurry-Trench gövde tercihine alternatif olarak özgün bir yaklaşım geosentetik/jeomembran gövde modeli önerilmiş ve her iki gövde tipi arasında maliyet anlamında kıyaslama yapılması ve mevcut projedeki su alma yapısı (drenaj boruları)'nın yerleştirilme derinliğinin artışına bağlı olarak alınabilecek su miktarının artışı hakkında hesaplamaların yapılması amaçlanmıştır. Ayrıca olası bir taşkın afeti esnasında taşkın yayılım alanlarını ve olası risklerini belirleyebilmek amacıyla Bahçecik Yeraltı Barajı aksına ulaşan Ovacuma Çayı'nın farklı tekerrür yıllarına ait taşkın debilerinin hesaplanması bu çalışmanın amaçları arasında bulunmaktadır.

Bu amaçlara ulaşabilmek için Slurry-Trench geçirimsizlik perdesi hacmi, derivasyon kanalı ve iletim/isale hattı kazı hacimleri, drenaj borularının yerleştirilmesi için kazı hacimleri ve drenaj boruları kotunun değişimden kaynaklı olarak oluşan kazı hacimleri değişimleri ve taşkın analizleri farklı bilgisayar yazılımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Drenaj borularının yerleştirilme derinliklerindeki artışa karşılık gelen Debi hesaplamaları ise Dupuit Eşitliği [1] kullanılarak hesaplanmıştır.

#### 1.2. Çalışmanın Kapsamı

İnsanlık tarihi boyunca giderek önemini arttıran su ve su kaynaklarının yönetimi; günümüzde de insanlığın en önemli konuları arasındadır. İnsan nüfusundaki artış ve tatlı su miktarındaki azalma sebebi ile suyun korunması, kullanılması ve yönetilmesi

önem arz etmektedir. Bu sebeple ülkemizde ve dünyada birçok çalışma yapılmakta; bu çalışmalar ile tatlı su kaynaklarının korunması sağlanmaktadır. Bu çalışmalardan biri olan “Yeraltı Barajları” önemli miktarda su depolama özelliğine sahip, yüksek porozite ve permeabiliteye sahip olan, akifer yapılarda inşa edilen, mühendislik yapılarıdır [2] Şekil 1.1’ de tipik bir yeraltı barajı modelinin kesiti düşey enkesiti verilmiştir.



Şekil 1.1. Tipik bir yeraltı barajı modeli [3].

Yeraltı barajlarının yapımında ön incelemeler ve yer seçimi, planlama ve projelendirme, inşaat ve işletme gibi aşamalar bulunmaktadır. Yer seçimi için öncelikle hidrojeolojik çalışmalar ve takiben jeofiziksel çalışmalar yapılmaktadır. Bunlarla birlikte yağış, havza hidrolojisi, akifer yapısı, beslenme koşulları ve gövde için malzeme durumu da göz önünde bulundurulmaktadır. Ön çalışmaların ardından gelen planlama ve projelendirme aşamaları; daha detaylı verilerin elde edilmesi, debi hesaplamaları, rezervuar hacmi belirlenmesi, gövde seçimi, malzeme etütlerinin yapılması, fizibilite çalışmaları, maliyet hesapları ve topografik haritalama çalışmalarından oluşmaktadır [2].

Gerekli çalışmaların ardından yapılmış olan gövde tipi seçimi inşaat aşamasının başlaması için önem arz etmektedir. Seçilen gövde tipine göre yöntem ve hesaplamalar yapılmaktadır. Yeraltı barajlarında gövde tipi doğal malzeme imkanları, akifer kalınlığı ve genişliği ile akifer formasyonun yapısına bağlı olarak değişebilmektedir. Alüvyon vadilerinde akiferin kalın ve geniş olması açık kazı yönteminin maliyetini artırdığından plastik beton perde vb. tekniklerin uygulanması tercih edilmektedir.

Ayrıca kaya ortamlarında enjeksiyon, plastik beton perde, bitişik kazı gibi yöntemler uygulanabilmektedir [2].

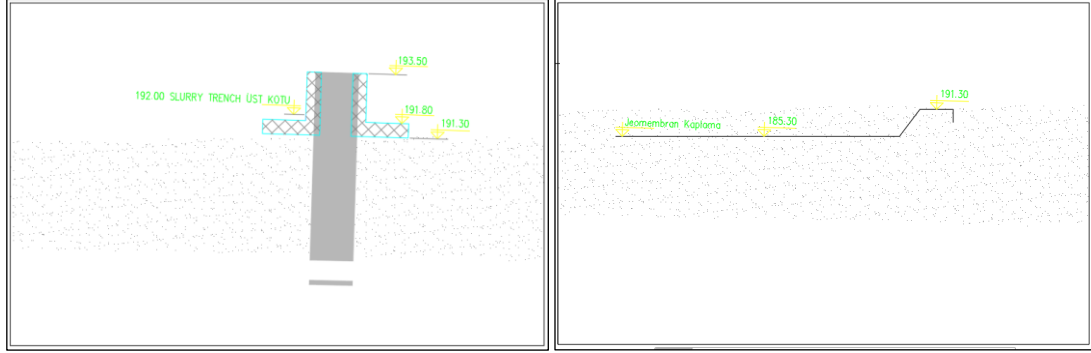
Gevşek zemin ve yumuşak kaya ortamlarında tercih edilen “plastik beton perde gövdelerinin” uygulaması ülkemizde de mevcut olup, kullanımının giderek artacağı ön görülmektedir. Bu gövde tipi; iş özelinde geliştirilmiş makinalar ile açılan çukurların, bentonit bazlı karışımlarla doldurularak geçirimsiz duvarlar elde edilmesi yöntemine dayanmaktadır. Bu yöntemle imal edilen geçirimsiz perdenin permeabilitesi  $10^{-6}$  cm/s'nin altına düşürülmesi hedeflenmektedir [2].

Mevcut gövde tiplerine ek olarak yeni gövde yöntemleri de geliştirilebilmektedir. Gövde yapımında diğer su yapılarında da kullanılmakta olan geosentetik/jeomembran malzemesinin kullanılması önerisi bu tez çalışmasının özgün bir yanını oluşturmaktadır. Amerikan Test ve Materyal Topluluğu (ASTM, American Society for Testing and Materials), yüksek yoğunluklu polietilen malzemedan üretilen jeomembran geoteknik mühendisliği ile ilgili insan yapısı bir proje, yapı ve sistemde, sıvı akımını kontrol altına alabilecek kadar düşük geçirgenlikte izole bariyer” olarak tanımlamaktadır (ASTM D7700).

Halihazırda Türkiyede; Bartın Bahçecik, Çorum İskilip, Elazığ Baskil, Yahşihan, Maliboğazı, Elmadağ Kargalı, Aşağı Olunlu, Bahşılı ve Sancar yeraltı barajları işletme halinde olup, Devlet Su İşlerinin yapımını planladığı ve yapımına başladığı birçok yeraltı barajı bulunmaktadır [2].

Bu tez çalışmasında, mevcut Bahçecik Yeraltı Barajında kullanılan Slurry-Trench yöntemi incelenmiş olup; doğal arazi şartlarına uygun olarak, son yıllarda çok farklı mühendislik uygulamalarında geçirimsizlik, elastiklik ve dayanım özellikleri nedeniyle, farklı amaçlarda kullanımı tercih edilerek yaygınlaşmış olan jeomembran malzemelerden gövde ve aynı malzemedan taban zemin kaplaması yöntemi özellikle özgün bir yaklaşım olarak sunulmuştur. Tez çalışmasında, Slurry-Trench yöntemine alternatif olarak, drenaj borularıyla yapılan su toplama alanında yatay serilen ve Slurry-Trench için seçilmiş eksen boyunca talveg seviyesine kadar yükseltelen jeomembran uygulanması planlanmıştır. Çalışmada talveg kotundan 6 m,

11 m ve 16 m derinde imal edilmek üzere 3 ayrı model çalışılmıştır. Yöntemler ve modeller özellikle maliyet boyutu açısından karşılaştırılmıştır. Bu tez kapsamında bir jeomembran model çalışması, gelecek yıllarda farklı bölgelerde yapılabilecek olan yeraltı barajlarında bir örnek teşkil etmesi açısından sunulmuştur.



Şekil 1.2. Mevcut baraj gövdesi ve önerilen geosentetik gövde (sol) ve taban kaplaması (sağ).



## BÖLÜM 2

### ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Nishigaki ve diğ. (2004), “Underground dam technology in some parts of the World” adlı çalışmalarında [4] hızla artan dünya nüfusu tarım, teknoloji ve değişen yaşam tarzıyla birlikte getirdiği su kıtlığı problemi için farklı tekniklerden bahsetmekte ve bu tekniklerden birisi olan yeraltı barajlarının bu problemin çözümünde öneri niteliği taşımakta olduğunu belirtmişlerdir.

Ishida ve diğ. (2011), “Sustainable use of groundwater with underground dams” adlı çalışmalarında [5] yeraltı barajlarının temel bilgilerini, yerüstü barajlarına göre avantajlarını, dünyadaki yeraltı barajlarının inşası ve sürdürülebilir yeraltısuyu hakkında bilgiler vermişlerdir. Ayrıca yeraltı barajlarının konumu nedeni ile doğal afetlerden daha az etkileniyor olması ve yüzey alanı inşa süresinden sonra tekrar kullanılıyor olması üzerinde durmuşlardır.

Apaydın (2014), “Yer seçiminden işletmeye; Yeraltı Barajları” adlı çalışmasında [2] yeraltı barajlarının, yeraltı su kaynaklarını arttırmak veya belirli bir bölgede depolamak amacıyla geliştirilen yapay teknikler olduğundan, bu tekniklerin vadi alüvyonları ve kaya ortamlarında yaygın olarak inşa edildiğinden, yeraltı barajları kırsal bölgelerdeki küçük yerleşimlerin içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılayabileceğinden, büyük boyutlu olanların ise daha kalabalık yerleşimlerin ve daha geniş arazilerin sulama suyu ihtiyacını karşılayabileceğinden bahsetmiştir. Ayrıca yeraltı barajlarından suyun cazibeyle veya pompajla alınabileceğinden, barajlarının yapım kararında depolanacak ve elde edilebilecek su miktarının tespitinin oldukça önemli olduğundan ve yer seçiminde hidrojeolojik, teknik ve ekonomik analizlerin gerekliliğinden bahsetmiştir.

Tunay ve Ateşoğlu (2004), “Bartın İli taşkın sahalarındaki değişimin uzaktan algılama verileriyle incelenmesi” adlı çalışmalarında [6], Bartın Çayını oluşturan iki ana dere

Kaynağı olan Kozcağız ve Ulus ayları'nın Landsat 5 TM uydu verileri kullanılarak her iki taşkın sahasının toplam değişim miktarlarını hesaplamışlardır. Ayrıca, zamanla meydana gelen değişimin boyutu dikkate alınarak derelerin ıslah edilmesi ve dere yatağını daraltan yapıların yapılmaması gerektiği ifade edilmiştir.

Ojha ve diğ. (2015), "Current and Future Challenges in Groundwater. I: Modeling and Management of Resources" adlı çalışmalarında [7], akiferlerdeki kuraklık tehlikesinin uzun vadeli sonuçlarını incelenmektedirler. Ayrıca çalışmada, iklim değişikliğinin yeraltısularındaki potansiyel etkilerini ve yeraltısularının yönetilmesi konularına değinilmektedir.

Jaafar (2014), "Feasibility of groundwater recharge dam projects in arid environments" adlı çalışmasında [8], kurak ve yarı kurak bölgelerde CBS sistemlerinden alınan yağış, akım, rezarvuvar hacmi ve bölge jeoloji verileri kullanılarak barajların maliyet analizleri incelenmektedir. Ayrıca seksenden fazla barajla ilgili yapılan çalışma sonucunda yatırım kararı verilmeden önce yıllık maliyet/karşılana su talebi oranının önemine dikkat edilmesi gerektiği ifade edilmektedir.

Chezgi ve diğ. (2016), "Assessment of a spatial multi-criteria evaluation to site selection underground dams in the Alborz Province, Iran" adlı çalışmalarında [9], İran'ın Elbruz şehrinde yeraltı barajlarının seçimindeki jeolojik ve hidrojeolojik etkenler değerlendirilmiştir. Ayrıca SMCE algoritması kullanılarak çalışma sahasında 31 muhtemel yer tespiti yapılmış olup sonrasında saha araştırmaları sonucunda yapımın mümkün olduğu vadiler belirlenmiştir. Belirlenen vadiler rezervuar alanı ve sosyo-ekonomik kriterlere göre sınıflanarak çalışmada belirtilmiştir.

Karaoğulları ve diğ., (1977), "Alüvyonda bulamaç hendeği (Slurry-Trench) yöntemiyle sızdırmazlık perdesi yapımı ve Aslantaş Barajındaki uygulaması" adlı çalışmalarında [10], bulamaç hendeği yöntemiyle yapılan sızdırmazlık perdesi incelenmektedir. Ayrıca bu yöntemin Aslantaş Barajında ki uygulaması da bu çalışmanın kapsamında değerlendirilmiştir.

Önder ve Yılmaz (2005), “A Tool of Sustainable Development and Management of Groundwater Resources” adlı çalışmalarında [11] yeraltı barajlarında kullanılan gövde tipleri tartışılmış ve performans analizleri yapılmıştır. Ayrıca iki örnek çalışmayla yeraltı barajlarının, akiferlerdeki depolamayı önemli ölçüde arttırdığını ifade etmişlerdir.

## BÖLÜM 3

### MATERYAL VE METOT

Son yıllarda yapılan çalışmalarda dünya çapında kuraklık artışının hızla yükseldiği gözlemlenmiştir. Bunun için birçok önlem alınmakla birlikte, yeraltı barajları da bu kapsamda inşa edilmeye başlanmıştır. Bu tez kapsamında öncelikle Bartın Bahçecik Yeraltı Barajının mevcut gövde tipi olan ve çok fazla örneği bulunmayan Slurry-Trench gövde inşaatı ve derivasyon kanalı, drenaj boru kazı alanı ve iletim hattı gibi diğer mühendislik proje aşamaları hakkında bilgiler verilmiş ve bu tezin ana amaçlarından birini oluşturan Bahçecik Yeraltı Barajının mevcut gövde tipi yerine, 6 m, 11 m, ve 16 m olmak üzere farklı derinliklerde jeomembran bir gövde tipi inşaat edilmesi durumundaki maliyet kıyaslaması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca gövde derinliğiyle uyumlu olarak su alma yapısı olarak kullanılan drenaj borularının yerleştirilme derinliklerindeki değişimlerin etkisiyle baraj akiferinden alınabilecek su miktarındaki artış hesaplanarak, kazı derinliğindeki artışından kaynaklanan kot düşmesine bağlı olarak, cazibe ile iletimi sağlayacak şekilde tasarlanan iletim/ısale hattındaki uzunluk artışı hakkında da bilgiler verilmiştir. Kazı derinliğindeki artışından kaynaklanan ek kazı maliyetleri maliyet hesaplamalarına eklenmiştir. Nihai aşamada ise taşkın yayılım alanı ve olasılı riskleri saptamak amacıyla taşkın anında baraj aksına gelebilecek taşkın debi hesapları yapılmıştır.

Mevcut halinde jeolojik özellikler, arazi özellikleri ve ergonomiklik açısından Bahçecik Yeraltı Barajının gövde tipi Kastamonu DSİ 23 Bölge Müdürlüğü tarafından Slurry-Trench (Bulamaç Hendeği-Plastik Beton) olarak gerçekleştirilmiştir. Bu tez kapsamında bir yaklaşım olarak, drenaj borularının yerleştirildiği (mevcut 6 m) ve yerleştirilmesi önerilen (11 m ve 16 m) derinliklerinde jeomembran bir gövde tipi önerilmiş ve uygulanması durumunda, maksimum 26 metre olarak inşa edilmiş mevcut gövde tipi ile maliyet, avantaj ve dezavantajları açısından kıyaslanarak ilerideki yıllarda benzer arazi şartlarında yapılabilecek başka yeraltı barajı inşaatları için bir

fikir oluşturması amaçlanmıştır. Proje, gövde ve drenaj boruları yerleştirilecek alanın yüzeyden itibaren talvegden 6 m, 11 m ve 16 metre derinde olacak şekilde tamamen kazılacak ve kazı yapılmış alana drenaj borularının yerleştirilmesi öncesinde, drenaj alanının tabanını tamamen kaplayacak ve köşelerinden soketlenecek şekilde jeomembranların serilmesi şeklinde tasarlanmıştır. Su toplaması için yapılmış kazı alanında döşenen jeomembran eksene kadar uzatılarak eksen boyunca talvege kadar yükseltilip 1,5 m mansap tarafta kret kotunda zemine soketlenecektir. Böylece gövdeden ve drenaj borularının tabanından geçirimsizlik oluşturularak ve suyun elde edilmesi hedeflenmektedir.

Jeomembran serili alanda depolanan su drenaj boruları yardımıyla, gövde yakınlarında oluşturulacak su alma yapısıyla (kaptaj, havalandırma borusu vb) isale hattına verilecektir. Uygulanacak olan jeomembranlar füzyon ve ekstrüzyon kaynakları ile birleştirilecek olup, sızdırmazlık testi için; füzyon kaynağında hava testi, ekstrüzyon kaynağında vakum testi tercih edilecektir. Yapılmış olan kaynakların dayanımları da kayma gerilmesi ve sıyrılma direnci açısında kaynak öncesinde ve sonrasında incelenecektir. Tamamlanan jeomembran kaplaması işleminden sonra tamamen yer altında kalacak jeomembran yüzey herhangi bir dış etkiye maruz kalmayacağı için güvene alınmış olunacaktır. Drenaj borusu kazı derinliğı artışından kaynaklanan kot azalması nedeniyle, herhangi bir pompaj işlemine gerek kalmadan cazibe ile iletimin sağlanabilmesi için oluşacak isale/iletim hattı uzunluğu da ayrıca hesaplanmıştır.

Hem mevcut proje ile bu tez kapsamında önerilen gövde tipi ve drenaj ek kazı maliyetlerin karşılaştırılmasında kullanılacak olmasından dolayı, hem de mühendislik özelliklerinin sunulabilmesi açısından, H3GEN yazılımı yardımıyla mevcut Slurry-Trench geçirimsizlik perdesi hacmi, derivasyon kanalı ve iletim/isale hattı kazı hacimleri, drenaj borularının yerleştirilmesi için kazı hacimleri hesaplanmıştır. Drenaj boruları kazı derinliğinin değişimine bağlı olarak alınabilecek su miktarının artışı hakkında değerlendirmeler ise Dupuit yöntemi [1] kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca taşkın yayılım alanlarının ve olası risklerinin belirlenebilmesi amacıyla akımı baraj aksına ulaşan ve baraj akiferinin beslenmesinde katkısı olan Ovacuma ayı'nın farklı tekerrür yıllarına ait taşkın döneminde gelebilecek debi miktarları NetCAD yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Taşkın analizinde kıyaslama yapabilmek

amacıyla literatürde en çok kullanılan DSİ Sentetik ve Mokus yöntemleri tercih edilmiştir.

Bu bölümde tez kapsamında yararlanılan eşitlikler ve yazılımlar ve yöntemler hakkında bilgiler verilmiştir.

### 3.1. Dupuit Denklemi

Doygun kalınlığın çeşitli faktörler sonucunda değişiminden kaynaklı olarak, serbest akiferlerde dengeli rejimde akiferden alınabilecek su miktarının hesaplanmasında tercih edilen Dupuit denklemi temelde yeraltısuyu akiferinin homojen, izotrop ve yatay tabanlı sonsuz genişlikte olduğu kabulüne dayanmaktadır. Ayrıca yeraltısuyu akımında herhangi bir düşey kesit boyunca hızın aynı olduğu, başka bir ifadeyle bir düşey boyunca hız dağılımının üniform olduğu kabul edilmektedir. Eşitlik 3.1’de bu yaklaşım verilmiştir [1].

$$Q = (W * K * (h_2^2 - h_1^2)) / (2 * d) \quad (3.1)$$

Q: Debi (m<sup>3</sup>)

W: İlgili kesitte akifer genişliği (m)

K: Hidrolik İletkenlik (m/gün)

$h_1$ : Akifer doygun kalınlığı (m)

$h_2$ : Etki yarıçapındaki gözlem kuyusu doygun kalınlığı (m)

d: Etki yarı çapı (m)

### 3.2. Çalışma Kapsamında Kullanılan Bilgisayar Yazılımları

Bu çalışmada; kübaj hesapları H3GEN yazılımı yardımıyla, havza modellenmesi, yağış analizi ve taşkın analizleri ise NetCAD yazılımı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.1. H3GEN

H3GEN Yazılım 2021 yılında kurulmuş olup yerli kaynaklarla yüksek teknoloji altyapılı CAD ve mühendislik yazılımları üretmektedir. Yazılımlar üretilirken tasarım, inşaat ve bakım süreçlerindeki planlama, projelendirme, kontrol, iş sonu projeleri ve imalat gibi mühendislik proseslerinin özel ihtiyaçlarına odaklanılmaktadır. Kullanıcı ihtiyaçları ve istekleri sektörün içinden gelen uzmanlarca analiz edilerek, işi üretenin yönetebileceği esnek ve sürekli gelişen bir yazılım olup, aynı anda 2D/3D çalışabilmektedir. 3D analizler için üçgen oluşturma, üçgenleri düzenleme gibi tüm yüzey işlemleri H3GEN CAD içerisinde konumlandırılmıştır. Bu platform üzerine KorGEN ve HidroGEN adında 2 farklı modülü bulunmaktadır. HidroGEN ile TAUDEM algoritmasında havzalar modellenilebilmekte, KorGEN ürünü ile ise baraj, gölet, taşkın koruma tesisleri, regülatör, derivasyon kanalları, boru hatları gibi güzergâh ve koridor içeren tüm mühendislik projelerinde; kesitleri üretme, tip kesitleri tasarlama, tüm kesitler üzerinde; kazı, şev, kot, birbirine bağlama gibi birçok işlemin yapılabildiği kesit yönetme işlemleri ve kübajları hesaplamaları gibi işlemleri gerçekleştirebilmektedir [12].

### 3.2.2. NetCAD

“Anamodül” ve “Netsurf” uygulamaları, proje oluşturma süreçlerinde gerekli olan aşamaları kapsamakta, temel harita ve projeksiyon bilgisi, proje parametrelerinin oluşturulması, coğrafi referanslama, veri üretimi, görüntüleme, düzenleme ve sorgu işlemleri, mevzuatlara uygun harita ve proje üretimi, paftalama ve çıktı işlemleri, yüzey analizlerinin iki ve üç boyutlu olarak oluşturulması, gerçekleştirilmesi süreçlerini içermektedir [13].

“Nethydro” modülü, drenaj/su toplama alanlarını (havzaları) ve bu alanlara ait drenaj ağlarını oluşturan yani havza modelleyen; yağış analizlerini farklı olasılık dağılım fonksiyon tiplerine göre gerçekleştiren; birim hidrograflara göre pik debileri ve farklı tekerrür yıllarına göre taşkın debilerini hesaplayan bir modüldür. Bu tez çalışmasında taşkın analizi için Anamodül, Netsurf ve Nethydro modüllerinden yararlanılmıştır [13].

Nethydro havzaları ve akış kollarını modellemek için yalnızca sayısal arazi modeli yeterli olmakta ve ana havzaları, havzaları, alt havzaları ve her bir havzayı oluşturan drenaj ağlarını modellenebilmektedir. Nethydro, sayısal arazi modeli üzerinde akışı engelleyen alanlardaki düzeltmeleri, D8 akım modeline göre akış yönlerini oluşturmayı ve her bir koldaki kümülatif akım değerlerini hesaplamayı otomatik olarak gerçekleştirmektedir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) yapısında oluşturulan ana havza, havza, alt havza ve bu havzalara ait akış kolu katmanlarında taşkın debisi hesapları için gerekli tüm parametreleri de otomatik olarak hesaplanarak veri tabanındaki ilgili kolonlara yazılmakta; her bir havzanın alan büyüklüğü, ağırlık merkezi; her bir akış kolunun uzunluğu, harmonik eğim değeri, havzanın ağırlık merkezinden akış koluna olan iz düşümünün mansap noktasına olan mesafe değerleri vb. debi hesabına girdi olan parametreler, modelleme sırasında kullanılmaktadır [13].

Nethydro, Meteoroloji Genel Müdürlüğüne ait Türkiye'de kurduğu tüm yağış istasyonlarının lokasyon ve en az 15 yıllık ölçüm bilgilerini içermekte, "Yağış Analizlerini" Simirnov-Kolmogorov güvenilirlik testi ile otomatik olarak gerçekleştirmekte ve böylece taşkın debisi hesaplamalarında yapmış olduğu olasılık dağılım fonksiyonlarından en uygun dağılım tipini de önermektedir. 24 saatlik yağış analizleri için istasyon verileri ile gerçekleştirilen yıllara göre yağış analiz sonuçları; otomatik hesaplanan "Yağış Alanı Dağılım Katsayısı"; havzaya en fazla etki eden istasyonun "Pülüviyograf Katsayısı" ve "Maksimize Faktör" değerleri ve "Eğri Numarası" parametresi ile birlikte akış değerinin hesaplamalarında kullanılmaktadır [13].

Netyhydro, "Mockus", "Snyder", "Rasyonel", "Sentetik" ve "DSİ Sentetik" yöntemlerine göre birim hidrograf pik debi hesaplamalarını otomatik olarak gerçekleştirmekte; saptanan birim hidrograf pik debi değeri, yağış hesaplamaları sonrası hesaplanan akış değeri ile çarpılarak farklı tekerrür yıllarına göre "Taşkın Debisi" hesaplamaları otomatik olarak gerçekleştirilebilmektedir [13].



### 3.3. Taşkın Analizinde Kullanılan Yöntemler

#### 3.3.1. DSİ Sentetik Yöntemi

Bu yöntem ile taşkın debisi hesaplanırken drenaj alanları 10 km<sup>2</sup>'den 1000 km<sup>2</sup>'ye kadar olan havzalarda tercih edilmelidir. DSİ Sentetik Yöntemine göre taşkın debisi hesabı yapılırken yağışın şiddeti ve süresi, havzanın bitki örtüsüne bağlı olarak yağışın akışa geçebildiği miktarı ve yağış havzasının topoğrafyası dikkate alınmaktadır. Bu yöntemde sağanak süresi 2 saat olarak kullanılmaktadır. Taşkın debisi Eşitlik 3.2 ile hesaplanabilmektedir [14–16].

$$Q = A * q_p * h_{akış} * 10^{-3} \quad (3.2)$$

Q : Taşkın debisi (m<sup>3</sup>/s)

A : Yağış havza alanı (km<sup>2</sup>)

q<sub>p</sub> : 1 mm'lik akış oluşturduğu varsayılan debi (L/s/mm/km<sup>2</sup>)

h<sub>akış</sub> : artık akış yüksekliği (mm)

DSİ Sentetik Yöntemi, Birim Hidrograf Yöntemi olarak da bilinmekte ve birim hidrografa göre artık akışın neden olacağı debi 1 mm'lik akıştan bulunan debinin h<sub>akış</sub> katı olduğu için “A \* q<sub>p</sub> \* h<sub>akış</sub>” değeri taşkın debisini vermektedir [14–16].

Ana akarsu kolunun uzunluğu L olmak üzere topografik haritalar üzerinde havza alanı ağırlık merkezinin akarsu üzerindeki izdüşüm mesafesinden mansaba kadar olan mesafesi (L<sub>c</sub>) bulunabilmektedir. Eşitlik 3.3'de verilen denklemden havza alanı, ana akarsu kolu uzunluğu ve harmonik eğime bağlı olarak görelî bir debi hesaplanabilmektedir [14–16].

$$q_p = 414/[A^{0.225}(L * L_c/S^{0.5})^{0.16}] \quad (3.3)$$

1 mm akış için debi Eşitlik 3.4 kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$Q_p = A * q_p * 10^{-3} \quad (3.4)$$

Birim hacim Eşitlik 3.5 bağıntısı kullanılarak saptanabilmekte ve alan  $\text{km}^2$  cinsinden,  $h_a$ :1mm, hacim ise  $\text{m}^3$  cinsinden ifade edilmektedir [17, 18].

$$V_b = A * h_a * 10^3 \quad (3.5)$$

Saat olarak hesaplanan Birim hidrograf süresi (T) Eşitlik 3.6 yardımıyla bulunup, çıkan sonuç saniye cinsine dönüştürülmelidir [17, 18].

$$T = 3,65 * \frac{V}{Q} \quad (3.6)$$

Pik debiye ulaşma süresi ( $T_p$ ) saat cinsinden olup Eşitlik 3.7 kullanılarak saptanabilmektedir [17, 18].

$$T_p = T/5 \quad (3.7)$$

Boyutsuz birim hidrograf koordinatlarından  $T/T_p$  değerleri  $T_p$  değeri ile çarpılarak T süresi,  $Q/Q_p$  değerleri ise  $Q_p$  değeri ile çarpılarak Q debileri hesaplanabilmektedir. Bulunan T süreleri ve Q debileri yardımıyla taşkın hidrografı oluşturulmaktadır [14–16].

### 3.3.2. Mockus Yöntemi

Bu yöntemin drenaj alanı 1-10  $\text{km}^2$  olan havzalarda kullanılması ve ayrıca toplanma süresi ( $T_c$  30) saate kadar olan havzalara uygulanması önerilmektedir. İşlemlerinin kolay olması nedeniyle daha fazla tercih edilmektedir. Suların toplanma zamanına karşılık gelen yağış süresi (D) süperpozesiz durumda Eşitlik 3.8 ile, süperpozeli durumda Eşitlik 3.9 ile hesaplanabilmektedir [17, 18].

$$D = 2\sqrt{T_c} \quad (3.8)$$

$$D = T_c \quad (3.9)$$

$T_c$ ,  $L$  ve  $S'$ 'e bağılı olarak Eşitlik 3.10 yardımıyla hesaplanabilmektedir[19] .

$$T_c = 0,00032(L^{0.77}/S^{0.385}) \quad (3.10)$$

Hidrografın yükselme süresi ( $T_p$ ), toplanma süresi ve toplanma süresine karşılık gelen yağış süresine bağılı olarak Eşitlik 3.11 ile hesaplanabilmektedir [20].

$$T_p = 0,5D + 0,6T_c \quad (3.11)$$

Hidrografın alçalma süresi ( $T_r$ ) Eşitlik 3.12 yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$T_r = 1,67 * T_p \quad (3.12)$$

Hidrografın taban süresi ( $T_s$ ) ise hidrografın yükselme zamanı ile alçalma zamanının toplamıdır (Eşitlik 3.13).

$$T_s = T_r + T_p \quad (3.13)$$

1 mm'lik yağışın oluşturduğu debi Eşitlik 3.14 bağıntısı yardımıyla hesaplanabilmektedir [20].

$$q_p = K * A/T_p \quad (3.14)$$

$K$ ; havza katsayısı olup, hem 0,208 için hemde 0,163 için hesaplamalar yapılmıştır [13].  $A$ , havza alanı ( $\text{km}^2$ ) değerini ifade etmektedir.

$h_{akış}$ , artık yağış yüksekliği olup mm cinsinden belirtilmekte (Eşitlik 3.15). ve eşitlikteki  $P$  değeri farklı tekerrür sürelerine ait en büyük yağış miktarını göstermektedir [18, 19].

$$h_{akış} = (P - 0,2S')^2/(P + 0,8S') \quad (3.15)$$

S' zeminin cinsi ve başlangıç nemine bağlı olup Toprak Eğri Numarası (CN) kullanılarak Eşitlik 3.16 yardımıyla saptanabilmektedir [18, 20].

$$S' = \left( \left( \frac{1000}{CN} \right) - 10 \right) * 25,4 \quad (3.16)$$

Toprak eğri numarası (CN) zeminin jeolojik özellikleri, arazi örtüsü ve arazi kullanımına bağlı olarak Çizelge 3.1'ten elde edilebilmektedir [14, 21–23].

Son olarak taşkın debisi (Q) Eşitlik 3.17 bağıntısı yardımıyla hesaplanabilmektedir.,

$$Q = h_{akış} * q_p \quad (3.17)$$

Çizelge 3.1. Toprak eğri numaraları (CN) [14, 21–24].

Arazinin Kullanım Şekli		A	B	C	D
Etkili Alanlar	Korunmalı	72	81	88	91
	Korunmasız	62	71	78	81
Otlak	Kötü Durumda	68	79	86	89
	İyi Durumda	39	61	74	80
Çayır		30	58	71	78
Orman	Zayıf	45	66	77	83
	İyi	25	55	70	77
Açık Yerler (Parklar,Çim)	İyi Durumda	39	61	74	80
	Kötü Durumda	49	69	79	84
Ticaret ve İş Bölgeleri		89	92	94	95
Endüstri Bölgeleri		81	88	91	93
Oturma Bölgeleri	%65'i geçirimsiz	77	85	90	92
	%38'i geçirimsiz	61	75	83	87
Oturma Bölgeleri	%30'u geçirimsiz	57	72	81	86
	%25'i geçirimsiz	54	70	80	85
Oturma Bölgeleri	%20'i geçirimsiz	51	68	79	84
Kapalı Otoparklar, Çatı		98	98	98	98
Yollar	Kaplamalı	98	98	98	98
	Çakıl	76	85	89	91
	Toprak	72	82	87	89

## BÖLÜM 4

### BARAJLAR

#### 4.1. Yerüstü Barajları

Genel olarak uygun jeolojik ve topografik özellikleri olan bölgelerde akarsu önünün kesilmesi ile inşa edilen mühendislik yapılarına baraj denilmektedir. Suyun ıslahı ve kontrolü amacıyla yapılıp; enerji elde etme, içme ve sulama suyu ihtiyacını karşılama, taşkından korunma, yangın kontrolü, iç su yolu oluşturma, havza düzenlenmesi, katı madde kontrolü, mesire yeri oluşturulması ve su ürünleri üretimi gibi amaçlarda inşa edilmektedirler (Şekil 4.1). Genel olarak barajlar; gövde, dip savak, dolu savak, batardolar, enerji tünelleri ve santral binaları yapılarından oluşmaktadırlar. Barajlar; Beton Barajlar (beton ağırlık barajı, beton kemer barajlar, payandalı beton barajlar) ve Dolgu Barajlar (kaya dolgu barajlar, homojen toprak dolgu barajlar, zonlu toprak ve kaya dolgu barajlar) olarak da sınıflandırılabilir Halihazırda ülkemizde 861 adet yerüstü barajı bulunmaktadır [25].



Şekil 4.1. Keban Barajı [25].



#### **4.2.1. Yeraltı Barajlarının Avantajları ve Dezavantajları**

##### **Avantajları [2];**

1. Yeraltı barajlarının rezervuarları yer altında olduğu için yerüstü barajlarında ortaya çıkan arazi kayıpları ve kamulaştırma problemleri gözlenmemektedir.
2. Deprem ve taşkın gibi doğal afetler sonucu gövde sorunları yaşanma riski daha az olduğu için daha güvenlidir.
3. İnşaat ve işletme aşamaları pratik ve daha ekonomiktir.
4. Yerüstü barajlarında görülen sediment birikimi olmadığı için, bu problemlerden kaynaklı maliyetler yeraltı barajlarında söz konusu değildir.
5. Kapalı bir rezervuar alanlarına sahip olduğu için buharlaşmadan kaynaklı su kayıpları çok azdır.
6. Yerüstü barajlarına göre kirletilmesi daha zor yapılardır. Vadoz zonda yer alan litoloji filtre görevi görebilmektedir.
7. Yeraltı barajlarında dolu savak ihtiyacı olmayıp, taşkın dönemlerinde gövde üzerinde taşkın savakları inşa edilmektedir [2]

##### **Dezavantajları [2];**

1. Yeraltı barajlarında yerüstü barajlarına göre depolanacak su miktarının ve debinin saptanması daha zor olup, haritalamasında bazı güçlükler oluşmaktadır.
2. Yeraltı barajları daha az miktarda su depolayabilmektedir.
3. Cazibeli iletim için kotların yetmediği bazı bölgelerde su almak için pompaj maliyeti gerekmektedir.
4. Yeraltı barajlarında baraj gövdesinin yeraltında olmasından dolayı, olası bir kaçığın tespiti daha zor olabilmekte ve dolayısıyla maliyet bir miktar artabilmektedir.
5. Yeraltı barajı rezervuarında yeraltı suyunun zemin seviyesine yakın olması durumunda bazı bataklık oluşumları ve buharlaşma sonucu tuzlanma ihtimalleri bulunmaktadır.



#### **4.2.2. Yeraltı Barajlarında Suyun Elde Edilmesi ve Projelendirilmesi**

Yeraltı barajları vadi alüvyonlarında veya sahil akiferlerinde inşa edilmektedir. Vadilerde inşa edilen yeraltı barajlarından genellikle cazibe ile yararlanmak mümkündür. Bununla birlikte daha derin gövdeli ve enjeksiyonla veya fore kazık benzeri yöntemlerle inşa edilenlerden pompajla su almak gerekebilmektedir [2].

Yeraltındaki gözenekli jeolojik yapıya sahip olan alanlarda inşa edilen yeraltı barajları özel mühendislik tasarımları gerektirmektedir. Yeraltı barajlarında her inşaat projesinde olduğu gibi yer seçimi ilk adım olup, oldukça önem arz etmektedir. Bu süreçte öncelikle ihtiyaç belirlenmekte, hidrojeolojik değerlendirmeler yapılmakta ve kapsamlı jeolojik çalışmalar ve topografik haritalamalar gerçekleştirilmektedir. Bu çalışma ve kararlarda, ekonomik ve çevresel faktörler önemli bir belirleyici olmaktadır. Yer seçiminin ardından başlayan proje çalışmaları akifer üzerinde yoğunlaşmaktadır. Akifer depolanması ve akiferden alınabilecek su miktarı projelendirmede en önemli aşamayı oluşturmaktadır [2].

#### **4.2.3. Yeraltı Barajlarında Gövde Tipleri**

Yeraltı barajlarında gövde tiplerinin belirlenmesi mevcut akifer litolojisi, baraj inşası için gerekli doğal malzeme imkanları ve diğer jeolojik yapıya göre değişebilmektedir. Baraj gövdelerinin geçirimsizliğini sağlayabilmek oldukça önemli olup bu nedenle doğru yöntemin seçilmesi gerekmektedir. Gövde tipi seçiminde akiferin kalınlığı, yanal devamlılığı ve hidrolik iletkenlik, transmissivite gibi akiferin hidrolik karakteristikleri en önemli parametreler arasındadır. Gövde tiplerine örnek olarak;

- a. Dolgu Tipi Gövde,
- b. Jet Kolon Gövde,
- c. Slurry-Trench (Plastik Beton- Bulamaç Hendeği) Gövde ve
- d. Yerinde Karışım Gövde verilebilir.

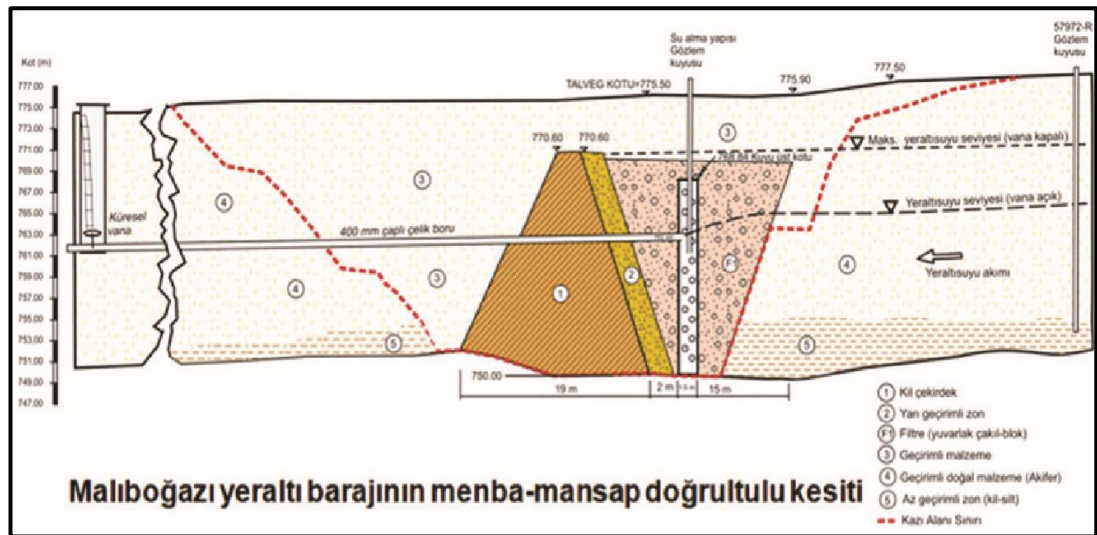
Slurry-Trench yönteminde kepçe benzeri kazıcısı olan özel iş makineleri ile yapılan kazı çukura özel çimento malzemesi dökülmekte ve zemini sıkılaştırılmakta ve geçirimsizlik sağlanmaktadır. Bu yöntem genellikle gevşek zeminlerde ve yumuşak

kaya ortamlarında etkin olarak uygulanabilmektedir ve oluşturulan geçirimsiz perdenin permeabilitesi  $10^{-6}$  cm/s'nin altına düşürülmektedir [2].

#### 4.2.4. Yeraltı Barajları Proje Örnekleri

##### 4.2.4.1 Maliboğazı Yeraltı Barajı

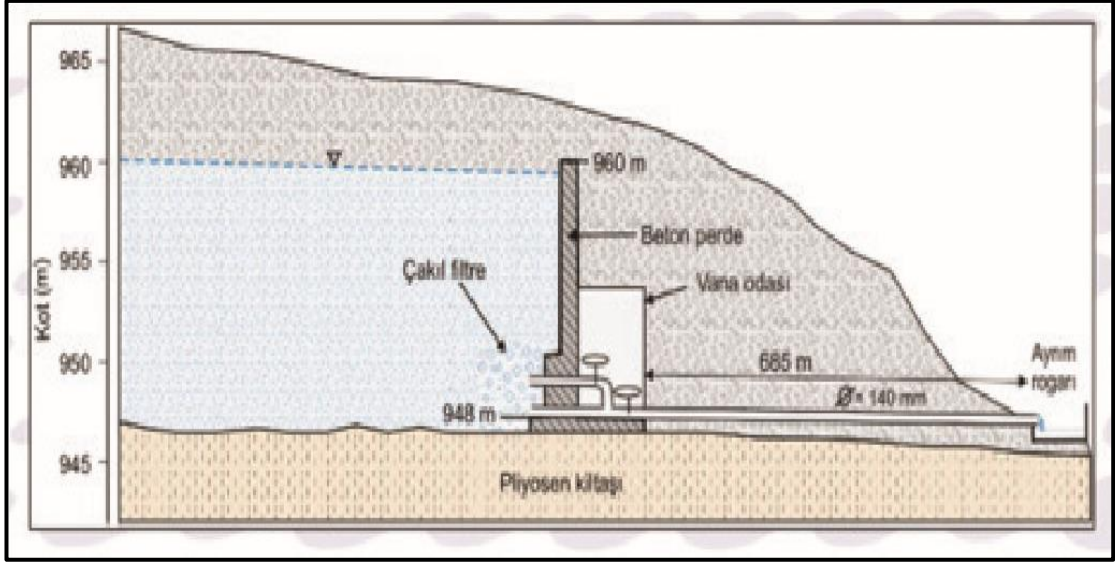
2004 yılında, Kalecik-Kızılırmak Vadi Sulamaları Projesi kapsamında, 500 dekar araziye cazibeli olarak sulamak amacıyla inşa edilen barajın (Şekil 4.3) maliyeti yaklaşık olarak 4 Milyon TL civarındadır [26].



Şekil 4.3. Maliboğazı yeraltı barajının menba-mansap doğrultulu kesiti [27].

##### 4.2.4.2 Kırıkkale-Keskin Aşağı Olunlu Yeraltı Barajı

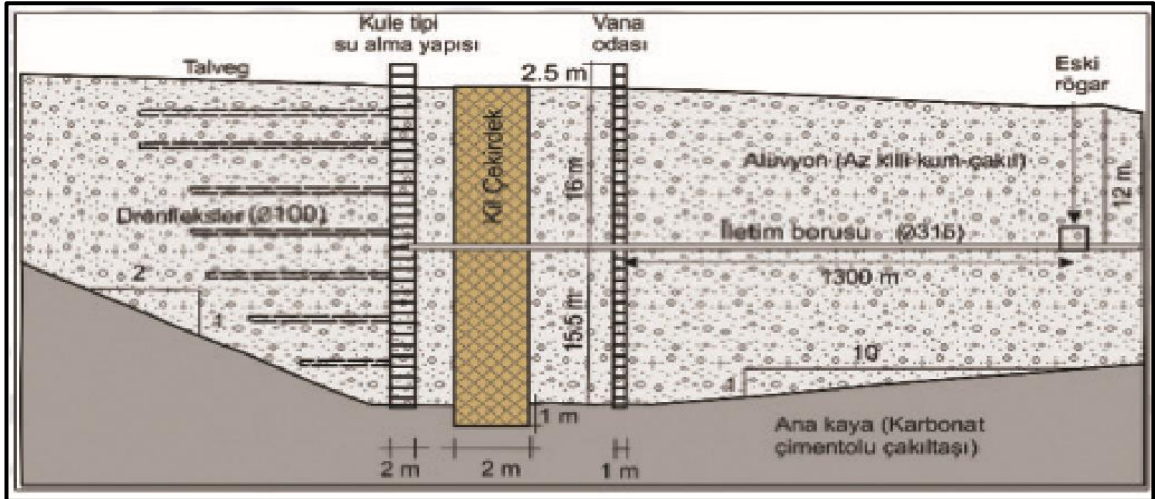
Şekil 4.4' üzerinde 2005 yılında Çamurabatmaz, Takazlı, Göçbeyli ve Büyükceceli köylerinin içmesuyu ihtiyacını cazibeli olarak karşılamak amacıyla Aşağı Olunlu köyü güneyinde betonarme gövde tipinde inşa edilmiş olan baraj kesiti verilmiştir [26].



Şekil 4.4. Kırıkkale-Keskin Aşağı Olumlu Yeraltı Barajı modeli [26].

#### 4.2.4.3 Elazığ Baskil Yeraltı Barajı

Baraj, 2010 yılında Hardi Çayı üzerine kil çekirdekli toprak dolgu tipinde inşa edilerek 200 L/s debili sulama suyu elde edilmesi için inşa edilmiştir [26].



Şekil 4.5. Elazığ Baskil Yeraltı Barajı modeli [26].

#### 4.2.4.4 Çorum İskilip Yeraltı Barajı

2010 yılında, İskilip İlçesinin içme suyu ihtiyacını karşılamak amacıyla 13 m gövde yüksekliğinde inşa edilen barajdan cazibeli sistem ile 30 L/s su alınmaktadır [8]. Baraj yaklaşık olarak 2 Milyon TL harcanarak inşa edilmiştir (Şekil 4.6) [26].



Şekil 4.6. Çorum İskilip Yeraltı Barajı yapım aşaması [2].

#### 4.2.4.5 Fukuzato Yeraltı Barajı- Miyakojima Adası / JAPONYA

Şekil 4.7’de Fukuzato Yeraltı Barajı’na yer verilmiştir. Bu baraj deniz suyu girişimini engellemek ve yeraltısuyunu depolamak amacıyla, yeraltısuyununun bir yeraltı duvarı ile geçirimsizlik perdesi oluşturulup, 85 adet kuyu vasıtasıyla pompalanarak tarım arazilerinin sulanması sağlanmak amacıyla inşa edilmiştir [28].



Şekil 4.7 Fukuzato Yeraltı Barajı [28].

#### 4.2.5. Mevzuatlar ve Teknik Şartnameler

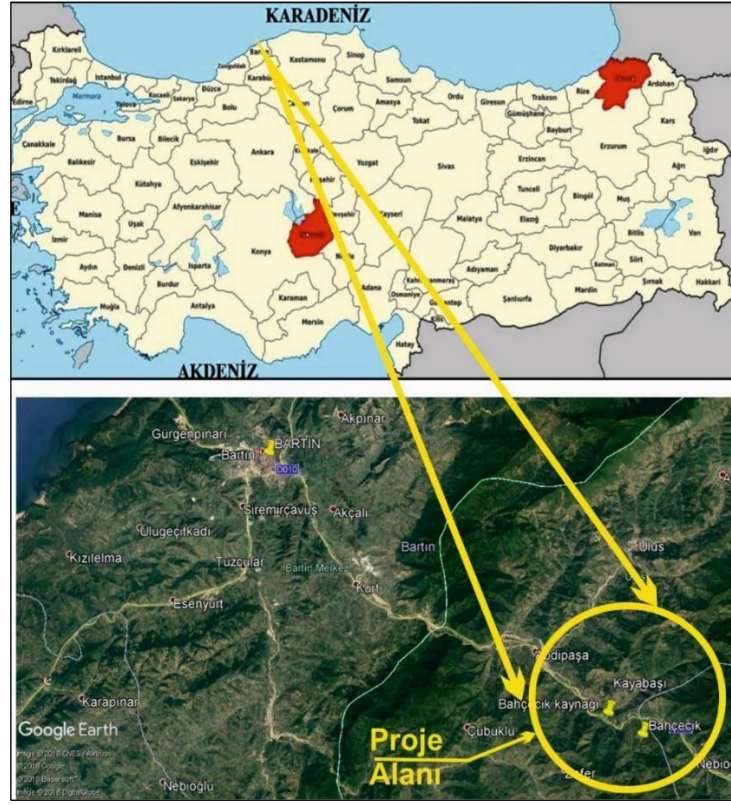
Türkiye’de yeraltı barajlarına yönelik doğrudan bir mevzuat olmayıp, yasal boyutlar için aşağıdaki yönetmelik, kanun ve şartnameler referans alınabilmektedir.

- \* DSİ Yeraltı Suları Teknik Yönetmeliği [29] .
- \* Yeraltı Suları Hakkında Kanun (3331) 167 Numaralı [30].
- \* T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Bulamaç Hendeği (Slurry-Trench) Teknik Şartnamesi [31].

## BÖLÜM 5

### BARTIN ULUS BAHÇECİK YERALTI BARAJI

Bartın Ulus Bahçecik Yeraltı Barajı Slurry-Trench gövde tipinde 2020 yılı Ekim ayında yapımına başlanmış, rezervuarında depolanabilecek su miktarı 212.000 m<sup>3</sup>, Türkiye'nin örnek teşkil edecek bir yeraltı barajlarından [32]. Bahçecik Yeraltı Barajı başlıca; baraj gövdesi, drenaj alanı, isale hattı ve derivasyon kanalından oluşmaktadır. Bartın Bahçecik Yeraltı Barajı; Bartın ve Amasra merkezinin içme ve kullanma su ihtiyacının karşılandığı Bahçecik (Ulupınar) Kaynağının membasın da bulunmaktadır. Bahçecik Kaynağı, Bartın İli sınırları içerisinde ve Bartın–Karabük yolunun 35. Km sinde ve Ovacuma Çayı'nın sol sahilinde yer almaktadır [33]. Bahçecik Yeraltı Barajı Bahçecik Kaynağının karasız akıma sahip olmasından dolayı [34], Bartın ve Amasra su ihtiyacının yetersiz kaldığı durumlarda takviye su sağlama amacıyla inşa edilmiştir. 2013-2016 yılları arasında yapılan ölçümlere göre Bahçecik Kaynağının debisi (isale hariç) 40 L/s ile 3699 L/s arasında değişmektedir [33]. Şekil 5.1 Bahçecik Yeraltı Barajı yer bulduru haritasını göstermekte olup, Şekil 5.2 ise uydu görüntüsü üzerinde proje alanı ve elemanlarını göstermektedir.



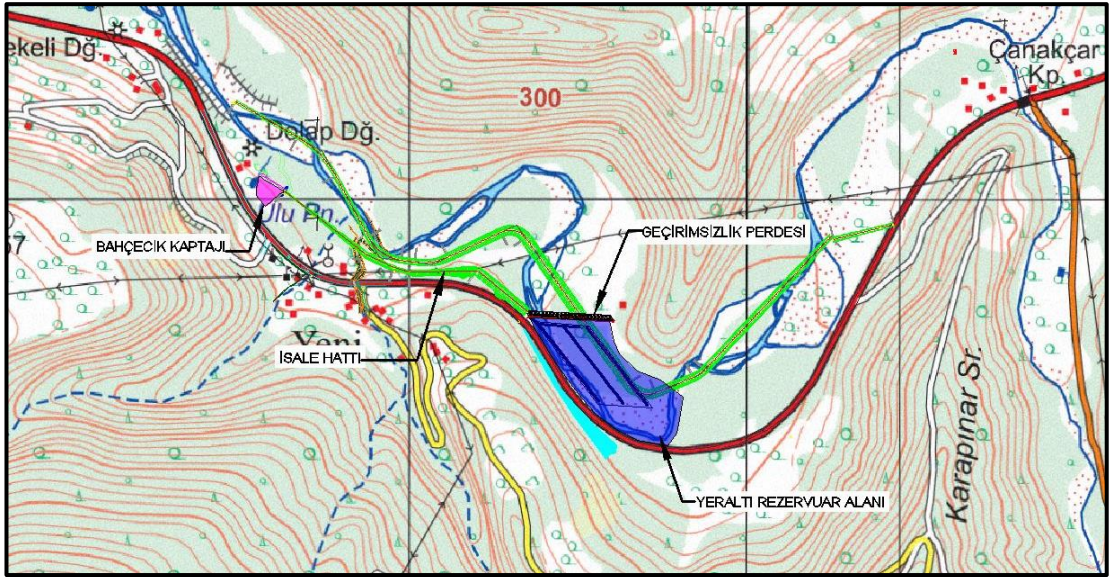
Şekil 5.1. Bartın Bahçecik Yeraltı Barajı yer bulduru haritası [21].



Şekil 5.2. Bahçecik Yeraltı Barajı uydur görüntüsü üzerine proje aşamalarının konumları [32].



Şekil 5.3. Bahçecik Yeraltı Barajı inşaat aşaması [33].



Şekil 5.4. Bahçecik Yeraltı Barajının topografik konumu [35].



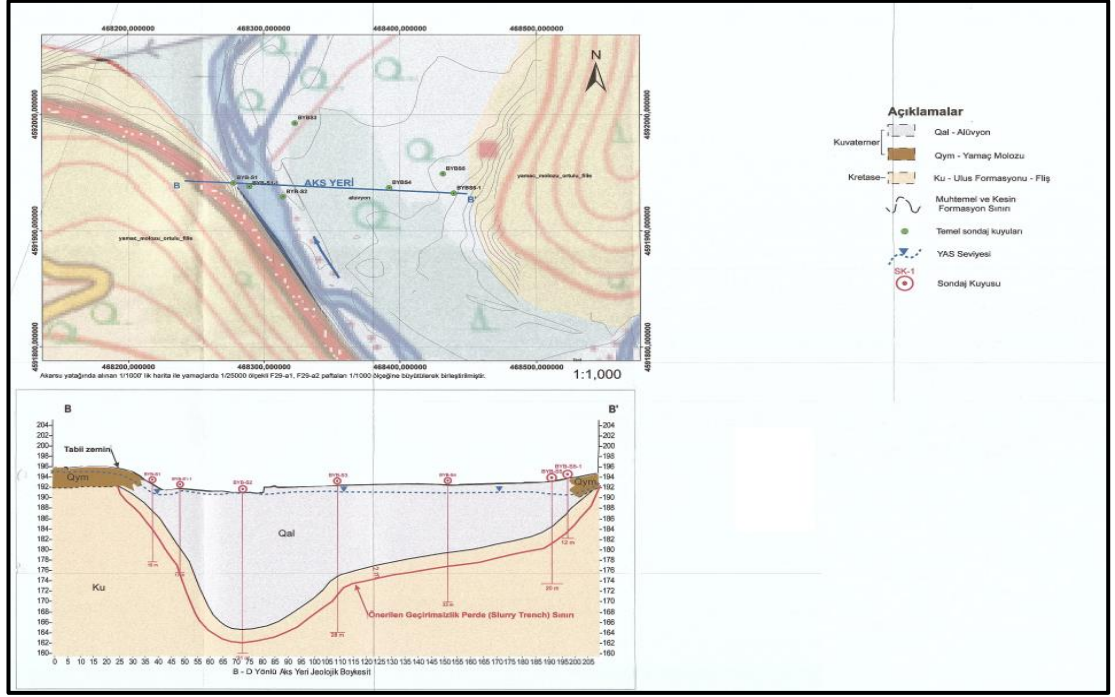
## 5.1. Jeolojik Yapı

Bartın Bahçecik Yeraltı Barajı kapsamında aks yeri ve rezervuar alanında 12 farklı lokasyonda toplam 113 m temel araştırma sondaj kuyusu açılmıştır. Kuyularda, belirlenen derinliklerde permeabilite ve basınçlı su deneyleri yapılmış ve Çizelge 5.1’de verilmiştir. Ayrıca kuyularda yeraltısuyu seviyesi belirlenmesi amacıyla da ölçümler yapılmıştır [32].

Çizelge 5.1. Temel sondaj bilgileri [32].

Kuyu no	Yeri	X	Y	Derinlik (m)	Kot (m)	YASS (m)
<b>BYB-S1</b>	Aks yeri	468277	4591941	15	192,05	1,15
<b>BYB-S1-1</b>	Aks yeri	468289	4591938	17	191,69	0,1
<b>BYB-S2</b>	Aks yeri	468314	4591929	31	191,58	0,1
<b>BYB-S3</b>	Aks yeri	468322	4591992	28	191,62	1,2
<b>BYB-S4</b>	Aks yeri	468392	4591936	23	192,78	1,6
<b>BYB-S5</b>	Aks yeri	468431	4591948	20	193,41	2,4
<b>BYB-S5/1</b>	Aks yeri	468439	4591932	12	194,58	2,6
<b>BYB-S6</b>	Rezervuar alanı	468730	4591804	30	197,81	2,5
<b>BYB-S7</b>	Rezervuar alanı	468756	4591859	23	197,87	1,5
<b>BYB-S8</b>	Rezervuar alanı	468775	4591932	30	197,86	1,2
<b>BYB-S9</b>	Rezervuar alanı	468896	4592098	28	200,95	1,2
<b>BYB-S10</b>	Rezervuar alanı	468848	4592201	25	201,57	0,5

Bartın Bahçecik Yeraltı Barajı ve çevresinde Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ve yamaç molozları ile Ulus Formasyonu’na ait Kretase yaşlı fliş serileri gözlenmektedir (Şekil 5.5). Alüvyonların kalınlığı baraj aksında 5,00 m ile 25,80 m arasında değişirken, rezervuar alanında ise 18,50 m ile 23,50 m arasında değişmektedir. Ana kayayı oluşturan fliş serileri ise kıltaşı-silttaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Genel olarak alüvyonlar geçirimli ve çok geçirimli, fliş serileri ise geçirimsiz ve az geçirimlidir [32].



Şekil 5.5. Bahçecik yeraltı barajı B-B' jeoloji kesiti [33].

Ayrıca Bahçecik Kaynağı ve çevresinde 6 adet toplam 135 m temel sondaj ve 27'şer metre derinliğinde 2 adet su sondajı açılmıştır [32]. Su sondajları (Şekil 5.6, Şekil 5.7) esnasında su seviyesi değişimi, tuzluluk, sıcaklık ve bulanıklılık ölçümleri online olarak veri takip sistemi vasıtasıyla takip edilebilecek sistem kurulmuştur (Şekil 5.8.). Su sondajlarında yapılan pompa testleri sonuçlarına göre hidrolik iletkenlik (K) değerleri 14,8 m/gün ve 86,9 m/gün arasında, iletimlilik (T) değerleri ise 217,6 m<sup>2</sup>/gün ve 1113,4 m<sup>2</sup>/gün arasında değişmektedir. Yeraltı barajı temel sondajlarında yapılan sızma testi sonuçlarına göre ise K değerleri  $1,7 \times 10^{-4} - 7,8 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$  arasında değişmektedir. Ayrıca çalışma sahasında ve Ovacuma Çayı'nın farklı lokasyonlarında yapılan arazi deneyleri (Şekil 5.7) sonucunda depolama katsayısının (S) 0,07 olabileceği hesaplanmıştır [32].



Şekil 5.6. Sondaj çalışmaları [36].



Şekil 5.7. Karot örnekleri [36].



Şekil 5.8. 46403 nolu su kuyusundaki online ölçüm istasyonu [36].

## 5.2. Su Kimyası

Bartın ve Amasra merkezlerinin içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılayan Bahçecik (Ulupınar) Kaynağı'nın geliştirilmesi projesi kapsamında 2018 yılında kaynaktan ve Ovacuma Çayından ve 2020 yılında baraj aksı yüzey suyundan su kimyası analizi için örnekler alınmış ve analiz sonuçları Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'de verilmiştir. Analizler DSİ 23. Bölge Müdürlüğü laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Suların EC değerleri  $385 \mu\text{S}/\text{cm} - 552 \mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değişmektedir ve sular içme suyu standartlarını sağlamaktadırlar [32].

Çizelge 5.2. Çalışma alanındaki suların kimyasal analiz sonuçları [32].

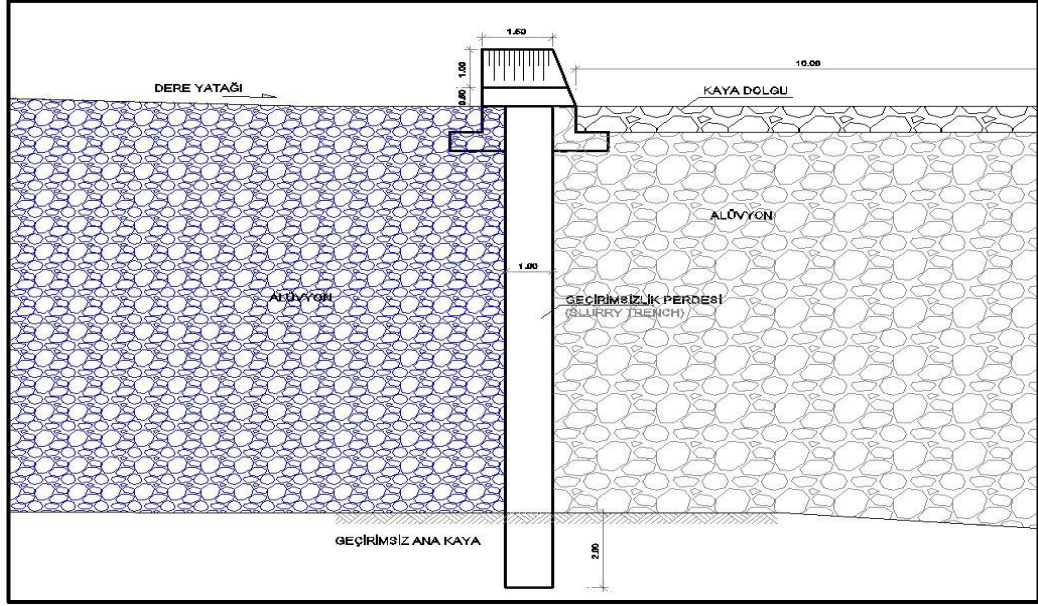
Adı	Tarih	pH	EC	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Toplam Sertlik
													(mg/l CaCO <sub>3</sub> )
			µS/cm	(mg/l)									
64566 (P1) Kuyusu	12.10.2018	7,72	385	1,810	7,43	0,87	60,04	4,6	3,54	19,4	0	204,35	169,27
64567 (P2) Kuyusu	12.10.2018	7,2	552	1,024	6,14	0,94	97,86	9,2	3,23	22,2	0	317,81	282,98
Ovacuma Çayı	12.10.2018	7,67	479	N.D.	9,24	1,55	71,71	12,48	3,26	27,9	0	275,72	231,28
Baraj Aksı	20.02.2020	8,34	468	0,991	7,37	1,36	73,85	10,5	3,35	23,14	3	266,57	228,38

Çizelge 5.3. Çalışma alanındaki suların iz element analiz sonuçları [32].

Adı	Pb	Zn	Cr	Mn	Fe	Cu	Cd	Co	Ni	Al	Hg	As	Mo	Se	B
64566 (P1) Kuyusu	3,6	34,44	2,04	98,92	805,8	36,13	<0,40	0,7	17,84	267,2	<0,01	1,56	0,87	<0,20	0,06
64567 (P2) Kuyusu	<0,60	11,66	1,56	60,85	421	13,32	<0,40	<0,40	6,28	115,8	<0,01	0,48	<0,20	0,31	0,05
Ovacuma Çayı	<0,60	<2,00	<0,60	4,93	93,67	5,36	<0,40	<0,40	1,06	12,51	<0,01	0,20	<0,20	<0,20	0,06

### 5.3. Bartın Yeraltı Barajı Slurry-Trench Gövde (Plastik Beton- Bulamaç Hendeği)

Belirli aralıklarla açılan ve ana kayaya kadar inilen panolar, atlamalı olarak içinin kil-su-çimento karışımı bulamaç ile doldurulmasına Bulamaç Hendeği Yöntemi adı verilmektedir. Bu işlemle istenilen derinliklere inilebilmektedir. Bulamacın uygulanabilirliğini ve kullanılacak bağlayıcı çeşidini zemin geçirimsizliği belirlemektedir. Bulamaç Hendeği Yöntemiyle yapılan geçirimsizlik perdelerinde genellikle taşıyıcı özellik aranmamaktadır ve amaç; esnek geçirimsiz bariyerler ile yeraltısuyunun akışını kesmektir [37].



Şekil 5.9. Bahçecik Yeraltı Barajının Slurry-Trench gövdenin tip kesiti [13].

Şekil 5.9’de düşey enkesitinde verilen Slurry Trench (Bulamaç Hendeği) metodu ile yapılan geçirimsizlik perdeleri, su veya diğer akışkanların yatay akışını engellemek amacı ile oluşturulan, yapısal olmayan yer altı duvarlarıdır. Slurry (Bulamaç) adı verilen viskoz bir stabilite sağlayıcı akışkan vasıtası ile inşa edilmektedirler [37].



Şekil 5.10. Bahçecik Yeraltı Barajı’nın Slurry Trench gövdenin başlık betonu.

Slurry Trench yöntemiyle farklı duvarlar üretilebilmektedir (Şekil 5.10). Bunlar [37];

1. Bulamaç Duvarlar (Yerinde Çökme Yöntemi): Dünyada en yaygın geçirimsiz duvar uygulamalarından birisi olup bulamacın birleşenlerinden olan bentonit geçirimsizlik özelliğini sağlamaktadır. (Bentonit: geçirimsizliği çok düşük bir kil türü olup belirli oranlarda toprak ya da çimento ile karıştırılarak geçirimsizlik duvarı yapımında kullanılabilir).

Tipik Bulamaç Duvar Çeşitleri;

\* Zemin-Bentonit Bulamaç Duvarı (SB)

\* Zemin-Çimento Bentonit Bulamaç Duvarı (SCB)

\* Çimento-Bentonit Bulamaç Duvarı (CB)

2. Plastik Beton Duvarlar

3. Diyafram Duvarlar

### **5.3.1. Makina / Ekipman**

Bulamaç Hendeği metodunda kullanılan başlıca ekipmanlar;

**Bentonit Bulamaç Tesisi;** Bentonit bulamaç malzemenin karıştırılması, pompalanması, depolanması ve yeniden kullanılabilir hale getirilmesi işlemi bu tesislerde yapılmaktadır. Bu tesis; mikser (30 m<sup>3</sup>/s kapasiteli), transfer pompaları (150 m<sup>3</sup>/s kapasiteli), depolama tankları (günlük kullanımın 2 katı kapasiteli), kompresörler, desander, aktarım boruları, silo, test ekipmanlarından oluşmaktadır [37].

**Kazıcı Ekipmanlar;** Grab ve hidrofrezze tercih edilebilir. Hidrofrezze, düşey yönlü hareket eden sert zeminlerde kazı amaçlı kullanılan döner aksanlı iş makinalarıdır. Grab ise istenilen derinlikte kazı yapabilecek, hidrolik paletli, Kelly adı verilen teleskobik kol ve grab adlı kovanın kapanır-açılır çenesiyle zeminden dışarı malzeme alınması esaslı çalışan bir iş makinesidir (Şekil 5.11) [37].



Şekil 5.11. Grab kazı makinası.

**Servis Vinci;** tremi borularının montajı, dolgu materyalinin yükleme-boşaltma işlemleri gibi işlerde kullanılmak üzere temin edilen paletli vinçtir [37].

**Yardımcı Ekipmanlar;** tremi boruları, kaynak makinaları, trans mikserler ve beton pompaları, loderler ve kamyonlardır [37].

### 5.3.2. Malzeme/Bileşen

**Slurry Trench gövdelerde kullanılan karışım;** destekleyici akışkan, çimento, dolgu malzemesi ve kum malzemelerinden oluşmaktadır. Destekleyici akışkanın içerisindeki bentonit tepkimeye girmeyen, saflığı bozulmamış; doğal Na-bentonit ya da Wyoming sodyum montmorillonit olmalıdır. Viskozitesi, akışkanlık kaybı ve akma değeri istenilen değerleri sağlamalıdır. İçerisindeki su temiz, pH, sertlik ve çözünmüş toprak gibi değerleri sağlayan yapıda olmalıdır [37]. Kullanılan çimento TS EN 197 ye uygun olmalıdır.



Çizelge 5.4. Bentonit süspansiyonlarının özellikleri (EN 1538).

Özellikler	Kullanım safhaları		
	Taze	Tekrar kullanım için hazır	Betonlamadan önce
Birim Hacim Kütlesi (g/ml)	<1,10	<1,25	<1,15
Marsh değeri (s)	32 – 50	32 – 60	32 – 50
Akışkan Kaybı (ml)	<30	<50	-
pH	7 – 11	7 – 12	-
Kum Muhtevası (%)	-	-	<4
Filtre Keki (mm)	<3	<6	-
(- Dikkate alınmaz)			

**Hazırlanan dolgu malzeme;** gerekli işlenebilirlik ve dayanım ile birlikte gerekli şekil değiştirme ve geçirimsizliği de elde ederek tasarlanmış şekilde olmalıdır. Test edildikten sonra kullanılmalıdır [37].

**İlk bulamaç karışımı;** Suyun birim hacim ağırlığı başına minimum %5,5 bentonit ve 1,025 g/cm<sup>3</sup> birim hacim ağırlığı olmalıdır. 20 °C de 12,5 cps den daha az viskozitesi olmamalıdır. Filkray kaybı 100 psi basınç altında 30 dakikada 20 cc den fazla olmamalıdır. Yoğunluk ve viskozite arttırmak gerekirse bentonit ilavesi yapılabilir [37].

**Hendek içerisindeki bulamaç;** Birim hacim ağırlığı 1,02 g/cm<sup>3</sup> den büyük olmalıdır (tercihen 1,36 g/cm<sup>3</sup>). Dolgunun birim hacim ağırlığından en az 0,24 g/cm<sup>3</sup> daha az birim hacim ağırlığına sahip olmalıdır. Filkray kaybı 100 psi basınç altında 30 dakikada 30 cc den fazla olmamalıdır. 20 °C de 15 cps den daha az viskozitesi olmamalıdır. Kum yüzdesi %15-20 den az olmalıdır [37].

### 5.3.3. Uygulama

Slurry Trench geçirimsizlik duvarları; proje gereklilikleri doğrultusunda tayin edilen kısımlardan oluşmakta olup; kullanılacak olan ekipmanlar da bu doğrultuda seçilmektedir. Her bir kısım için;

1. Bulamaç ile kazı yapılır.
2. Kazı içindeki bulamaç temizlenir.

### 3. Dolgu karışımı yerleştirilir.

İstenilen geçirimsizlik özelliklerinin sağlanabilmesi için her bir kısım birbirini kesecek şekilde imal edilmektedir. Her kısmın genişlik, derinlik ve birbirini kesme miktarı projeye göre belirlenmektedir. Öncelikle çalışmanın yapılacağı bölgede bir platform oluşturularak iş makinelerinin ve kamyonların kullanımına verilmektedir. Ardından kazıcı ekipmana (Şekil 5.11) yardımcı olması, duvarın doğrultusunu ve düşeyliğini sağlamak, kazı içerisine yerleştirilen donatıyı korumak, dolgu malzemelerini desteklemek amacıyla betonarme kılavuz duvarlar oluşturulmaktadır [37].



Şekil 5.12. Slurry-Trench gövde yapım çalışması [33].

Kazı çalışması, ekipmanın tek seferde alabildiği uzunluğun 1-3 katı uzunluğunda kısımlar oluşturularak başlanılmakta ve destekleyici akışkandaki bentonit seviyesine ve kılavuz duvar temel kotuna dikkat edilerek yapılmaktadır. Kazı esnasında bentonit karışımın; birim hacim kütle, viskozite, pH ve kum yüzdesi değerleri sürekli kontrol edilmesi gerekmektedir. Bulamaç ile plastik beton dolgunun değişiminde, önce; bentonit karışımın bir yandan kazıya verilip bir yandan alınması şeklinde temizleme

gerçekleştirilmektedir. Betonlama işlemi betonlama borusu (tremie) ile yapılmakta olup; plastik beton, destekleyici akışkanın hemen altına dökülmesi gerekmektedir. Betonlama borusu temiz, geçirimsiz ve dolgu karışımının içerisine 3 m dalmış şekilde kullanılmaktadır (Şekil 5.12).

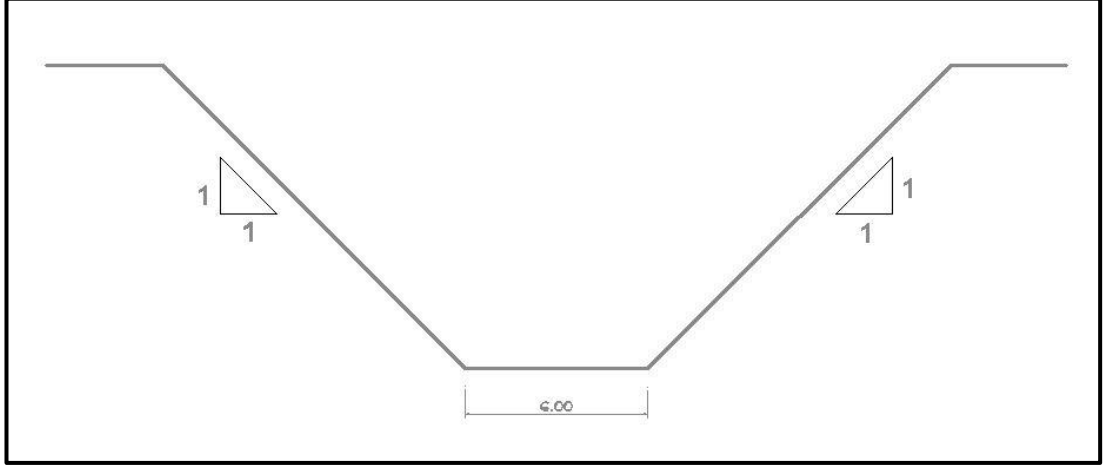


Şekil 5.13. Tremie ile döküm yapıma işlemi [33].

#### 5.4. Derivasyon Kanalı

Yapılacak imalatları sudan uzak tutabilmek için inşa edilen yapılardır. İlk kademede düşük kotlarda inşa edilip suyun yönü değiştirilmektedir. İnşaat tamamlandıktan sonra kanal tekrar kapatılmaktadır. Derivasyon kanalı 0,50 m kalınlığında taş malzeme ile

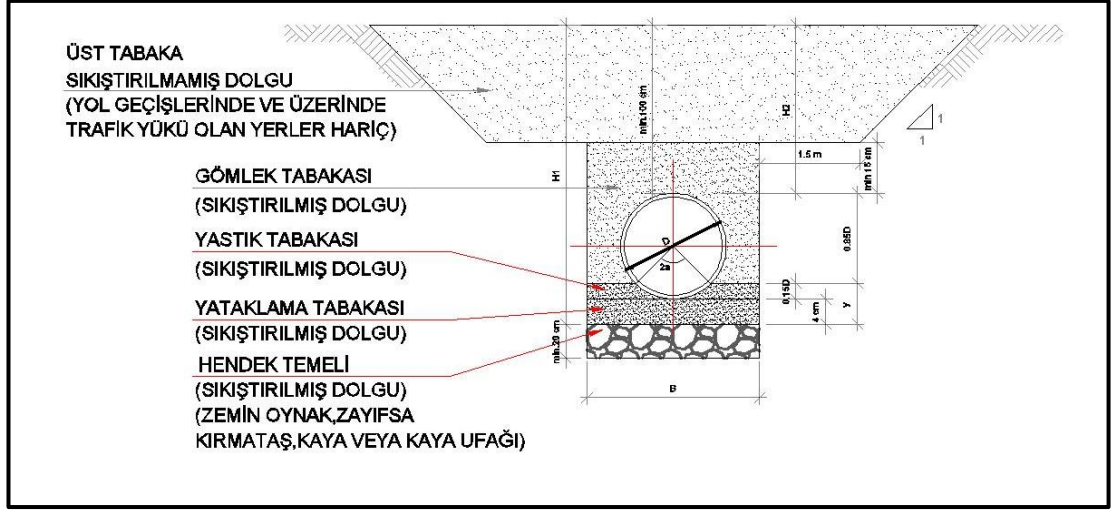
yapılmakta olup; 1963,55 m uzunluğundadır. Hattın 0-820 m aralığında %-1,45 eğim, 820-1963 m aralığında %-0,26 eğim bulunmaktadır. Hat 195 m kotundan başlayıp 180,87 kotunda bitmektedir.



Şekil 5.14. Drenaj kanalı tip kesiti [35].

### 5.5. İsale Hattı

Drenaj boruları yardımıyla toplanan su geçirimsizlik perdesi yanında inşa edilecek su alma yapısı (kaptaj/havalandırma bacası)'nda toplanmaktadır. Toplanan sular 700 mm çaplı HDPE boru ile Bahçecik Kaynağına aktarılmaktadır. İsale hattı toplam uzunluğu geçirimsizlik perdesi mansabında inşa edilmiş olan kaptaj yapısından itibaren 574,33 m'dir. Bu hat 187,73 m kotundan başlayıp, %-0,445 eğim ile 183,44 m kotundaki Bahçecik Kaptajına ulaşmaktadır.



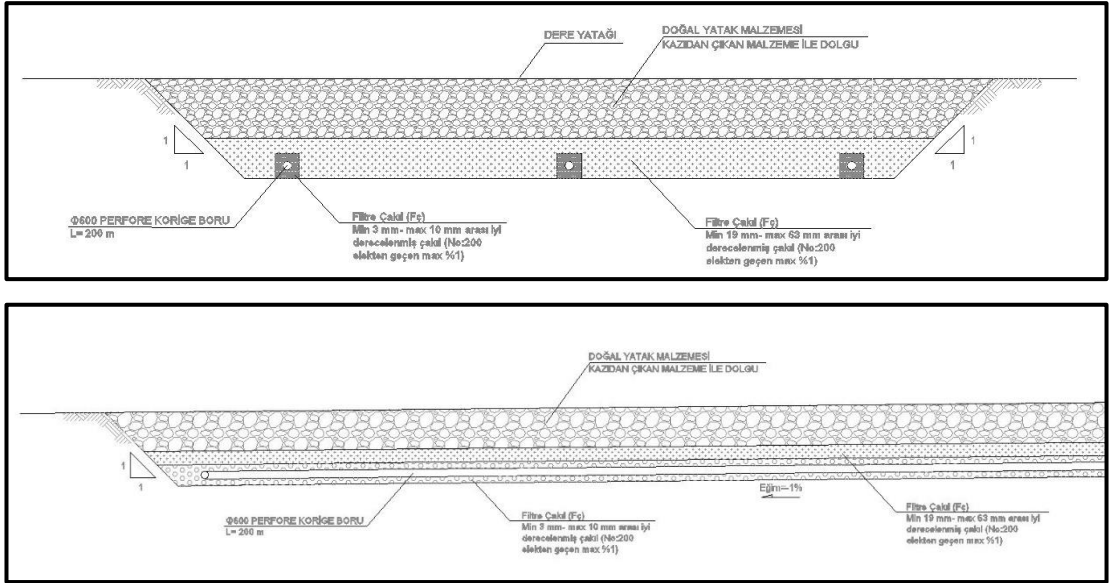
Şekil 5.15. İsale hattı boru tip kesiti [32].

## 5.6. Su Alma Yapıları (Drenaj Boruları)

Geçirimsizlik perdesinin membasın da toplanacak olan suyu, temiz ve kullanılabilir bir şekilde alabilmek için yapılmaktadır. Proje alanında geçirimsizlik perdesinden membaya doğru 328 m uzunluğunda ve 80 m genişliğinde alanda 6 m kazı yapılarak 3 adet 600 mm çapında drenaj borusu tabana yerleştirilmiştir (Şekil 5.17). Boruların çevresi geosentetik/jeomembran malzeme ile sarılmış ve boruların üzerine kum filtre ve çakıl filtre yerleştirilmiştir. Borular yerleştirildikten sonra kazı alanı tekrar dere yatağı kotuna kadar kazı malzemesi ile doldurulmuştur (Şekil 5.16). İnşaat sonunda imalatlar gözükmemektedir [35, 36].



Şekil 5.16. Drenaj borularının yerleştirileceği alan [35].



Şekil 5.17. Drenaj hattı tip kesitleri [32].

## BÖLÜM 6

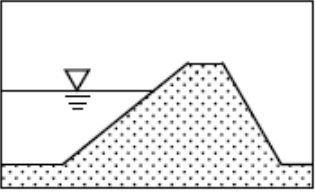
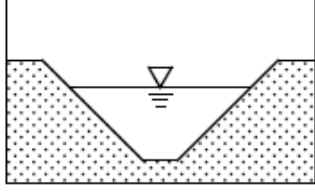
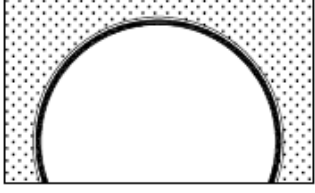
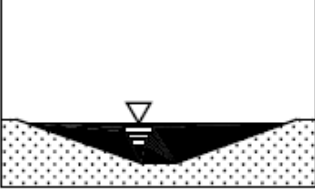
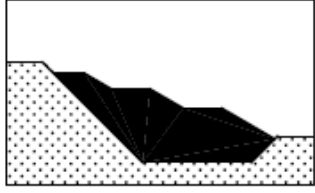

### GEOSENTETİK GÖVDE

Gerek ülkemizde gerek dünyada giderek kullanım alanı artan geosentetik malzemeler DSİ teknik şartnamelerinde de kendine yer bulmuştur. Geosentetik malzemeler dediğimizde aklımıza ilk başta jeomembran, geotekstil, jeonet ve GCL gelmektedir. Bunların içerisinde en çok kullanılanı jeomembrandır [38]. DSİ jeomembranı “Geoteknik ve inşaat mühendisliği uygulamalarında yapı içerisine sıvı geçişini azaltmak veya önlemek amacıyla kullanılan düşük geçirimli geosentetik malzeme (TS EN ISO 10318)” olarak tanımlanmaktadır. ASTM de ise Jeomembran; “İnsan yapısı bir proje, yapı ve sistemde sıvı akımını kontrol altına alabilecek kadar düşük geçirgenlikte asfalt, polimer ve bunların karışımından mamul sürekli membran tipi kaplama ve izole bariyeri” olarak tanımlanır [39].

#### 6.1. HDPE Jeomembranların Kullanım Alanları

Jeomembran malzemeler genel olarak; madencilik, petrol sahaları, tüneller, göletler, sulama kanalları, baraj ve su tutma havuzları, su tankları, çökeltme havuzları, bina temel bohçalamaları, içilebilir su için kaplama malzemesi olarak, su depoları için kaplama malzemesi olarak, sıvı atıklar için kaplama malzemesi olarak, radyoaktif ve tehlikeli sıvı atıklar için kaplama malzemesi olarak, yeraltı depolama tankları için ikincil kaplama malzemesi olarak, tuzlu su çözeltileri için kaplama malzemesi olarak, su kanalları için kaplama malzemesi olarak, çeşitli atık su kanalları için kaplama malzemesi olarak, katı atık sahaları için kaplama malzemesi olarak, zonlu dolgu barajların içindeki sızmayı engellemek için, tehlike dolu savaklarının kaplanması, tünellerin içinde geçirimsizliği sağlamak için, kaya dolgu barajların geçirimsizliğinin sağlanmasında, Kagir barajların geçirimsizliğinin sağlanmasında, batardoların içinde sızdırmazlığın kontrolünde, dolgulardan gelen kokunun önlenmesinde, binaların altında buhara karşı bariyer olarak, şişen zeminlerin kontrolünde, dona hassas

zeminlerin kontrolünde, duyarlı alanlarda suyun sızması önlemek amacıyla, otoyolların altında ve yanında oluşabilecek zararlı sıvı atıkların tutulmasında, geçici sürşarjlar için kaplama yapısı olarak, asfalt üst kaplamaların altında sızdırmazlığı sağlayan tabaka olarak, yer üstündeki depolarda sızdırmazlığın sağlanması amacıyla olarak kullanılabilirler (Şekil 6.1) [8].

<b>Kullanım alanı</b>	<b>Standard</b>	<b>Şematik gösterim</b>
Rezervuarlarda ve barajlarda kullanım için gerekli karakteristikler	EN 13361	
Kanallarda kullanım için gerekli karakteristikler	EN 13362	
Tüneller ve yeraltı yapılarında akışkan bariyeri olarak kullanım için gerekli karakteristikler	EN 13491	
Sıvı atık depolama yerleri, aktarma istasyonları veya ikincil depolarda kullanım için gerekli karakteristikler	EN 13492	
Katı atık depolama ve bertaraf etme yerlerinde kullanım için gerekli karakteristikler	EN 13493	
Ulaşım altyapısında kullanım için gerekli karakteristikler	EN 15382	

Şekil 6.1. Jeosentetiklerin kullanım alanları [8].



## 6.2. HDPE Jeomembranların Teknik Özellikleri

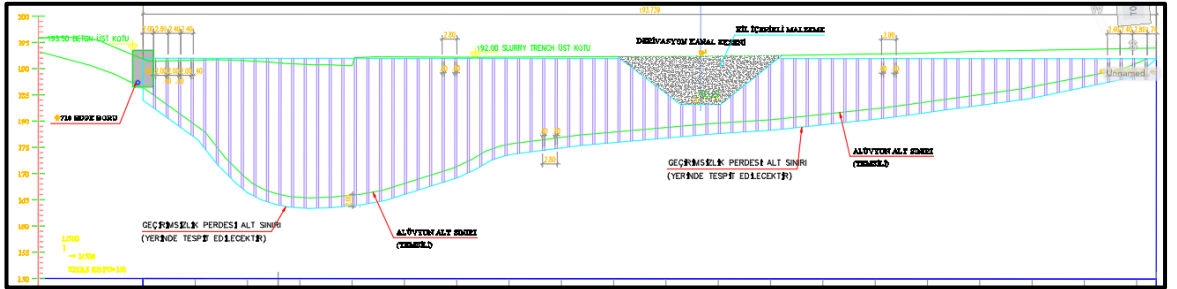
HDPE jeomembranlar; Kimyasal maddelere karşı yüksek dayanımlı, delinme ve çatlamalara karşı dayanıklı, geçirgenliği düşük, uzun ömürlü, yüksek mukavemet ve uzama özelliğine sahip, UV dayanımlı, doğal koşullara karşı dayanıklı ve esnek malzemelerdir [38].

## 6.3. HDPE Jeomembran Kaplama Gövde Tipi ve Maliyet Hesaplamaları

HDPE Jeomembran kaplama malzemesi, özellikleri ve uygulanabilirliği göz önüne alındığında yeraltı barajı gövdeleri için önem arz eden bir yapı malzemesi olmaktadır. Uygulamadaki kolaylık, ulaşılabilirlik, yapım hızı ve maliyet yönünden diğer gövde tiplerine göre daha avantajlı olabilmektedir.

Bartın Bahçecik Yeraltı Barajında;

Slurry-Trench yöntemi ile 7564 m<sup>2</sup> bir baraj gövdesi inşa edilmiştir (Şekil 6.2).



Şekil 6.2. Bahçecik Yeraltı Barajı Slurry-Trench gövde kesiti [33].

Yapılan çalışmada saha ekibinden alınan bilgilere göre, 2021 yılı fiyatlarıyla kazı ve beton imalat maliyeti metrekare başına 1000 TL, plastik beton gövde için 1000 TL ve ek maliyetler için 500 TL olmak üzere toplam birim maliyeti 2500 TL'dir [33].

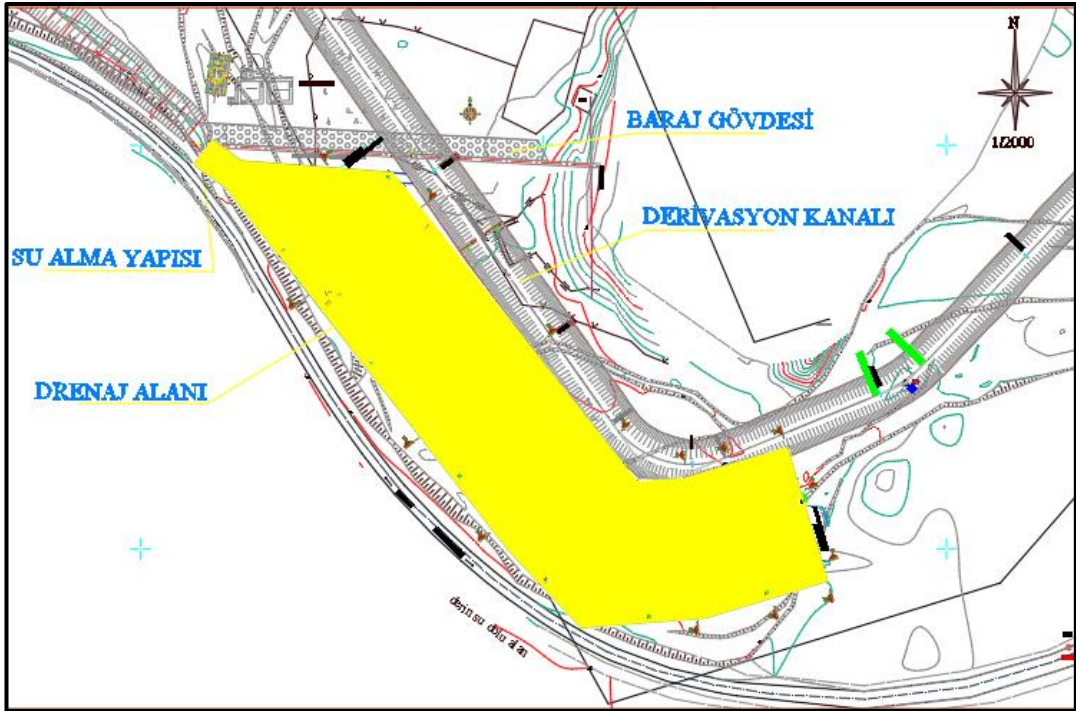
Çizelge 6.1. HDPE (high density polyethylene) ve LLDPE (linear low-density polyethylene) jeomembranın teknik özellikleri [38].

ÖZELLİKLER	BİRİM	DEĞERLER					DENEY YÖNTEMLERİ
		1	1,5	2	2,5	3	
Kalınlık	mm	1	1,5	2	2,5	3	TS EN 1849-2
Birim alan kütlesi	g/m <sup>2</sup>	*					TS EN 1849-2
Su geçirgenliği	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> gün)	<10 <sup>-6</sup>					EN 14150
Çekme dayanımı	N/mm <sup>2</sup> A: Akma K: Kopma	A > 16					GBR-P için TS EN ISO 527-1 ve TS EN ISO 527-3, Tip 5 deney numunesi, 100 mm/min çekme hızı uygulanır. Takviyeli GBR-P için TS EN ISO 527-1 ve TS EN ISO 527-3, 50 mm genişlikteki Tip 2 deney numunesi, 5 mm/min çekme hızı uygulanır. Bütün durumlarda, deney yöntemine göre ölçülen en büyük dayanım kaydedilir.
		K > 26					
Uzama	%						GBR-P için TS EN ISO 527-1 ve TS EN ISO 527-3, Tip 5 deney numunesi, 100 mm/min çekme hızı uygulanır. Takviyeli GBR-P için TS EN ISO 527-1 ve TS EN ISO 527-3, 50 mm genişlikteki Tip 2 deney numunesi, 5 mm/min çekme hızı uygulanır. Bütün durumlarda, çenelerin birbirinden ayrılma mesafesi kullanılarak TS EN ISO 527-1 Madde 10.2'de tarif edildiği şekilde en büyük yükteki uzama hesaplanmalıdır.
		A: Akma A > 12					
		K: Kopma K > 700					
Statik zımbalama	kN	> 2.4	> 3.7	> 4.9	> 6.1	> 7.2	TS EN ISO 12236
Yırtılma dayanımı	N	> 130	> 210	> 280	> 350	> 420	GBR-P için ISO 34 Yöntem B, çentiksiz açılı (Şekil 2) deney numunesi, 50 mm/min çekme hızı uygulanır.
Direkt kesme yoluyla sürtünme	N/mm <sup>2</sup>	*					TS EN ISO 12957-1
Eğik düzlemde sürtünme	N/mm <sup>2</sup>	*					TS EN ISO 12957-2
Düşük sıcaklık davranışı		*					TS EN 495-5
Isıl genleşme		*					ASTM D 696
Açık hava şartlarına karşı direnç deneyinde yıpranma oranı	%	% 1-10					TS EN 12224
Mikroorganizmalar		*					TS EN 12225
Oksidasyon (yükseltgenme)	%	< % 25					TS EN 14575
Çevresel sebepli olduğu gerilme çatlağı	h	> 200					ASTM D 5397 (Ek)
Çözünme (suda çözünebilen)	A: Sıcak su B: Alkali sıvı C: Organik alkol	< % 5 (A, B)					TS EN 14415
		< % 25 C					
Bitki kökünün nüfuz etmesi	Nüfuz Eder/ Etmez	Nüfuz etmeyecek					TSE CEN/TS 14416
Kimyasallara direnç		*					TS EN 14414
Oksidasyon induksiyon süresi (OIT)	min	> 100					TS EN 728
Karbon siyahı miktarı	%	2,0-2,5					ISO 6964 (TS 7792 ile aynı)
Kütlesel/hacimsel eriyik akış hızı (MFR/MVR)	g/10 min	44986					TS EN ISO 1133
Yoğunluk	g/cm <sup>3</sup>	> 0,94					TS EN ISO 1183-1, Yöntem A daldırma yöntemi
Karbon siyahı dağılımı	DERECE	< % 3					ISO 18553
Boyutsal kararlılık	%	< % 3					TS EN ISO 2505, 110 oC'ta 1 saat süre sonunda
Aleve doğrudan maruz kaldığında tutuşabilirlik	-	Sınıf E					TS EN 11925-2
Özgül ısı kapasitesi	J/(g.K)	*					ASTM E 1269
Camsı geçiş sıcaklığı	°C	*					ISO 11357-2
Kaynak mukavemeti	%	90					

Bahçecik Yeraltı Barajında inşa edilen Slurry-Trench gövde maliyeti Eşitlik 6.1 de verilmiştir.

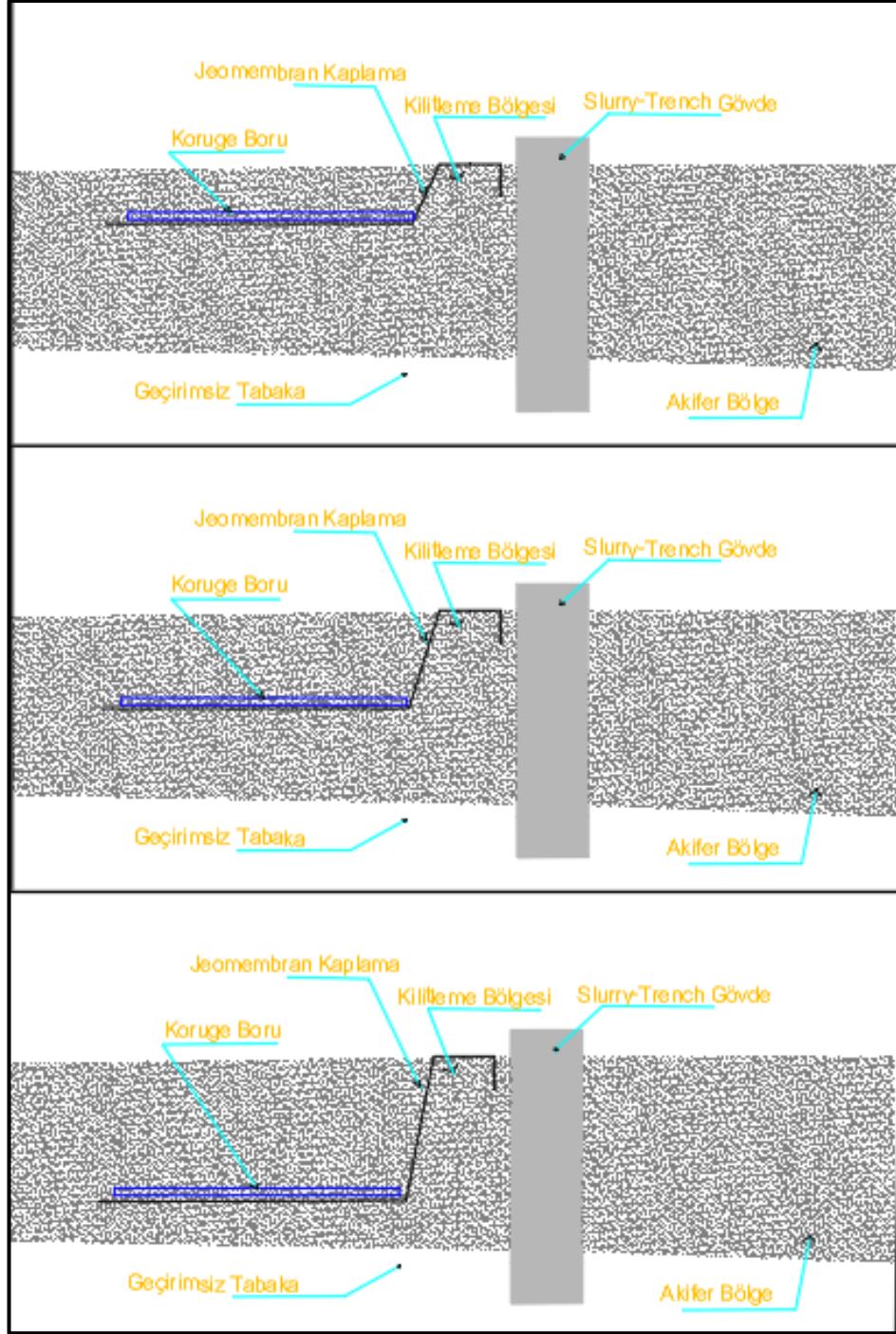
$$7564m^2 * 2500 TL = 18910000 TL \quad (6.1)$$

Geosentetik gövde yöntemi ile 6 m yüksekliğinde yapılması önerilen gövde alanı yaklaşık 1680 m<sup>2</sup>, zemine döşenmesi gereken alan ise 26880 m<sup>2</sup> olup maliyet hesaplamaları aşağıda verilmiştir (Çizelge 6.2).

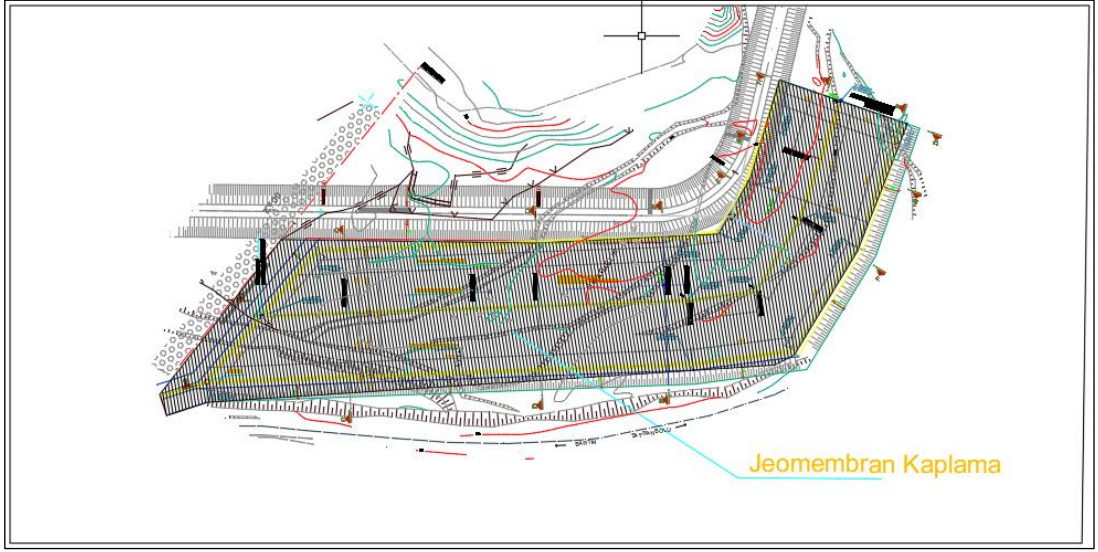


Şekil 6.3. Bahçecik Yeraltı Barajı proje özellikleri ve drenaj boruları kazı alanı (sarı).

Bartın Bahçecik Yeraltı Barajında önceki yıllarda yapılmış olan çalışmalarda arazi gözlemleri ve yeraltısuyu seviye ölçümleri sonucunda, akiferdeki yeraltısuyu seviyesinin yıl boyunca çok fazla değişmediği ve genellikle doymun durumda olduğu ifade edilmektedir [32, 35, 36]. Uygulanması önerilen geosentetik tasarımlar 6 m, 11 m ve 16 m derinlikte bulunmaktadır (Şekil 6.4, Şekil 6.5). Ayrıca Bahçecik Yeraltı Barajı, Bartın ve Amasra yerleşimlerine içme ve kullanma suyu temininde Bahçecik Kaynağı Kaptajına takviye amaçlı olarak düşünülmüş olup, su açığı olmaması nedeniyle kış mevsimlerinde su alınmasına gerek duyulmamaktadır [32, 35, 36].



Şekil 6.4. Bahçecik Yeraltı Barajı için önerilen 6 m, 11 m ve 16 m derinliklerinde jeosentetik gövde ve taban örtüsünün şematik kesitleri.



Şekil 6.5. Bahçecik Yeraltı Barajı için önerilen jeosentetik taban drenaj alanı.

2021 yılı itibariyle maliyeti; iş makinası (Vinç, Jeneratör ve Beko Loader) gideri 673.657 TL, malzeme gideri 1.292.054 TL ve işçilik gideri 14.620 TL olarak hesaplanmıştır. Jeomembran kaplaması drenaj boru sisteminin altına döşeneceği için ek bir kazı maliyeti ortaya çıkarmamaktadır. Böylece farklı bir bakış açısıyla farklı bir yöntem olarak bir geosentetik gövde imalatında toplam gider mevcut derinlik olan 6 m için Çizelge 6.2’de verilmiştir. Ek olarak 5 m ve 10 m’lik kot değişimine bağlı olarak ortaya çıkacak kübaj maliyeti de Çizelge 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Maliyet hesap tablosu [40].

POZ NO	POZ ADI VE AÇIKLAMASI	BİRİM	FİYAT	PROJE MİKTARI	TOPLAM
152601006	2 mm kalınlıkta, hdpe esashı, (düz tip yada sinyal tabakalı) jeomembran ile su yalıtımı yapılması	m <sup>2</sup>	₺45,24	28560	₺1.292.054,40
191001027	Kazıcı yükleyici (100 hp) (maksimum 2,5 m3) 1 saatlik ücreti	sa	₺158,02	240	₺37.924,80
191001113	Mobil vincin 1 saatlik ücreti	sa	₺133,79	30	₺4013,70
101001062	Düz işçi (inşaat işçisi)	sa	₺16,45	1200	₺19.740,0
101001060	Formen	sa	₺33	240	₺7920,0
101001010	Yalıtımcı ustası	sa	₺22,50	720	₺16.200,0
101201143	Jeneratör (5 Kw veya daha büyük)	ad	₺4770,0	1	₺4770,0
<b>Toplam Maliyet:</b> (Fiyatlar 01.01.2021 tarihlidir. Aynı tarihte dolar kuru; 1dolar 7,43 Türk Lirası şeklindedir)					<b>₺1.382.622,90</b>

Çizelge 6.3. Ek Maliyet hesap tablosu.

TANIM	Birim	Hacim	Birim Fiyat	TOPLAM FİYAT
5 m Kot Düşmesi Durumu	m <sup>3</sup>	226.520,3	17 ₺	₺4.543.997,24
10 m Kot Düşmesi Durumu	m <sup>3</sup>	336.520,3	17 ₺	₺6.759.895,12

Bu veriler göz önüne alınarak; geosentetik gövde tipinin daha düşük maliyetli, işçiliğinin daha az ve daha kısa süreli elde edilebildiği söylenebilmektedir. Ayrıca jeomembranlar sulama kanallarında, rezervuar alanlarında, su depolarında iç kaplama malzemesi olarak ve barajlarda kullanılmakta olup; kullanım ya da sağlık açısından bir sorun oluşturmayacağını belirten çalışmalar mevcuttur [15]. Bununla birlikte büyük darbeler sonucunda delinebilmesi, işçiliğinin düzgün yapılmaması veya zeminin düzgün hazırlanmamış olması durumlarında istenilen sızdırmazlığı veremeyecek olması ve akifer kalınlığının aks boyunca 5 m- 26 m aralığında değişmesi nedeniyle yüzeyden 6 m olarak inşa edilecek jeomembran gövde altındaki doygun akifer bölgesinin kaldırma kuvveti gibi vb. nedenler ile gövdeye zarar verebilme

ihtimalinin olması dezavantajlı yanları oluşturduğu dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte doygun ortamdan gelebilecek riski durumları en aza indirmek için geçirimsiz temele kadar aralıklı kazıklar ile gövde desteklemesi yapılabileceği veya ayrıca drenaj borular altına serilecek olan jeomembran malzemesi bu riskleri azaltabileceği de değerlendirilmelidir.

Jeomembran uygulamalarına; işe başlamadan önce deneme kaynağı alınarak ve zemin yüzeyi kontrol edilerek başlanmalıdır. Çift dikişli füzyon kaynak için minimum 100 mm, ekstrüzyon kaynak için en az 75 mm bindirme ile yerleştirilmelidir. Deneme kaynakları hem çekme hem de kesme yönlü olarak test edilmeli (Çizelge 6.4) ve yeterli dayanımları sağlamalıdır. Füzyon kaynaklarının birleşim kısımlarına ve oluşan boşluk kısımlara ekstrüzyon kaynağı ile yamalar yapılmalıdır. Füzyon kaynaklarının sızdırmazlığı hava testi ile (Çizelge 6.5), ekstrüzyon kaynağının sızdırmazlığı vakum deneyi ile sağlanmalıdır [14].

Çizelge 6.4. Deneme kaynakları alt sınır değerleri [14].

Özellik	Test yöntemi	1,5 mm	2,0 mm
Soyulma Dayanımı (füzyon), kN/m	ASTM D6392	398	530
Soyulma Dayanımı (ekstrüzyon) kN/m	ASTM D6392	340	455
Kopma Dayanımı (füzyon ve ekst.), kN/m	ASTM D6392	525	701

Çizelge 6.5. Hava testi basınç değerleri [14].

Geomembran		En düşük basınç	En yüksek basınç		Müsaade edilebilir basınç kaybı	
kalınlığı			(psi)	(bar)	(psi)	(bar)
(mm)	(psi)	(bar)	(psi)	(bar)	(psi)	(bar)
1	24	1,6	30	2,1	4	0,3
1,5	27	1,9	35	2,4	3	0,2
2	30	2,1	35	2,4	2	0,15
2,5	30	2,1	35	2,4	2	0,15

## BÖLÜM 7

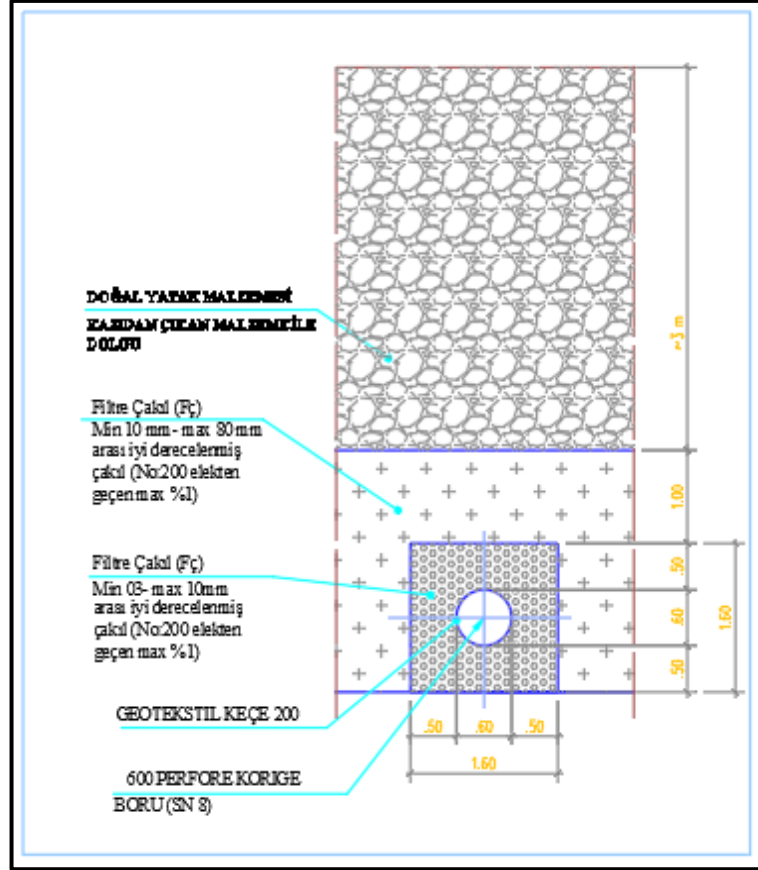
### SU ALMA YAPISI KOT DEĞİŞİMİ

#### 7.1. Bahçecik Yeraltı Barajı Arazi Modelinin Oluşturulması

Çalışma sahasına ait arazi modellerinin oluşturulması ve proje esnasında alınan halihazır saha alımlarının çakıştırılma işlemleri için UTM 6 projeksiyonunda, ED50 datumundaki 1/25000 ölçekli sayısal topoğrafik haritalar, halihazır saha alımlarında kullanılan UTM 3 ve ITFR69 projeksiyonuna dönüştürülmüştür.

Bartın Bahçecik Yeraltı Barajında mevcut durumda; gövde kret kotu 192 m de, su alma yapısı 186 m de ve kaptaj yapısından itibaren isale/iletim hattı başlagıcı 183,44 m kotunda bulunmaktadır. Su alma yapısı olarak değerlendirilen birbirlerine paralel 328 m uzunluklarındaki 3 ayrı lokasyondaki drenaj boruları yüzeyden itibaren 6 m kazı yapılarak tabana yerleştirilmiş ve üzerlerine daha fazla su alabilmek için hidrolik iletkenlik değerleri daha yüksek olan daha geçirimli alüvyon malzemesi ile tekrar doldurulmuştur. Tabana yerleştirilen drenaj borularının etrafı Şekil 7.1' de görüldüğü gibi yatak, yastık vb. malzemeler ile çevrelenmiştir. Drenaj boruları bir kaptaj yapısı içerisine alınmış ve bu yapıdan Bahçecik Kaynağı kaptaj yapısına uzanan isale hattı uzunluğu 574,33 m'dir.

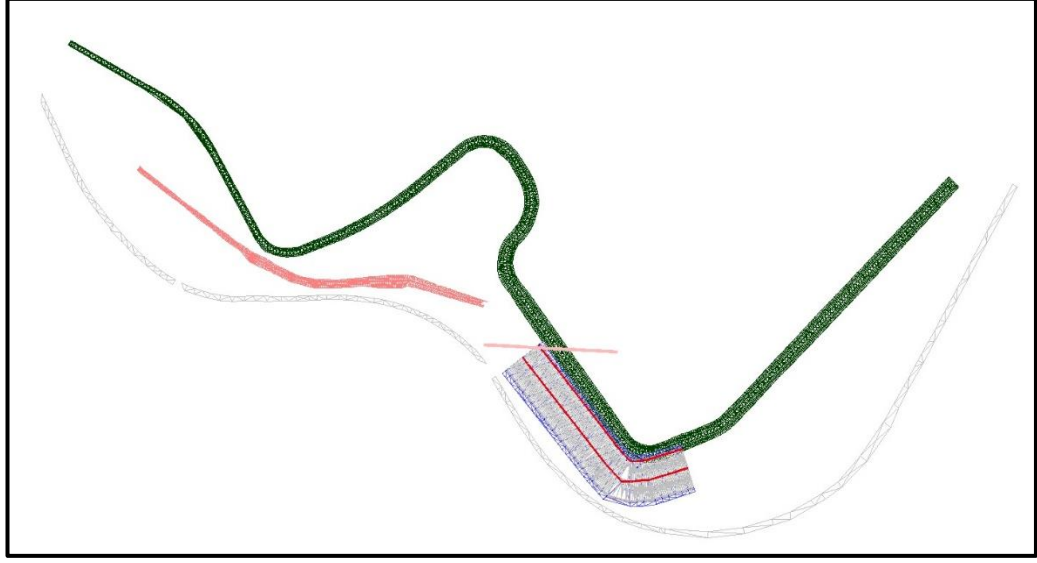




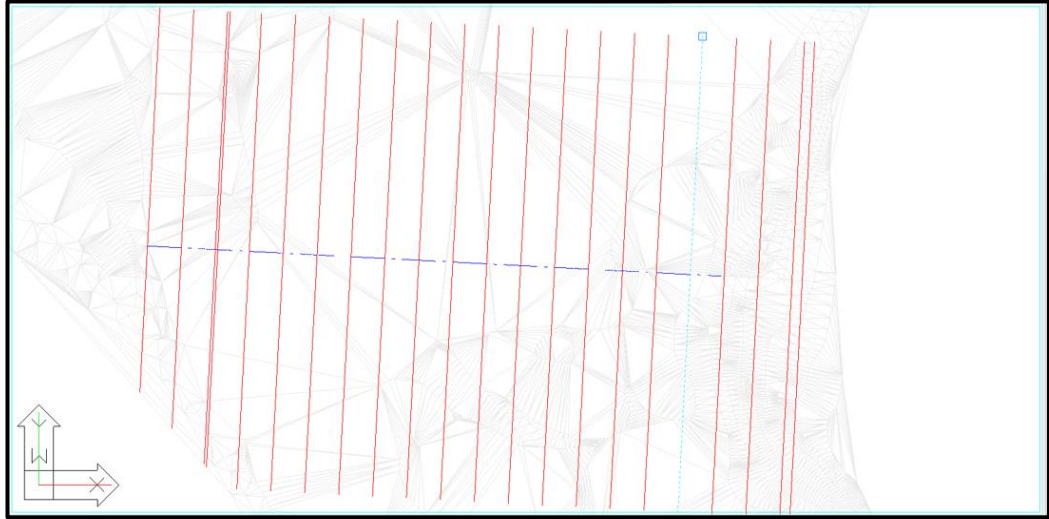
Şekil 7.1. Drenaj borusu kesit görünüşü.

H3GEN yazılımı kullanılarak, 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/isale hattı (pembe) ve Safranbolu-Bartın karayolu (gri) modellerine ilişkin görseller Şekil 7.2’de verilmiştir.

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 7.3).

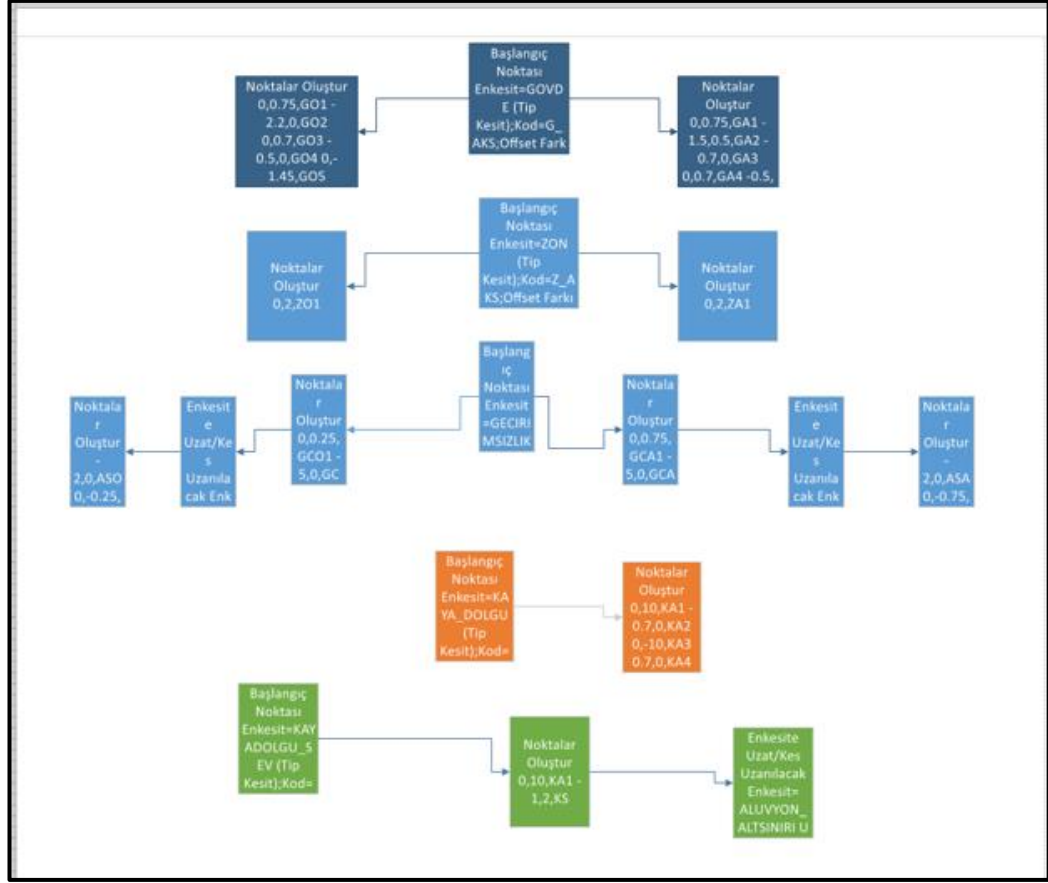


Şekil 7.2. Bartın Bahçecik Yeraltı Barajı projesi arazi modelleri.

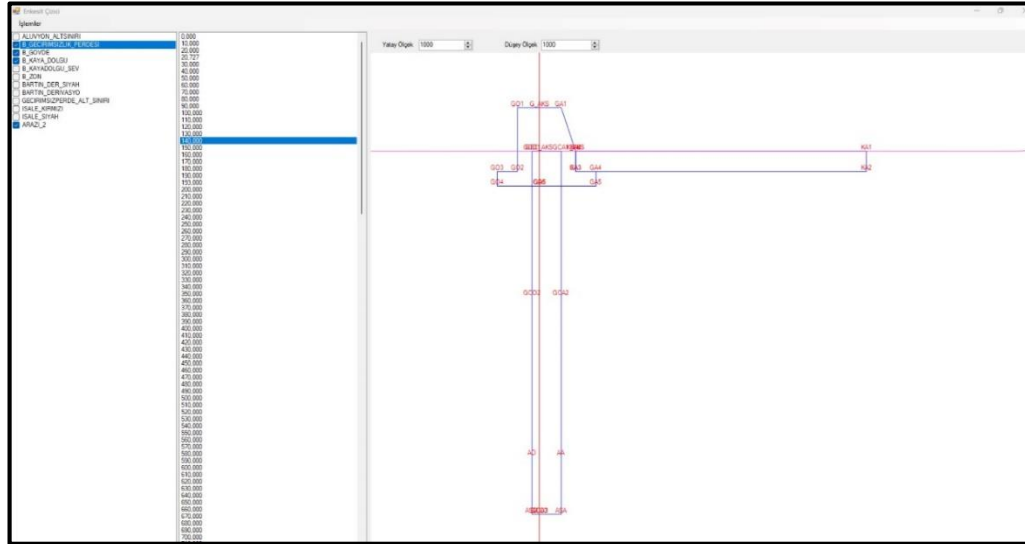


Şekil 7.3. Bahçecik Yeraltı Barajı en kesit modeli.

Yeraltı barajının gövde, geçirimsizlik perdesi, kaya dolgu gibi bölümlerini oluşturulması amacıyla tip kesitleri oluşturulmuştur (Şekil 7.4, Şekil 7.5). İlgili kesitler alüvyon zemin ile verilen şev tanımlarına göre kesleştirilmiştir. Geçirimsizlik perdesi, her bir değişken kotlarda giden ana kayaya 2 m soketlenecek şekilde kotlandırılmıştır.

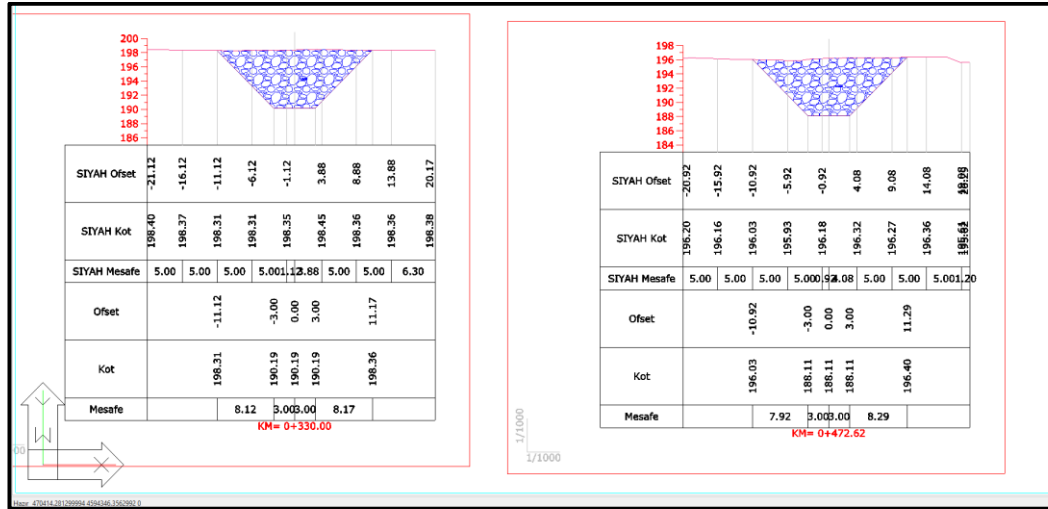


Şekil 7.4. Bahçecik Yeraltı Barajı tip kesitlerin tanımları.

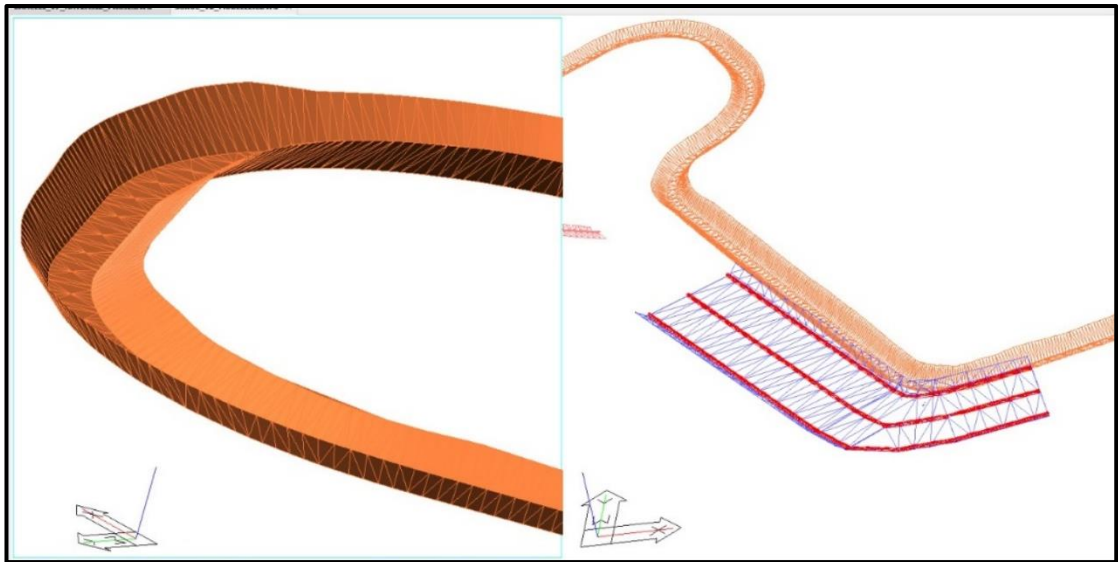


Şekil 7.5. Bahçecik Yeraltı Barajı geçirimsizlik perdesi, başlığı ve mansap kaya dolgu tip kesit modeli.

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 7.6, Şekil 7.7).



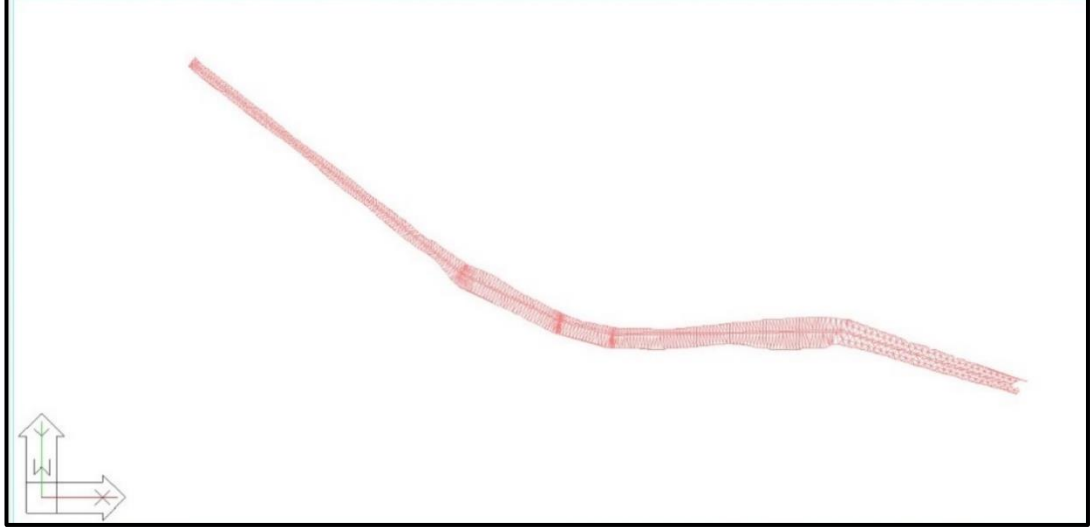
Şekil 7.6. Bahçecik Yeraltı Barajı derivasyon kanal kesitleri.



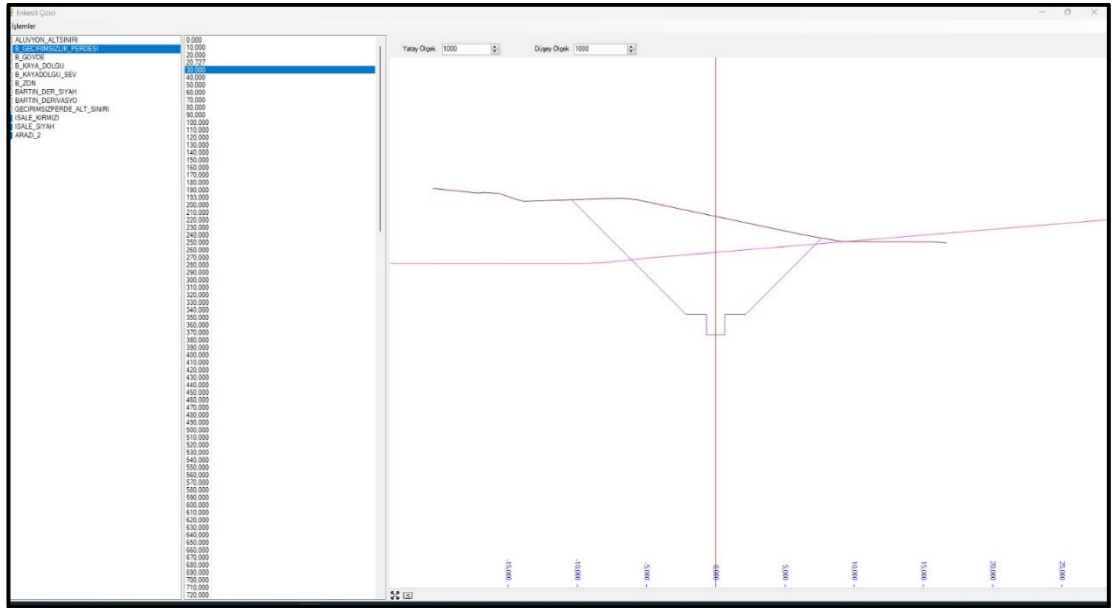
Şekil 7.7. Bahçecik Yeraltı Barajı derivasyon kanalı modeli.

Bahçecik Yeraltı Barajı geçirimsizlik perdesi inşaatı nedeniyle, drenaj borularıyla drenaj alanından gelen debinin Bahçecik Kaynağı kaptajına iletilmesi amacıyla isale

hatlarının projelendirilmesi yapılmış, boru güzergahları ve boru kesitlerine ait tipkesitler oluşturulmuştur (Şekil 7.8, Şekil 7.9).

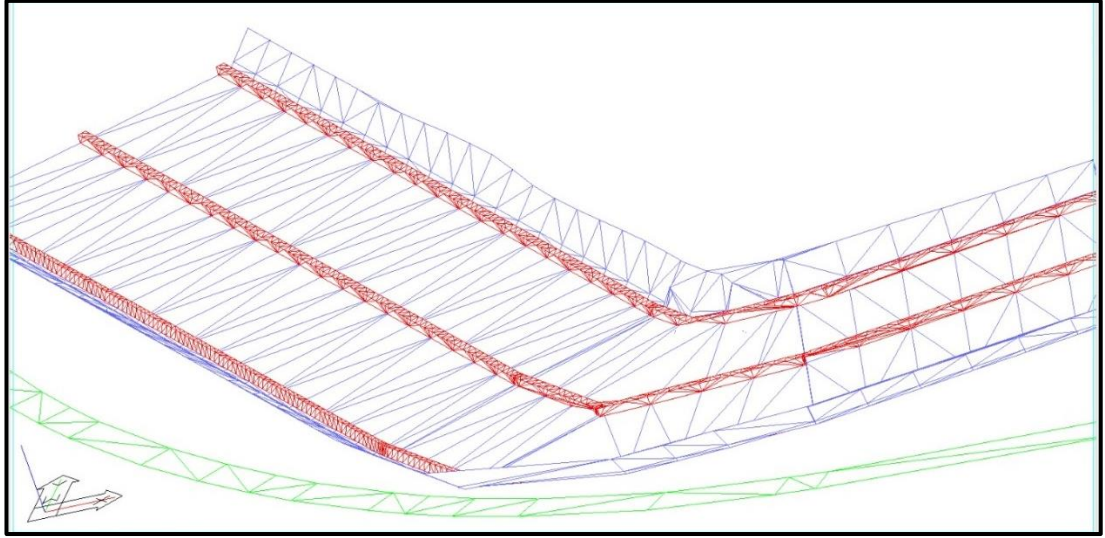


Şekil 7.8. Bahçecik Yeraltı Barajı ishale hattı yüzey modeli.

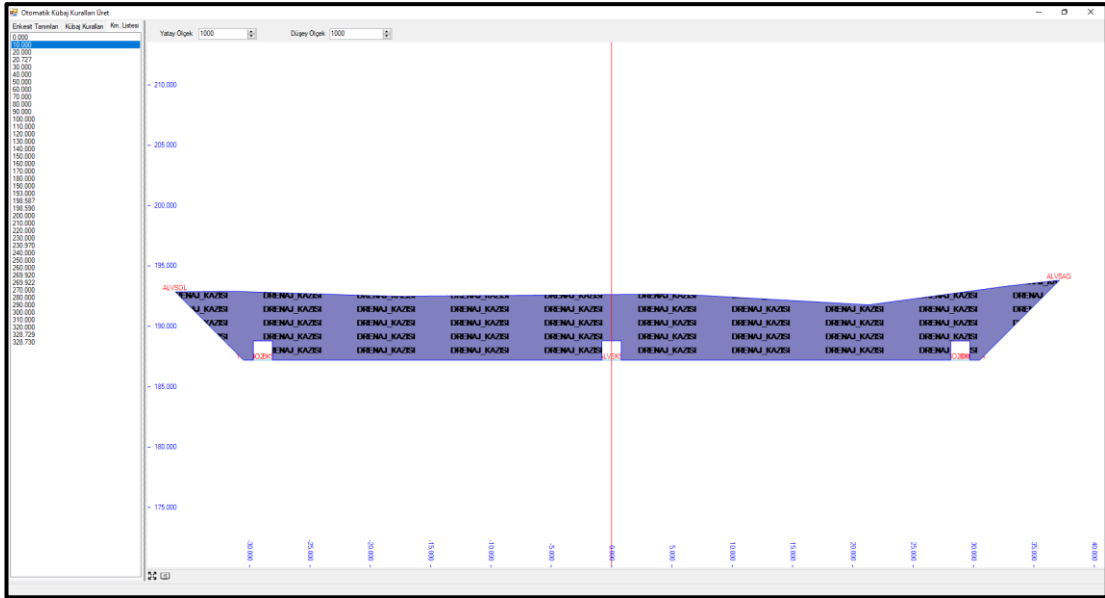


Şekil 7.9. Bahçecik Yeraltı Barajı ishale hattı enkesitleri.

Drenaj alanına ait drenaj kanalı ve yeraltısuyununun iletimi için boru hatları tanımlanmıştır (Şekil 7.10, Şekil 7.11).



Şekil 7.10. Bahçecik Yeraltı Barajı drenaj yüzey modeli.

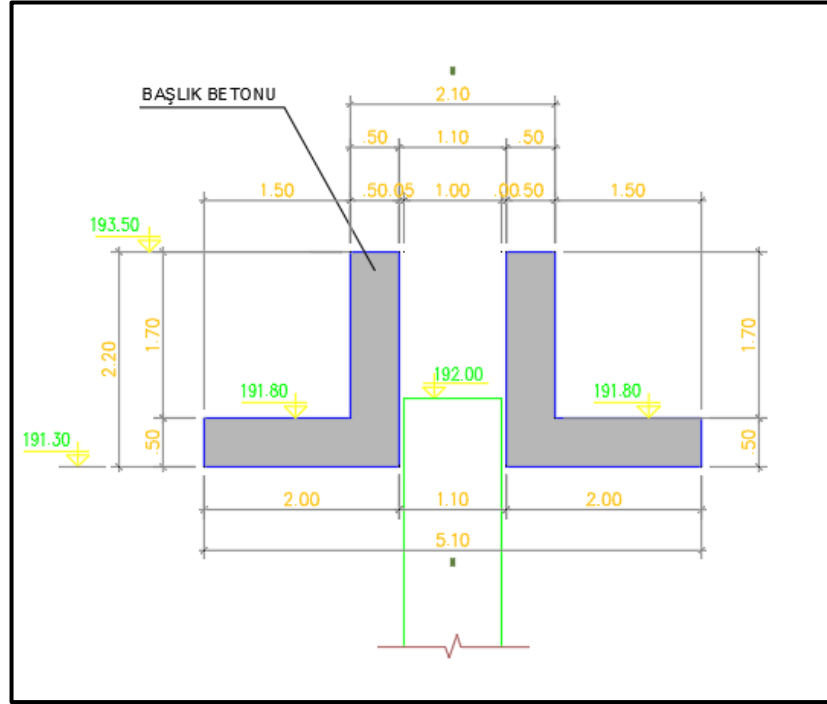


Şekil 7.11. Bahçecik Yeraltı Barajı drenaj alan enkesitleri.

## 7.2. Bahçecik Yeraltı Barajının Kübaj Hesaplamaları

### 7.2.1. Yeraltı Barajı Slurry-Trench Gövde Kübaj Hesaplamaları

Baraj tip kesitlerini oluşturan her bir yüzey arasından kübaj hesaplamaları yapılmıştır. Baraj gövde uzunluğu 193,74 m olup, en derin yerde yüksekliği 29 m'dir (Şekil 6.2). Geçirimsiz perde üzerinde bulununan başlık betonu 0,50 m kalınlığında 2 m genişliğinde karşılıklı L tipi yapılarıdır (Şekil 7.12, Şekil 7.13). Oluşturulan kesitler yardımıyla Cross Yöntemi kullanılarak alan ve ardından hacim hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Zonlara ait kübaj sonuçları Çizelge 7.1'de, kübaj tanımları ise Şekil 7.14'de verilmiştir.



Şekil 7.12. Başlık betonları proje detayları.

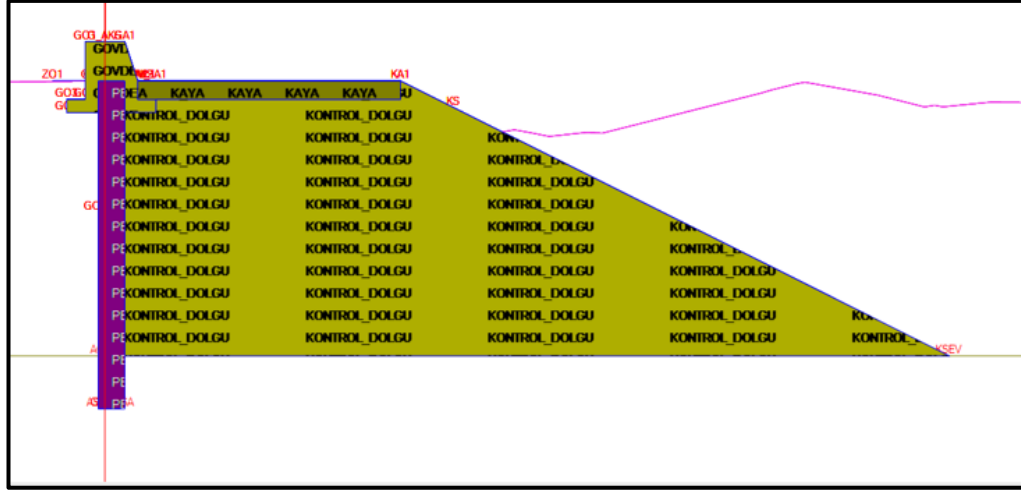


Şekil 7.13. Başlık betonları yapım işleri.

Çizelge 7.1. Slurry-Trench gövde kübaj sonuçları.

Tanım	Birim	Hacim
Bulamaç Hendeği Gövde (Ana kayaya 2 m soketleme dahil)	$m^3$	2880,161
Başlık	$m^3$	828,075
Gövde Mansabı Kaya Dolgu	$m^3$	1281

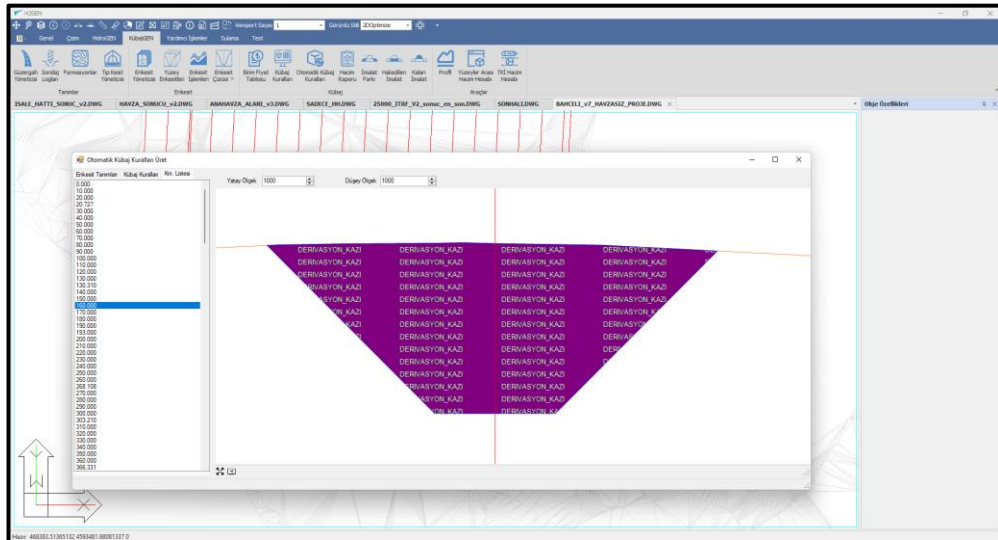




Şekil 7.14. Slurry-Trench gövde tip kesit kübaj tanımları.

## 7.2.2. Derivasyon Kanalı Kübaj Hesaplamaları

Toplam 1963,55 m uzunluğundaki oluşturulan derivasyon kanalı en ve boy kesitlerine göre Cross Yöntemine göre alan ve ardından hacim hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Derivasyona ait kübaj sonuçları Çizelge 7.2’de, kübaj tanımları ise Şekil 7.15’de verilmiştir.



Şekil 7.15. Derivasyon kanalı kübaj tanımı.

Çizelge 7.2. Derivasyon kanalı kübaj sonuçları.

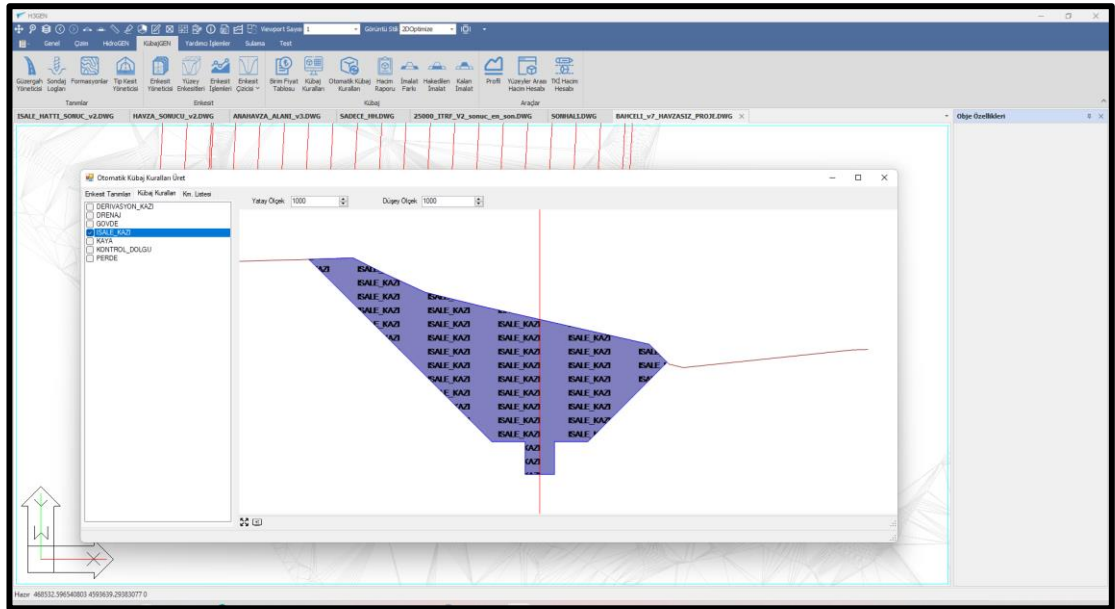
Tanım		Birim	Hacim	
Derivasyon		m <sup>3</sup>	135.644,8	
Alan (m <sup>2</sup> )		Hacim (m <sup>3</sup> )		
Kazı	Dolgu	Kazı	Dolgu	
15.590,15	0	135.644,8	0	

### 7.2.3. İsale Hattı Kübaj hesaplamaları

Toplam 574,33 m uzunluğunda oluşturulan kesitlere göre Cross Yöntemine göre alan ve ardından hacim hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. İsale hattına ait kübaj sonuçları Çizelge 7.3’de, kübaj tanımları ise Şekil 7.16’de verilmiştir.

Çizelge 7.3. İsale hattı kübaj sonuçları.

Tanım	Birim	Hacim
İsale	m <sup>3</sup>	21.772,91



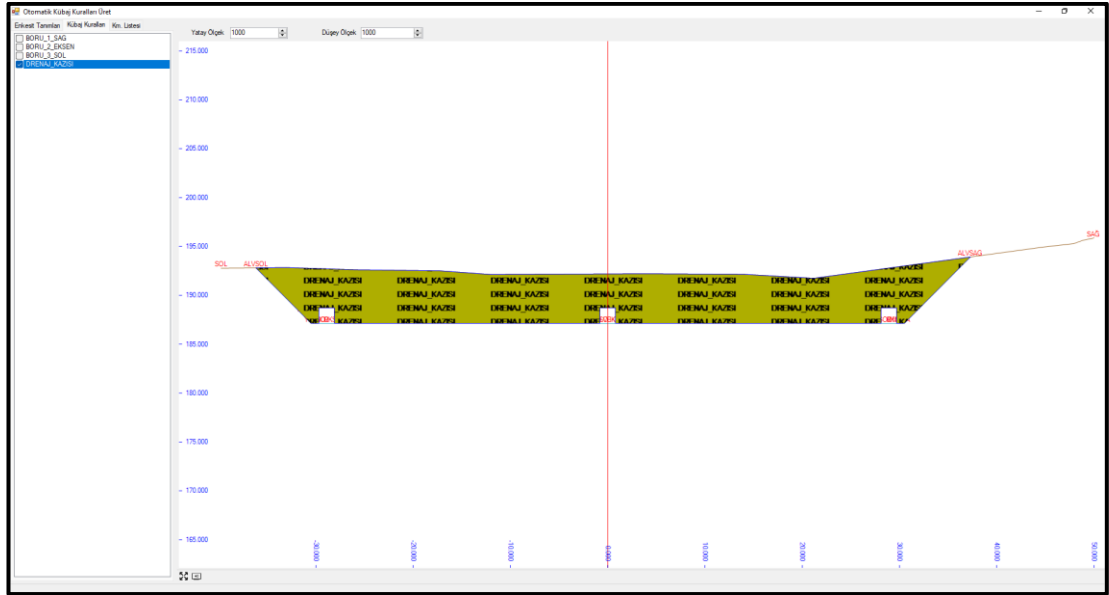
Şekil 7.16. İsale hattı kübaj tanımı.

#### 7.2.4. Drenaj Boruları Alanı Kübaj hesaplamaları

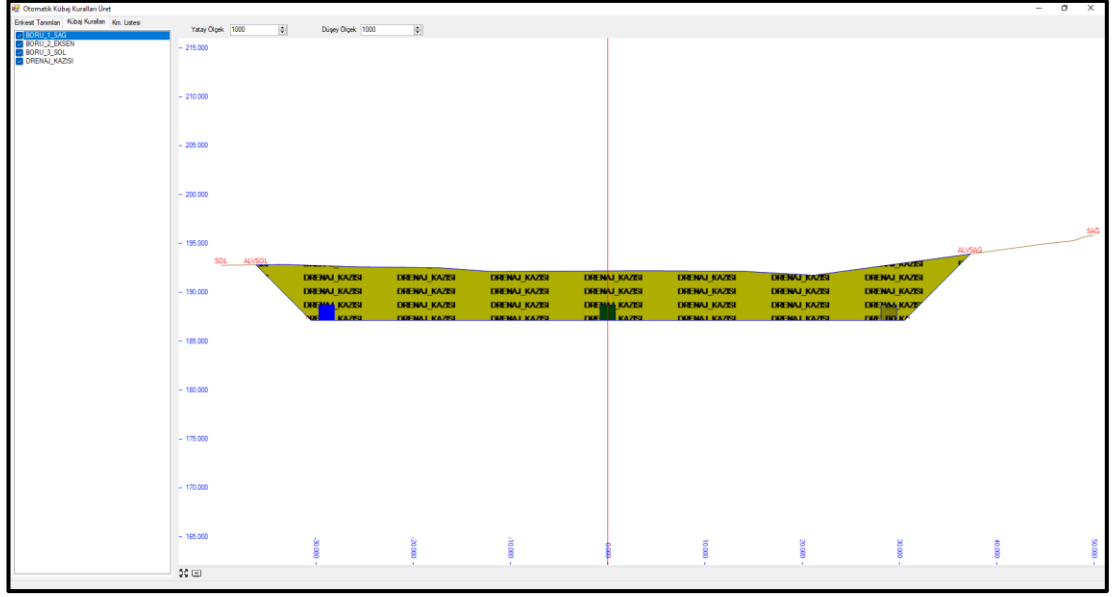
H3GEN yazılımında oluşturulan kesitlere göre Cross Yöntemine göre alan ve ardından hacim hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Drenaj borularının yerleştirilebilmesi için yapılan kazının kübaj sonuçları Çizelge 7.4’de, kübaj tanımları ise Şekil 7.17’de verilmiştir.

Çizelge 7.4. Drenaj boru alanı kübaj sonuçları.

Tanım	Birim	Hacim (186.m)
Sağ Boru Kazısı	$m^3$	794,131
Orta Hat Boru Kazısı	$m^3$	794,131
Sol hat Boru Kazısı	$m^3$	794,131
Toplam Drenaj Alanı Kazısı	$m^3$	113.056,7



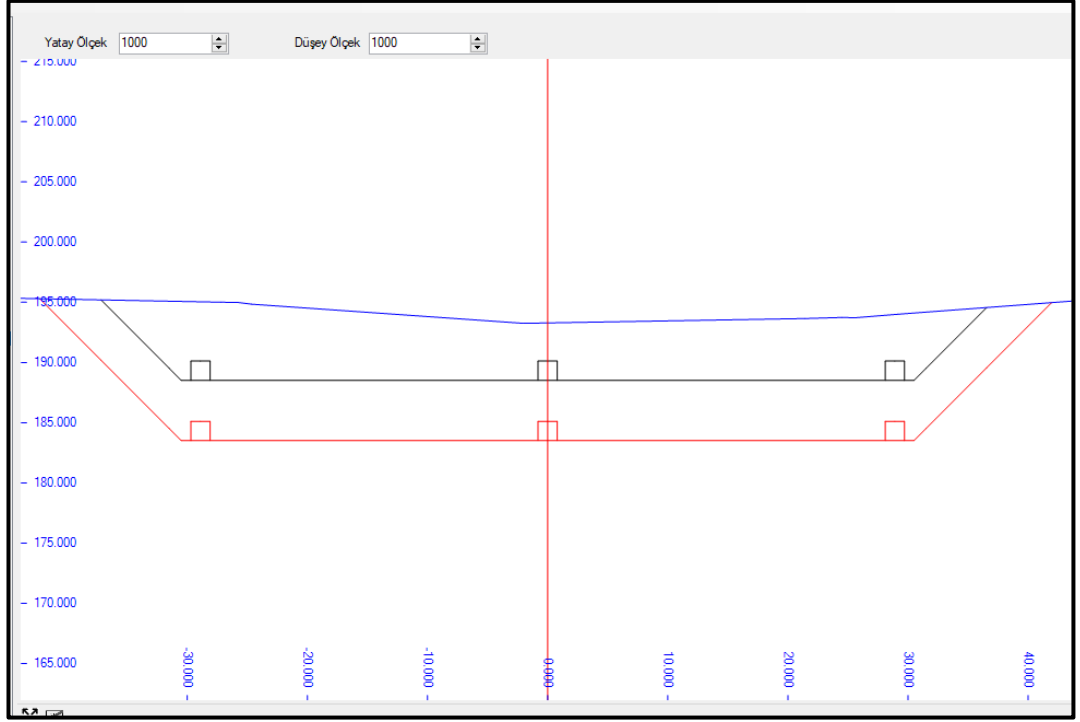
Şekil 7.17. Drenaj kanalı kazısı.



Şekil 7.18. Drenaj kanalı ve boru hatları küba tanımlaması.

### 7.2.5. Drenaj Boruları alanına ait taban kotunun değiştirilmesi

Bu bölümde çalışmanın amaçlarından biri olan, yeraltı barajından alınabilecek su miktarının artırılması amacıyla drenaj alanına ait kazı kotunun 5 m ve 10 m daha düşürülmesi (Şekil 7.19) ile kesitlerin değişmiş arazi ile kesiştiği noktalar ve yeni en ve boy kesitlere göre küba hesaplamaları yapılarak (Çizelge 7.5), drenaj boruları alanının mevcut ile karşılaştırılmıştır. Bu durumda; mevcut drenaj alanı kazısından itibaren ekstra 5 m’de; 113.463,6 m<sup>3</sup>, ekstra 10 m’de; 223.927,1 m<sup>3</sup> ek kazı yapılması gerektiği hesaplanmıştır.



Şekil 7.19. 10 m derinliğindeki drenaj boru alanları en kesiti.

Çizelge 7.5. Drenaj boru alanının 5 m ve 10 m kot düşürme işlemi sonrası kübaj hesapları miktarları.

Tanım	Birim	Hacim (187,73. m)	Hacim (182,73.m)	Hacim (177,73. m)
Sağ Boru Kazısı	$m^3$	794,131	793,9883	793,9883
Orta Hat Boru Kazısı	$m^3$	794,131	794,0131	794,0131
Sol hat Boru Kazısı	$m^3$	794,131	793,9883	793,9883
Toplam Drenaj Alanı Kazısı	$m^3$	113.056,7	226.520,3	336.983,8

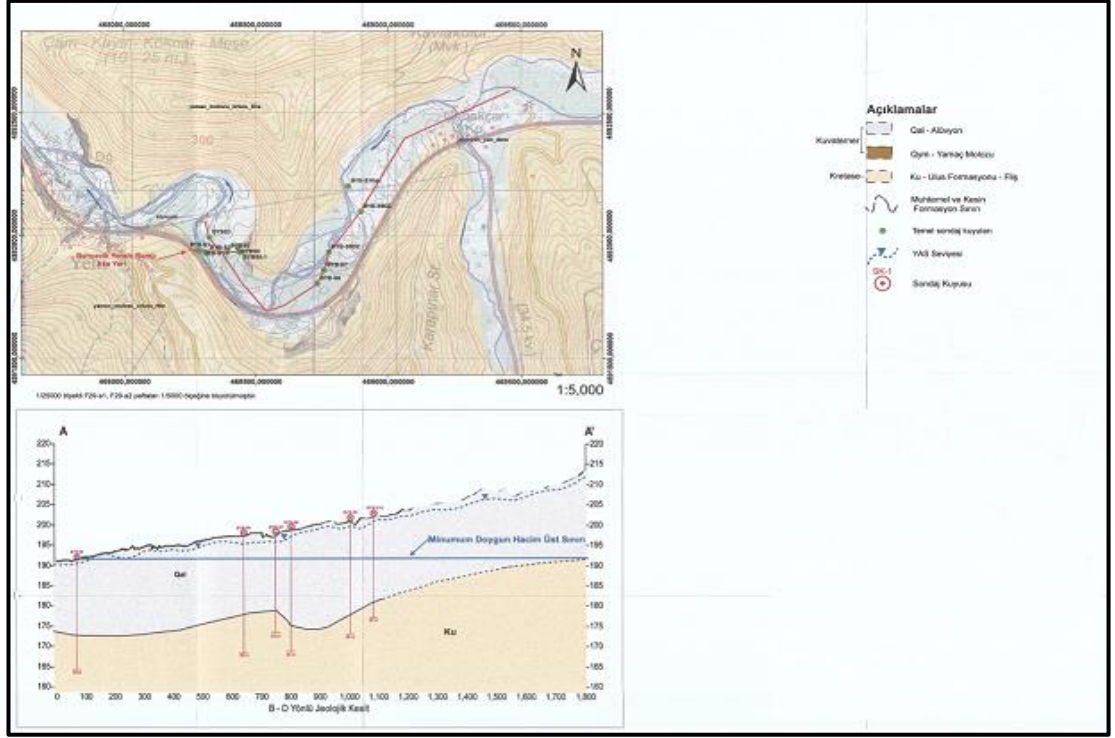
### 7.3. Su Alma Yapısının Kot Değişikliğine Göre Hesaplamalar

#### 7.3.1. Yeraltısuyu Debi Hesapları

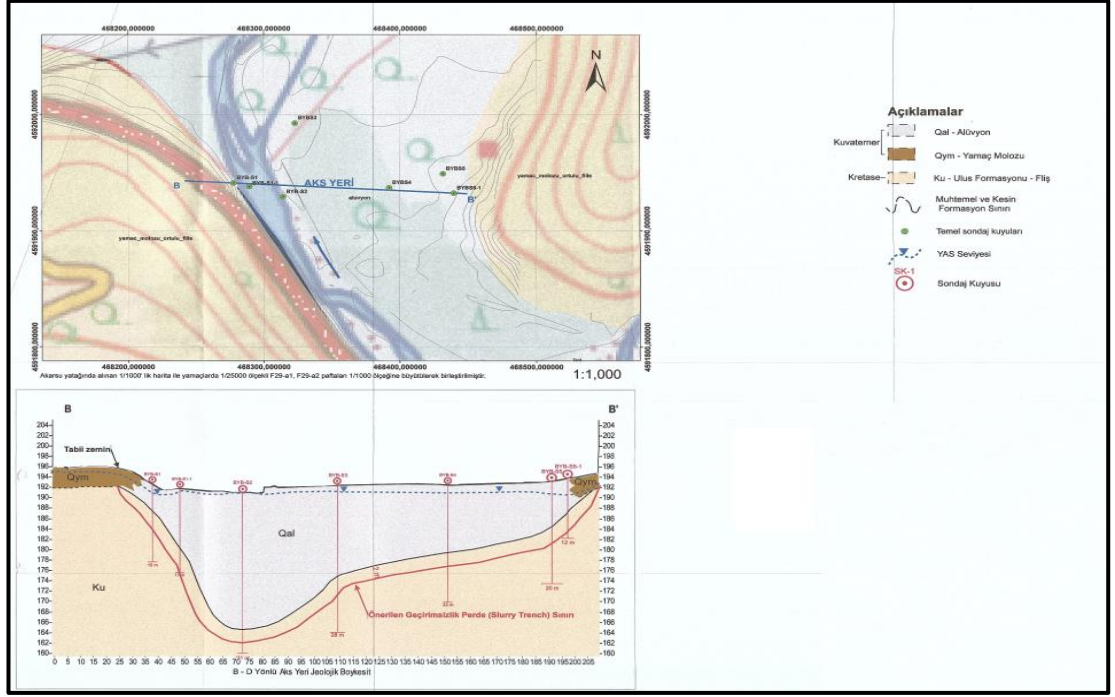
Bartın İl Merkezi ile Amasra İlçe Merkezine evsel su ihtiyacını büyük bir kısmı Bahçecik Kaynağından karşılanmaktadır. Bununla beraber kararsız bir akıma sahip olan kaynağın (2013-2016 yılları arasında 40 L/s ile 3699 L/s arasında değişmektedir) su ihtiyacını karşılayamadığı dönemler için Bahçecik Yeraltı Barajı takviye amaçlı olarak inşa edilmiştir [32]. Bartın Bahçecik Yeraltı Barajında mevcut durumda; gövde kret kotu 192 m de, su alma yapısı 186 m de ve Bahçecik Kaynağı kaptaj yapısı 183,44 m kotunda bulunmaktadır. Talveg kotu altındaki yaklaşık akifer hacmi 3000000 m<sup>3</sup> olup baraj 210.000 m<sup>3</sup> su depolama kapasitesine sahiptir (Eşitlik 7.1). Hesaplamalarda talveg kotundan itibaren akifer uzunluğu yaklaşık 1750 m (Şekil 7.20) (A-A' üstü kesiti), rezervuar akifer genişliği yaklaşık 85 m (Şekil 7.20), akifer ortalama kalınlığı 20 m (Rezervuarında alüvyon kalınlığı 18,50 m ile 23,50 m arasında değişmekte olup ortalama 20,00 m'dir) (Şekil 7.21.). Ayrıca Ovacuma Çayı akiferi, Bahçecik Kaynağı ve çalışma alanı çevresindeki arazi deneyleri sonucunda depolama katsayısı 0.07 olarak alınmıştır [32].

$$\begin{aligned} \text{Depolama Kapasitesi (V)} &= \text{Depolama Katsayısı (S)} * \text{Akifer Hacmi} & (7.1) \\ &= 0.07 * 3000000 \\ &= 210000 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

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 doymun durumda olduğu gözlenmiş ve hesaplamalarda doymun kalınlık 20 m olarak alınmıştır [32].



Şekil 7.20. Çalışma alanı A-A' jeolojik kesiti [32].



Şekil 7.21. Çalışma alanı B-B' jeolojik kesiti [32].

### 7.3.1.2. Dupuit Yaklaşımı

Bu tez kapsamında serbest akiferlerde yeraltı suyu değişimleri ile ilişkili olarak akiferden alınabilecek debi miktarı Dupuit Yaklaşımı [41] 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 [41]. Eşitlik 7.2'de hesaplamalarda kullanılan Dupuit Yaklaşımı verilmiştir. Çalışma alanı çevresinde direkt olarak tüm akiferden alınabilecek su miktarının hesaplanabilmesi için pompaj ve gözlem kuyusu açılarak kuyu deneyleri yapılmadığından, hesaplamalarda Bahçecik Kaynağı çevresinde açılan pompaj ve gözlem kuyularından elde edilen veriler kullanılmış ve formülde akiferin tüm doygun kalınlığından alınabilecek debi miktarının hesabında etki yarıçapı (139 m) dikkate alınmıştır [32]



$$Q = (W * K * (h_2^2 - h_1^2)) / (2 * d) \quad (8.2)$$

Q: Debi (m<sup>3</sup>)

W: İlgili kesitte akifer genişliği (m)

K: Hidrolik İletkenlik (m/gün)

$h_1$ : Akifer doygun kalınlığı (m)

$h_2$ : Etki yarıçapındaki gözlem kuyusu doygun kalınlığı (m)

d: Etki yarı çapı (m)

DSİ 23. Bölge Müdürlüğü/Kastamonu, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltıları Şube Müdürlüğü tarafından ana kayanın belirlenmesi ve akifer birimi olan alüvyonun hidrolik karakteristiklerini belirlemek için 2019 yılında toplamda 15 adet temel ve su sondajı açılmıştır. Temel sondajlarında yapılan sızma testi sonuçlarına göre hidrolik iletkenlik (K) değerlerinin  $7,8 \times 10^{-5} - 1,7 \times 10^{-6}$  m/s arasında değiştiği, su sondajlarında yapılan pompa testleri sonucunda ise  $1 \times 10^{-3} - 5,55 \times 10^{-5}$  m/s arasında değiştiği (ortalama 25,56 m/gün) aralığında değiştiği saptanmıştır [32]. Bu çalışmada tüm bu testlerin ortalaması olarak K değeri  $1,54 \times 10^{-4}$  m/s (13,32 m/gün) değeri kullanılmıştır.

Şekil 7.21. de verilen baraj aksı B-B' jeolojik kesitine göre akifer kesiti boyu ortalama 170 m olarak alınmıştır.

$$\begin{aligned} Q &= (W * K * (h_2^2 - h_1^2)) / (2 * d) \\ &= (170 * 1,54 \times 10^{-4} * (20^2 - 0^2)) / (2 * 139) \\ &= 0,03771 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (37,7 L/s)} \end{aligned}$$

Bahçecik Kaynağı kaptaj kotu 183,44 m olduğu için yeraltı barajından cazibeli bir şekilde kaynak kaptajına su iletilebilmesi için, mevcut projede baraj su alma yapıları tabana yerleştirilememiştir. Barajdan su temini yüzeyden itibaren 6 m kazı yapılarak tabana yerleştirilmiş drenaj boruları ve drenaj borularından gelen suların 186 m'deki yeraltı barajı kaptajında ve su depolama yapılarında toplanması ile sağlanmakta ve baraj mansabındaki kaptaj yapısından itibaren sular 574,33 m uzunluğundaki isale hattı yardımıyla Bahçecik Kaynağı kaptajına verilmektedir. Bu durumdaki debi;

$$\begin{aligned}
Q &= (W * K * (h_2^2 - h_1^2)) / (2 * d) \\
&= (170 * 1,54 * 10^{-4} * (20^2 - 14^2)) / (2 * 139) \\
&= 19,2 \text{ L/s olarak hesaplanmıştır.}
\end{aligned}$$

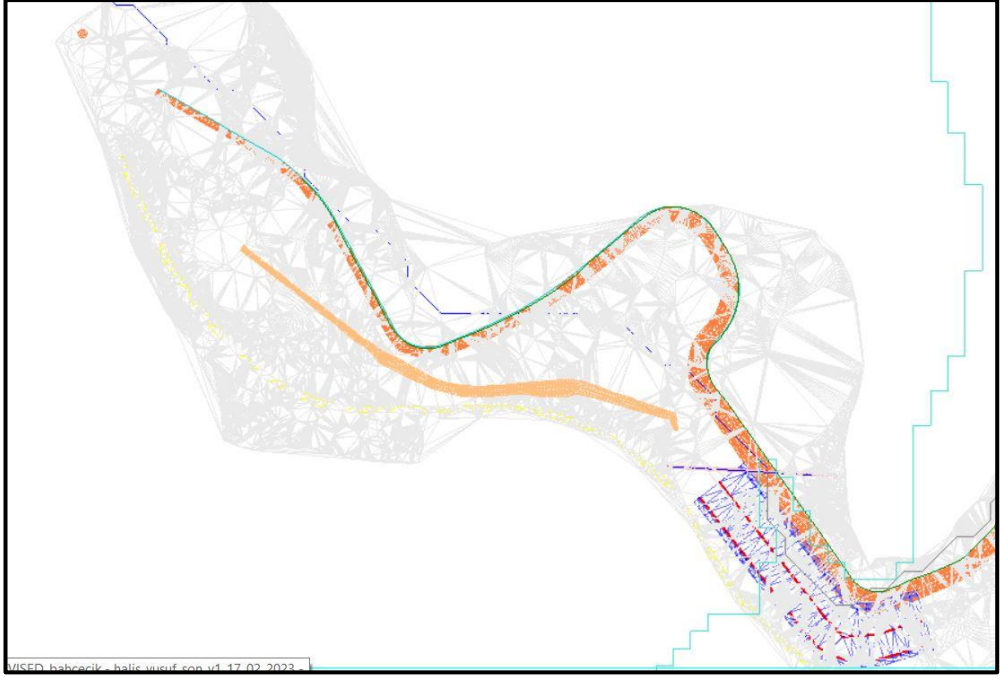
Ayrıca bu çalışmanın amaçlarından birisi olan ve daha fazla su elde edebilmek için drenaj borularının yüzeyden itibaren 11 m ve 16 m derine yerleştirilmesi durumundaki debi miktarları ise;

$$\begin{aligned}
Q &= (W * K * (h_2^2 - h_1^2)) / (2 * d) \\
&= (170 * 1,54 * 10^{-4} * (20^2 - 9^2)) / (2 * 139) \\
&= 30,04 \text{ L/s. ,} \\
&= (170 * 1,54 * 10^{-4} * (20^2 - 4^2)) / (2 * 139) \\
&= 36,16 \text{ L/s olarak hesaplanmıştır.}
\end{aligned}$$

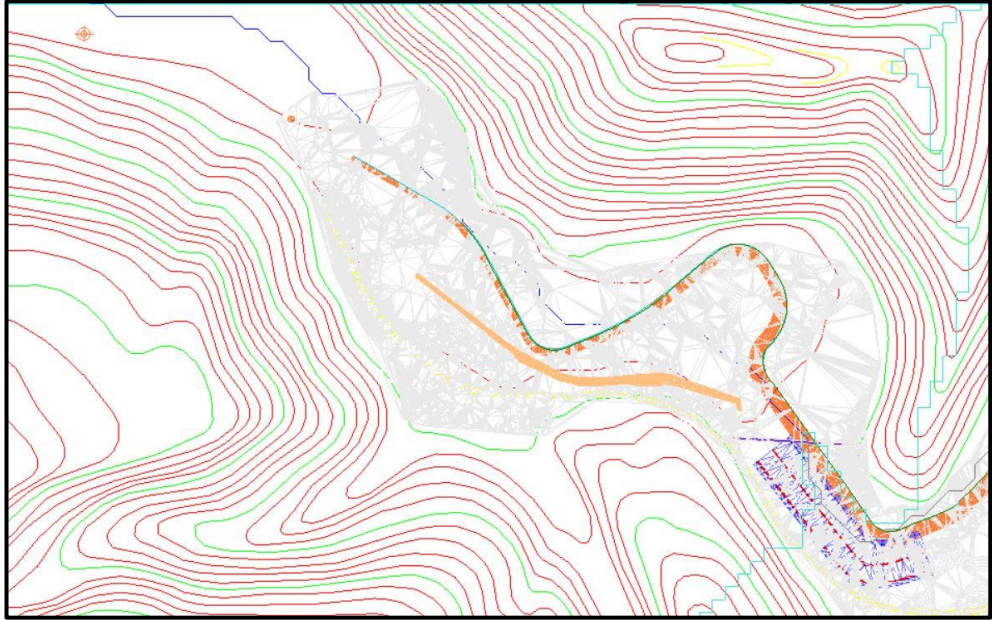
Bu durumda projeden 5 m daha fazla kazı yapılarak drenaj borularının 11 m aşağıya yerleştirilebilmesi durumunda yaklaşık olarak 10,84 L/s, 10 m daha fazla kazı yapılarak drenaj borularının 16 m aşağıya yerleştirilmesi durumunda ise yaklaşık olarak 16,96 L/s daha fazla su alınabilmektedir. Bununla birlikte ilerleyen bölümlerde hesaplandığı gibi kazı hacmi ve dolayısıyla maliyet artmaktadır. Ayrıca bu durumda Bahçecik Kaynağı kaptajına cazibeli olarak su iletimi zorlaşmakta ve ekstra başka bir kaptaj inşa edilerek, Bartın ve Amasra su iletim hattına başka bir noktadan verilmek zorunda kalınabilecektir.

### 7.3.2 Ek İsale Hattı Hesapları

Mevcut yeraltı barajında seçilmiş olan isale hattı başlangıç kotu 187,73 m'de olup 183,44 m'de bulunan Bahçecik Kaynağı kaptaj istasyonuna kendi cazibesi ile su iletimi sağlamaktadır. Mevcut drenaj borusu yerleştirme kotu 5 m (Şekil 7.22.) ve 10 m (Şekil 7.23.) düşürüldüğünde, kendi cazibesi ile su almak için yeni bir kaptaj istasyonu ve mevcutta olan 574,33 m olan isale/iletim hattına ek isale hattı gerekmektedir. H3GEN yazılımı ile hesaplanmış olan ek isale hattı uzunluğu 5 m için ek 314,8 m, 10 m için ise ek 641 m'dir.



Şekil 7.22. 5 m kot değişimine bağlı ek isale hattı uzunluğu.



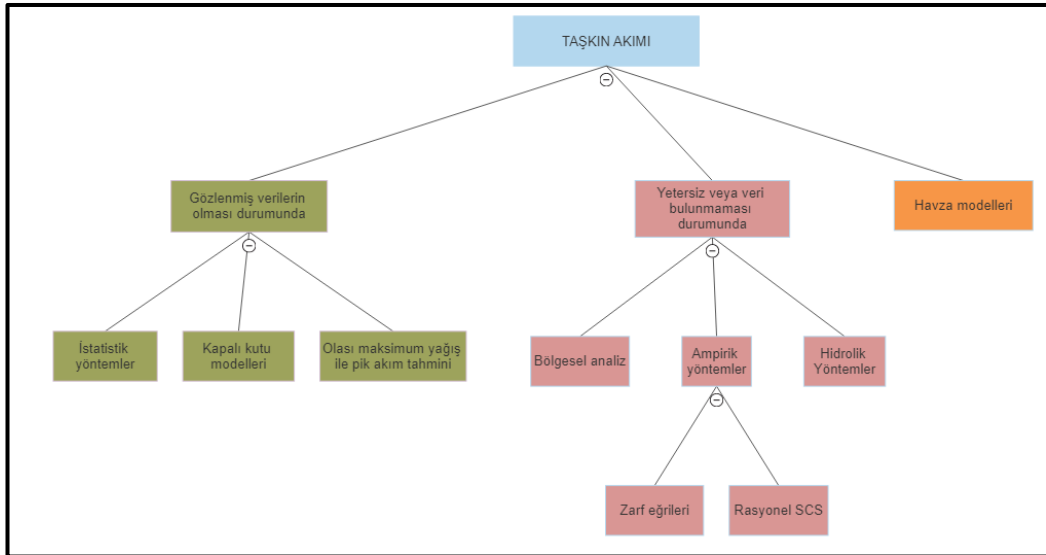
Şekil 7.23. 5 m (KB ilk turuncu nokta) ve 10 m (KB ikinci turuncu nokta) kot değişimine bağlı ek isale hattı uzunluğu.

## BÖLÜM 8

### TAŞKIN ANALİZİ

#### 8.1. Taşkın Analizi

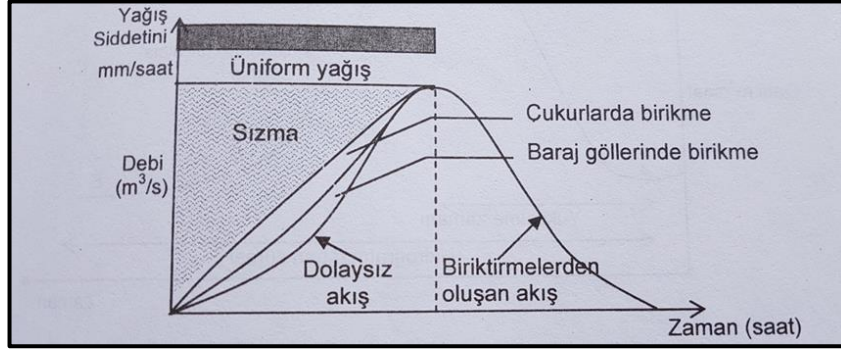
Taşkın, bir nehir yatağının çeşitli nedenlerle taşarak, çevresindeki arazilere, yerleşim birimlerine, sanat yapılarına, altyapı tesislerine ve canlılara zarar vererek, etki ettiği bölgede sosyo-ekonomik faaliyeti kesintiye uğratabilecek ölçüde bir akış büyüklüğünün meydana gelmesi olayıdır [42]. Akarsularda su seviyesi ve debi sabit değil değişkendir. Debinin ve su seviyesinin yüksek olduğu zamanlarda akım akarsu yatağından taşabilmektedir. Akarsuyun bu şekilde taşmasıyla can kayıpları yaşanıp, çeşitli zararlar oluşturabilmektedir. Genel olarak taşkın analizlerinde kullanılan yöntemler Şekil 8.1’da verilmiştir [15].



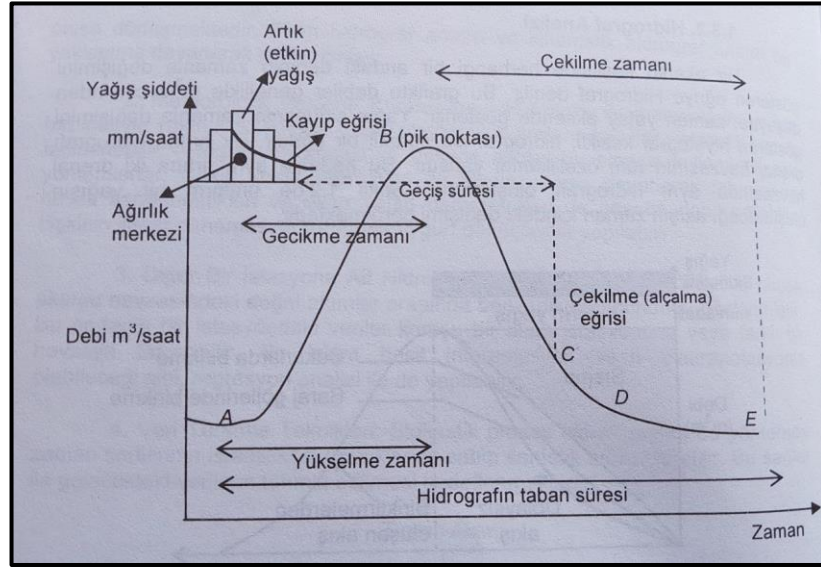
Şekil 8.1. Taşkın akımlarının değerlendirilmesinde kullanılabilecek yöntemler [15].

Taşkın debi hesaplamalarında en çok tercih edilen analizlerden biri Hidrograf Yöntemidir. Bir akarsu kesitinde herhangi bir andaki debinin zamanla değişimini gösteren eğriye “Hidrograf” denilmektedir. Bu grafikte debiler genellikle  $m^3/s$

cinsinden düşeyde, zaman yatay ekseninde gösterilir. Şekil 8.2’de üniform bir yağışın oluşturacağı akışın zaman içindeki değişimi görülmektedir. Tipik bir fırtına yağışına ait hidrografın elemanları Şekil 8.3’de görülmektedir [15].



Şekil 8.2. Üniform bir yağışın oluşturacağı akışın zaman içindeki değişimi [43] .



Şekil 8.3. Hidrograf elemanları [15]..

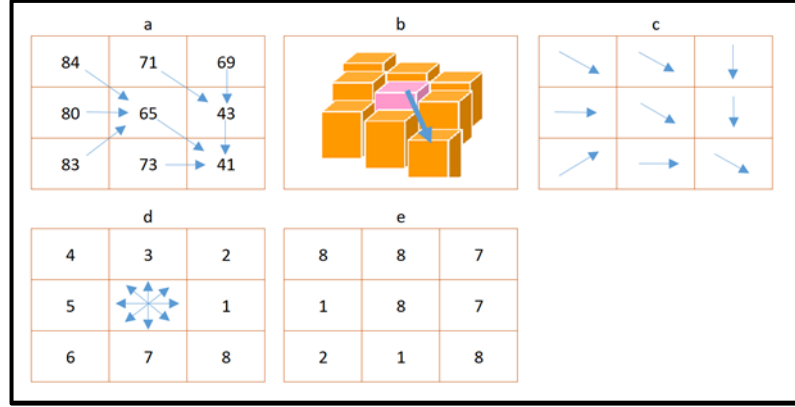
Yükselme eğrisi (AB) grafik olarak zaman içinde debinin arttığını göstermektedir. Şekil 8.3’de düz bir eğri şeklinde gösterilen yükselme eğrisi pratikte genellikle çalkantılı bir şekil almaktadır. Bu üzerine düşen yağışı aynı sürede havzanın çıkış noktasına ya da ölçüm yapılan noktaya yollayan noktaların (izokronlar) katkısını göstermektedir. Zaman ilerledikçe havzanın yukarı kısımlarından gelen suların katkısının artışı ile debide artmakta ve genellikle havzanın yukarı kısımlarında iki ardışık izokron arasında kalan alan gittikçe büyüdüğünden yükselme eğrisinin eğimide giderek artmaktadır. Tepe noktası

( $B_{pik}$ ) debinin maksimumdan geçtiği yerdir. Hidrografın bu değerinde sabit kalıp kalmayacağı ya da pik den sonra azalması yağış süresi  $t_p$  ve geçiş süresi  $\tau$  ile ilgilidir. Geçiş süresi ya da konsantrasyon süresi olarak tanımlanan süre akarsu havzasının en uzak noktasına düşen yağışın hidrografın ölçüldüğü yere varması için geçen süredir. Çekilme eğrisi pikten sonraki BE alçalma eğrisidir. Debinin azalması yağış bittikten sonra drenaj havzasındaki suyun boşaltılmasını göstermektedir. Çekilme eğrisinin eğimi havzadan hangi suyun boşaldığını göstermektedir. Eğrinin üst kısmı (BC) yüzey kanallarında biriken suyun boşalmasını, CD kısmı yüzeyaltı akışını gösterir. Eğrinin alt kısmı ise (DE) yeraltı suyunun katkısını göstermekte ve diğer kısımlara göre çok daha az eğimli olmaktadır (ortak çekilme eğrisi). Eğrinin bu kısmı yağıştan yağışa çok az değişmektedir. Çekilme eğrisinin şekli havzanın özelliklerine bağlı olmaktadır [15].

### 8.1.1. Havzaların Modellenmesi

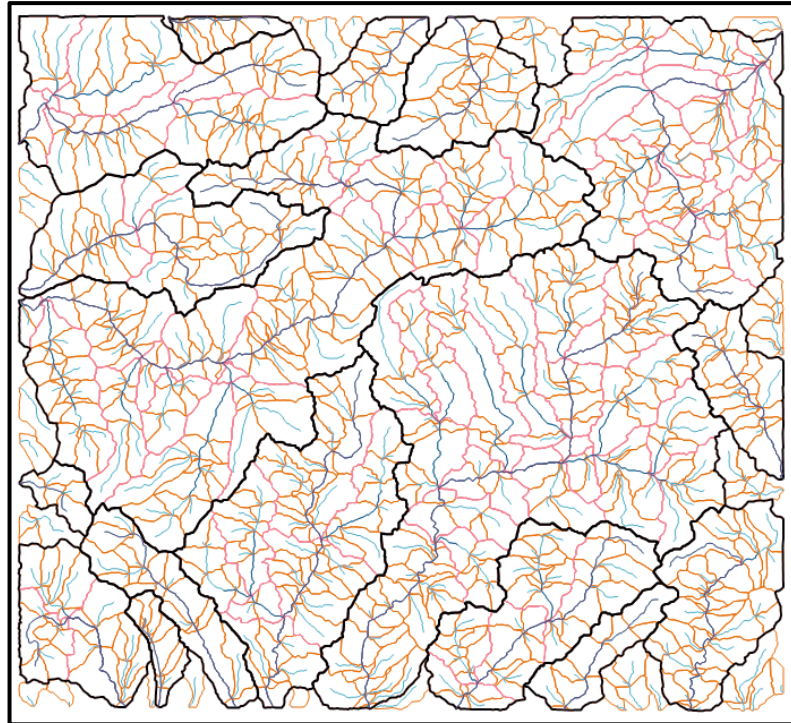
Havza'nın modellenmesine Netcad programı ve özellikle programın Nethydro modülü kullanılarak veriler üzerinde gerekli düzeltme ve sayısallaştırma işlemleri yapılarak başlanılmış ve ana havza ve alt havzalar D8 akım modeline uygun olarak ve TauDEM algoritmasına göre saptanmıştır. Bu işlemler Şekil 8.4'de görüldüğü gibi kısaca açıklanabilir [44, 45].

- Sayısal arazi modeli üzerinde belirli aralıklarla hücre (piksel) bölümlenmesi yapılarak, her bir piksel değerine bir kot değeri atanmıştır.
- Akış ağını belirlemek için her bir hücreden itibaren, komşu 8 hücre arasında en düşük kotlu hücre seçilmiş ve akış (drenaj) kolları uğradığı hücreden itibaren, en düşük kotlu hücreye doğru giderek drenaj ağları oluşturulmuştur.
- Akım yönleri için her bir hücreye bir yönü gösterecek şekilde rakamsal değerler atanmıştır.
- D8 akım modeline uygun olarak akış kolları ve yönleri belirlenmiştir.

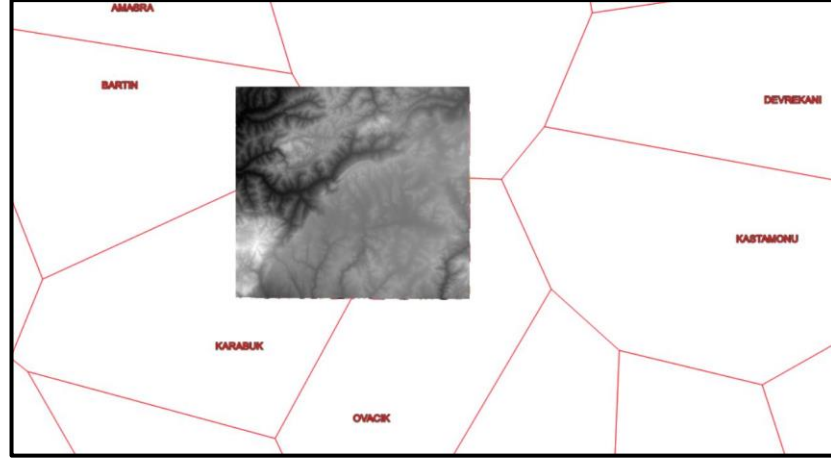


Şekil 8.4. D8 akım modeli'nin şematik gösterimi [44, 45].

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. Şekil 8.5'de sayısallaştırılmış topoğrafik haritalar kullanılarak modellenmiş havzalar ve akış kolları görülürken, Şekil 8.6'da sayısal arazi modeli ve Thiessen yağış alanları görülmektedir.



Şekil 8.5. Sayısallaştırılmış topoğrafik haritalar kullanılarak modellenmiş havzalar ve akış kolları.



Şekil 8.6. Çalışma alanının sayısal arazi modeli ve Thiessen yağış alanları.

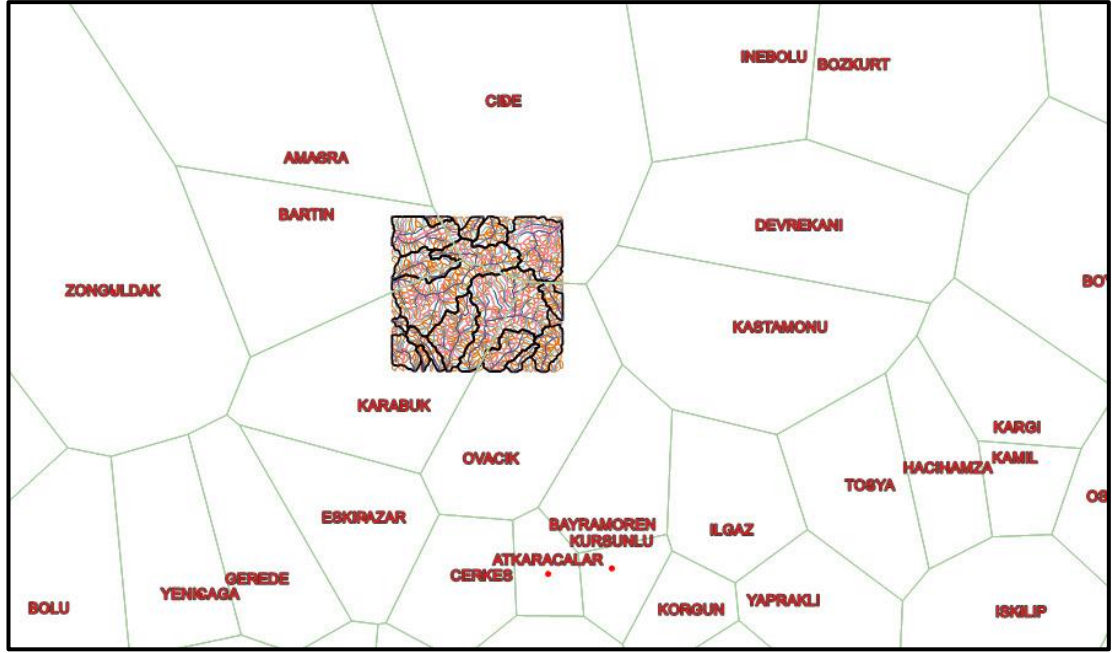
### 8.1.2. Yağış Analizleri

Yağış analizleri için havza yakınlarında bulunan en az 15 yıl kesintisiz veriye sahip olan Karabük, Bartın ve Cide istasyonlarının günlük maksimum yağış değerleri kullanılmıştır. Bu değerlere 6 farklı istatistiksel dağılım uygulanarak (Normal dağılım, Log-Normal (2 parametrelili), Log-Normal (3 parametrelili), Pearson Tip-3 (Gama Tip-3), Log-Pearson Tip-3 ve Gumbel) Kolmogorov-Smirnov güvenilirlik testi ile sınama yapılmış ve farklı tekerrür yıllarına ait 2, 4, 6, 8, 12, 18 ve 24 saat süreli yağış yinelenmeleri elde edilmiştir. İstasyonlarının noktasal yağış verilerinin alansal dağılımları ve etki alanları bölgenin topoğrafyası da dikkate alınarak Thiessen yöntemine göre hesaplanmıştır. Şekil 8.6 da havza alanına etki eden istasyonlar ve bu istasyonlara ait bilgiler görülmektedir. Çizelge 8.1 de yağış istasyonlarına ait veriler ve farklı tekerrür aralıklarındaki en uygundağılım sonuçları görülmektedir.



Çizelge 8.1. Yağış istasyonlarına ait veriler ve farklı tekerrür aralıklarındaki en uygun dağılım sonuçları (24 saat süreli yağış yinelemeleri).

İstasyon Adı	Simirnov-Kolmogorov Testi	2	5	10	25	50	100	200	500
	Bartın	Normal Dağılım	70,763	91,667	102,596	114,257	121,776	128,546	134,721
Karabük	Log-Pearson Tip-3	30,785	42,411	51,337	64,130	74,812	86,555	99,497	114,374
Cide	Log-Normal (3 Parametrel)	68,001	93,581	112,759	139,332	160,373	183,335	207,329	241,231



Şekil 8.7. Modellenen havza alanları, akım ağları ve etki eden yağış gözlem istasyonlarının Thiessen alanları.

### 8.1.3. Harmonik Eğim Hesapları

Birim hidrograf parametrelerinin hesaplanmasındaki temel girdi verisi olan harmonik eğim 44,457 km'lik drenaj ağı üzerinde 10 parça üzerinden hesaplanarak ortalama 0,0185 olarak bulunmuştur.

#### **8.1.4. 1/25000 Ölçekli Sayısallaştırılmış Topoğrafik Haritalar Yardımıyla Taşkın analizi**

Çalışma havzası Batı Karadeniz Bölgesinde ve Bartın İlinde bulunmaktadır. Bu çalışmada taşkın analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için 1/25000 ölçekli sayısallaştırılmış haritalar kullanılmıştır. Analizi için Ovacuma Çayı Havzası yakın çevresindeki yağış verileri kullanılmış ve bölgenin hidrojeolojik yapısına bağlı olarak seçilen akış eğri numarası (CN, toprak tasnif numarası) kullanılarak DSİ Sentetik ve Mockus yöntemlerine göre Ovacuma Çayı'nın 2, 5, 10, 50, 100, 500 yıllık yineleme aralığına ait gelmesi muhtemel taşkın debileri hesaplanmıştır. Bu amaçla Netcad programı ve programın Nethydro modülü kullanılmış, sayısallaştırılmış haritalar üzerinde gerekli düzeltme işlemleri yapılarak, ana ve alt havzalar D8 akım modeline uygun bir şekilde TauDEM algoritması yardımıyla modellenmiştir. Yağış analizleri için havza yakınlarında bulunan en az 15 yıl kesintisiz veriye sahip istasyonların (Karabük, Bartın, Cide) günlük maksimum verileri kullanılmış ve yağış istasyonlarının etki alanları bölgenin topoğrafyası da dikkate alınarak Thiessen yöntemine göre hesaplanmıştır. Her bir istasyon için 6 farklı olasılık hesap yöntemi kullanılarak Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi ile olasılık dağılım modelleri saptanmıştır. Yağış analizinden sonra taşkın analizine geçilmiş ve DSİ Sentetik (Süperpozeli) ve Mockus yöntemine göre, havzanın hidrojeolojik özelliklerine bağlı olarak ortalama Akış Eğri Numarası 80 kabul edilmiş ve havzanın 2, 4, 6, 8, 12, 18, 24 saatlik yağışlar için birkaç farklı yıllık dönüş aralığında gelmesi muhtemel taşkın debileri hesaplanmıştır.

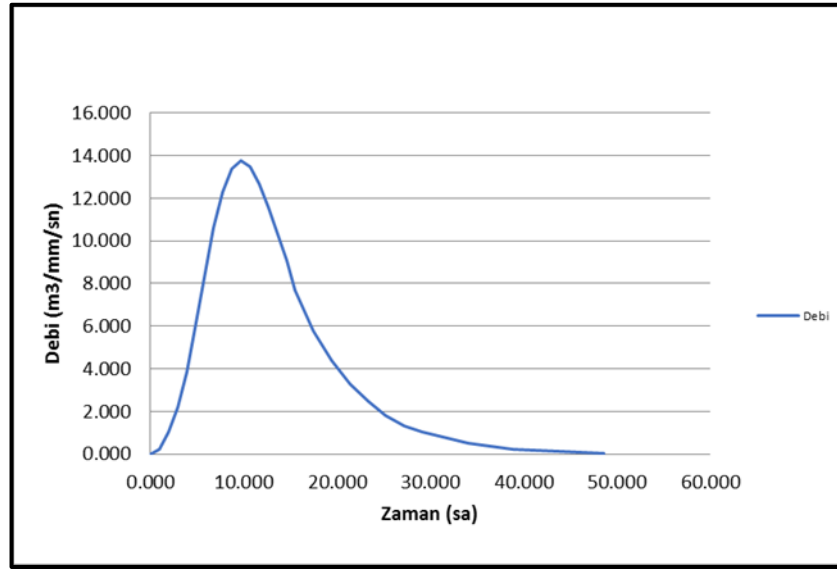
##### **8.1.4.1. DSİ Sentetik Birim Hidrograf ile Taşkın Debi Hesapları**

DSİ Sentetik (Süperpozeli) yönteminde analiz yapılırken birim akış yüksekliğini veren 2 saat süreli bir yağışın birim alandan getireceği akış verimi ( $q$ ; lt/sn/mm/km<sup>2</sup>) hesaplanmaktadır. DSİ Birim Hidrografına göre yapılan çözümleme sonuçları Çizelge 8.2'de verilmiştir. DSİ sentetik birim hidrograf yönteminde artım akışlarının hesaplanması için; yağışın alansal dağılımları hesaplanmıştır. Ülkemizdeki yağışın zaman içerisindeki dağılımı grafiğine göre çalışma alanı A bölgesinde kalmaktadır. Bu nedenle A eğrisine ait katsayılar kullanılmıştır. DSİ birim hidrograf sonuçlarının zaman-debi grafiği Şekil 8.8'de verilmiştir. Hesaplamalarda Karabük Yağış Gözlem

İstasyonunun plüvyograf katsayıları olmadığı için analizlerde Bartın Yağış Gözlem İstasyonunun verileri kullanılmıştır (Çizelge 8.3).

Çizelge 8.2. Yağış gözlem istasyonlarına ait farklı tekerrür aralıklarındaki yağış analizleri.

Meteoroloji İstasyonu	Thiessen'e göre yağış alanları (Km <sup>2</sup> )	İst. temsil oranları (%)	2	5	10	25	50	100
Bartın	33,8	0,10	7,36	9,54	10,67	11,89	12,67	13,37
Karabük	206,9	0,64	19,63	27,04	32,73	40,89	47,69	55,18
Cide	83,9	0,26	17,57	24,19	29,14	36,01	41,52	47,38
Proje yağış alanı (km <sup>2</sup> )	324,55	1,00						
	24 saatlik havza yağışı		44,56	60,76	72,54	88,78	101,89	115,94



Şekil 8.8. DSİ Sentetik Yöntemi birim hidrograf sonuçları grafiği.

Çizelge 8.3. DSİ Sentetik Yönteme göre hesap parametreleri ve sonuçları.

<b>Havza ID:</b>	1
<b>Metod</b>	DSİ Sentetik Birim
<b>(S) Harmonik Eğim</b>	0,019
<b>L (uzunluk) (m)</b>	44.457,080
<b>(A) Havza Alanı (Km<sup>2</sup>)</b>	324,546
<b>SENTETİK</b>	
<b>(Lc) merkezin havza giriş veya çıkış noktasına olan en uzun mesafesidir (km)</b>	18,901
<b>Eğri Numarası (L.Lc/kökS)</b>	6.171.054.983
<b>Qp = A*I*qv*10<sup>-3</sup> (m<sup>3</sup>/sn/mm)</b>	9,053
<b>Kullanıcı tanımlı qp (lt/sn/km<sup>2</sup>/mm)</b>	27,894
<b>DSİ qp (1mm lik için Akış İçin verimi (lt/sn/km<sup>2</sup>/mm)</b>	27,894
<b>DSİ Vb (Birim Hidrograf Hacmi, m<sup>3</sup>)</b>	324.546,238
<b>DSİ T (Hidrografın devam süresi, saat)</b>	36,348
<b>DSİ Tp (Hidrografın pike erişme süresi, saat)</b>	7,270
<b>Kaç Yıllık Debi</b>	100,000
<b>Hesap Debisi (m3/mm/sn)</b>	52,493
<b>Konsantrasyon Süresi</b>	0,000
<b>Hidrografın Yükselme Süresi</b>	7,270
<b>Hidrografın Alçalma Süresi</b>	29,079

Not:  $qp(qv) = 414 / [A^{0.225} (L.Lc/\sqrt{S})^{0.16}]$ ,  $Vb = A.10^3$ ,  $T = (3.65.Vb) / Qp$ ,  $Tp = T/5$

Çizelge 8.4: DSİ Sentetik yöntemi taşkın tekerrür debi sonuçları (m<sup>3</sup>/s).

<b>Yin. Debi.</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>18</b>	<b>24</b>
<b>Q2</b>	0,007	2,197	6,297	9,586	13,033	16,669	20,169
<b>Q5</b>	2,670	12,719	22,934	29,395	35,024	40,531	45,373
<b>Q10</b>	8,263	25,601	41,056	49,890	56,718	63,480	69,046
<b>Q25</b>	20,710	49,789	73,166	85,479	93,410	101,906	108,048
<b>Q50</b>	34,451	74,390	104,677	119,670	128,541	137,743	144,832
<b>Q100</b>	52,493	105,044	143,015	160,730	170,545	180,337	188,496
<b>Q500</b>							249,314
<b>Q1000</b>							283,234

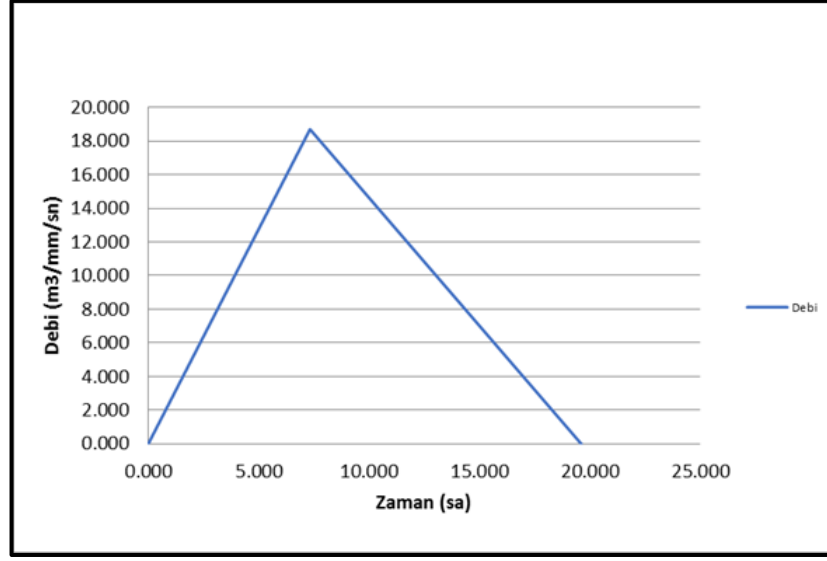
Çizelge 8.5. Bartın istasyonuna ait plüvyograf katsayıları.

PLV (Bartın)	2	4	6	8	12	18	24
	0,470	0,570	0,650	0,710	0,790	0,900	1,000

DSİ sentetik yöntemine göre, havzanın hidrojeolojik özellikleri dikkate alınarak Akış Eğri Numarası 80 olarak kabul edilmiş ve 2-5-10-25-50-100-500 ve 1000 yıllık taşkın debileri Çizelge 8.4’de verilmiştir. Buna göre 24 saatlik yağış için 100 yıllık dönüş aralığında gelmesi muhtemel taşkın debisi  $188,496 \text{ m}^3/\text{sn}$  olarak hesaplanmıştır.

#### 8.1.4.2. Mockus Birim Hidrografa Göre Taşkın Debi Hesapları

Mockus birim hidrograf yöntemi için gereken materyaller havzaların modellenmesi aşamasında elde edilmiştir. Bu yöntemde öncelikle artım akışlarının hesaplanması için yağışın alansal dağılımları (YAD) hesaplanmıştır (Çizelge 8.7). Harmonik eğim 10 parçaya göre hesaplanmış ve ortalama akış eğri numarası havzanın hidrojeolojik özelliklerine göre 80 olarak alınmıştır. Mockus birim hidrograf yöntemi için gereken veriler DSİ Sentetik yöntemine benzer şekilde elde edilmiştir (Şekil 8.9). Yağış alan dağılım katsayısı 0,882 olarak hesaplanmıştır. 0,208 ve 0,163 havza K katsayısının her ikisi içinde çözümlenmeler yapılmış ve akışın toplanma süresi ( $T_c$ ) 6.0 saat olarak hesaplanmıştır.(Çizelge 8.6). Çizelge 8.7’de yağış alan dağılım katsayısı sonuçları görülmekte olup Şekil 8.9’da Mockus yöntemi birim hidrograf sonuçları grafiği görülmektedir. Bu değere karşılık gelen PLV değeri yine Bartın istasyonundan elde edilmiştir. Hesaplanan taşkın debilesi Çizelge 8.8’de verilmiştir. Buna göre 24 saatlik yağış için 100 yıllık dönüş aralığında gelmesi muhtemel taşkın debisi  $284,1 \text{ m}^3/\text{sn}$  olarak hesaplanmıştır.



Şekil 8.9. Mockus yöntemi birim hidrograf sonuçları grafiği.

Çizelge 8.6. Mockus yönteme göre hesap parametreleri ve sonuçları.

<b>Havza ID</b>	1
<b>Metod</b>	Mockus
<b>Havza K Katsayısı</b>	0,208
<b>(S) Harmonik Eğim</b>	0,019
<b>L (uzunluk) (m)</b>	44.457,080
<b>(A) Havza Alanı (Km<sup>2</sup>)</b>	324,546
<b>(Tc) Toplanma Süresi = 0,00032 (L0,77(m) / S0,385 )</b>	5,634
<b>(D) Yağış Süresi = 2*(Tc)1/2</b>	4,747
<b>(Tp) Hidrografın yükselme zamanı = 0,5D +0,6Tc</b>	5,754
<b>(Tr) Hidrografın Alçalma Süresi = Tr = 1,67 x Tp</b>	9,609
<b>(Tp) Yağış Süresi = Tp + Tr</b>	15,364
<b>(Qp) Pik Debi (m<sup>3</sup>/mm/sn) = K*A*ha/TP</b>	11,732
<b>Kaç Yıllık Debi</b>	100,000
<b>Hesap Debisi (m<sup>3</sup>/mm/sn)</b>	362,598
<b>Hidrografın Yükselme Süresi</b>	5,754
<b>Hidrografın Alçalma Süresi</b>	9,609

Çizelge 8.7. Yağış Alan Dağılım Katsayısı sonuçları.

YAĞIŞ ALAN DAĞILIM KATSAYISI					
SÜRE	ARANAN ALAN Km2	YÜZDESİ %	ARA SÜRELER	YÜZDESİ %	ARA SEVİYELER
30 dk	324,546	0,582	1	0,697	
1 SAAT	324,546	0,697	2	0,763	ARA SEVİYELER
3 SAAT	324,546	0,829	3	0,829	
6 SAAT	324,546	0,882	4	0,856	ARA SEVİYELER
24 SAAT	324,546	0,930	5	0,877	ARA SEVİYELER
			6	0,882	
			8	0,894	ARA SEVİYELER
			12	0,898	ARA SEVİYELER
			18	0,914	ARA SEVİYELER
			24	0,930	

<b>Kritik Saat</b>	6.00
--------------------	------

Çizelge 8.8. Mockus yöntemi taşkın tekerrür debi sonuçları.

						24 saatlik yağış yinelenme değerleri					
						2	5	10	25	50	100
<b>T(Saat)</b>	<b>%</b>	<b>MF</b>	<b>YADK</b>	<b>PLV</b>	<b>Son Çarpım</b>	44,562	60,759	72,453	88,780	101,887	115,935
6	1	1,13	0,882	0,65 0	0,648	28,856	39,344	46,794	57,488	65,976	75,072
						Akış Katsayısı (mm)					
						3,277	7,875	12,015	18,524	24,306	30,907
						Q <sub>P</sub> 11,73 2					
						38,440	92,386	140,951	217,322	285,14	362,59
						K <sub>1</sub> 0.208					
						Q <sub>P</sub> 9.193					
						30,1	72,4	110,5	170,3	223,5	284,1
						K <sub>2</sub> 0.163					
<b>Akış Hesapları</b>											
S'=((1000/ CN ) - 10 ) * 25,4											
CN 80,00											
S 63,50											
0,2S 12,70											
0,8S 50,80											
hakış = (P -0,2S') <sup>2</sup> / (P + 0,8S')											
						Q <sub>500</sub> m <sup>3</sup> /s <b>515,957</b> (K <sub>1</sub> 'e göre)					
						Q <sub>1000</sub> m <sup>3</sup> /s <b>582,004</b> (K <sub>1</sub> 'e göre)					

MF: Maksimize faktörü, YADK: Yağış alan dağılım katsayısı, PLV: Plüvyograf katsayısı

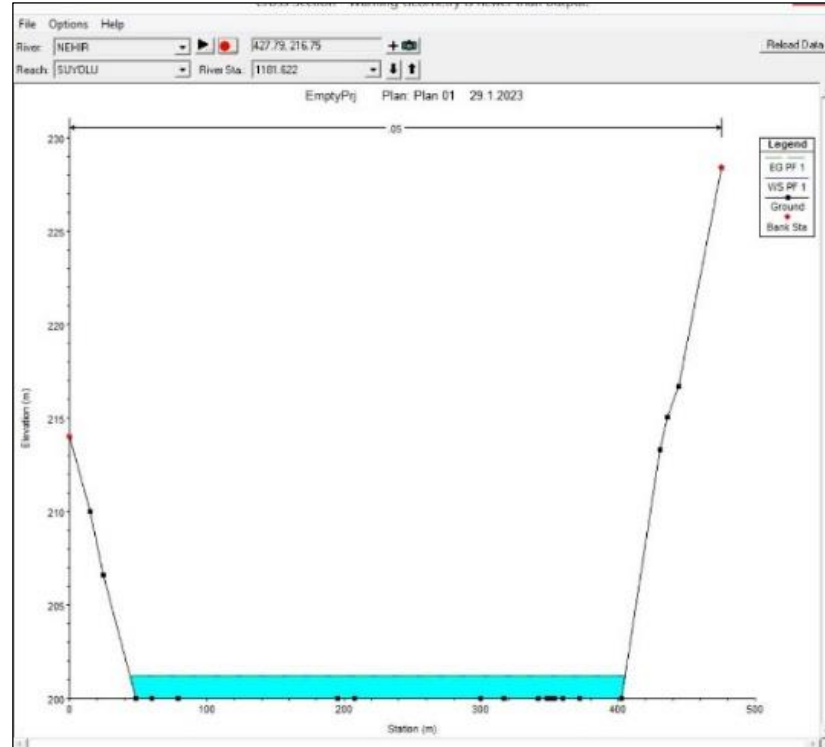
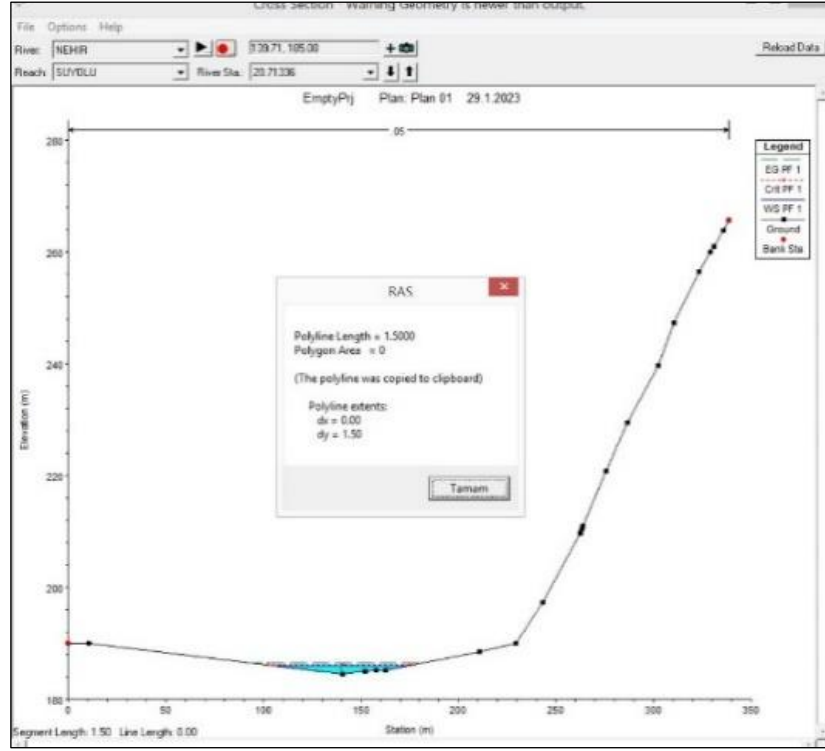
### 8.1.5 Taşkın Yayılım Alanı

Mevcut havzada DSİ Sentetik Yöntemine göre yapılmış olan taşkın analizine göre; 100 yılda gelmesi muhtemel taşkın debisi  $188,496 \text{ m}^3/\text{sn}$  olup, Şekil 8.9'da Netcad yazılımı kullanılarak hesaplanmış olan 100 yıllık tekerrür süresine göre taşkın yayılım alanı Bing haritası üzerinde verilmiştir. Bu muhtemel taşkın debisine göre baraj rezervuarında mevcut arazi ve topoğrafik şartlar altında yüzeysuyu seviyesi yükselişi yaklaşık olarak ortalama 1 -1,5 m olarak hesaplanmıştır (Şekil 8.10). Bu durumda suların barajın hemen yakınında bulunan Karabük-Bartın Karayolunun bazı kesimlerini etkisi altına alabileceği görülmektedir.



Şekil 8.9. Taşkın yayılım alanı.





Şekil 8.10. Baraj rezervuarındaki bazı kesitlerde taşkın döneminde görülebilecek olası su yükselim seviyeleri.

## BÖLÜM 9

### TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Yeraltı ve yerüstü barajları kıyaslandığında, birbirine göre daha avantajlı olduğu alanlar olmakla birlikte; kuraklık ile mücadelede son yıllarda tercih edilen yeraltı barajları düşük maliyeti, zaman tasarrufu, buharlaşma ile su kaybının çok az olması, doğal afetlerden çok az etkilenmesi gibi konularda daha ön planda çıkmaktadır.

Bartın ve Amasra merkezlerinin içme ve kullanma suyu ihtiyaçlarına takviye amacıyla inşa edilen Bartın Bahçecik Yeraltı Barajı'nın mevcut Slurry-Trench gövde tercihine alternatif olarak özgün bir yaklaşım olarak geotekstil gövde modeli önerilmesi, her iki gövde tipi arasında maliyet anlamında karşılaştırma yapılması ve su alma yapısının (drenaj boruları) derinlik kotunun değişimine bağlı olarak alınabilecek su miktarının artışının saptanmasını, farklı tekerrür yıllarına ait taşkın debilerinin hesaplanması ve taşkın yayılım alanlarının saptanmasını amaçlayan bu tez çalışmasında geosentetik gövde modelleri daha ekonomik, işçiliğini daha kolay ve zaman açısından daha kısa olabileceği saptanmıştır.

Büyük darbeler sonucunda delinebilmesi, işçiliğinin düzgün yapılmaması, zeminin düzgün hazırlanmamış olması durumlarında istenilen geçirimsizliğe sahip olamayacak olması ve akifer kalınlığının aks boyunca 5-26 m aralığında değişmesi nedeniyle, önerilen modellerde drenaj borularını yüzeyden 6 m, 11 m ve 16 m derinliğine gömülmesinden kaynaklı olarak jeomembran gövdelerin altındaki bazı kesimlerde doymun akifer bölgesinin kaldırma kuvveti gibi vb. nedenler ile gövdeye zarar verebilme ihtimalinin olması geosentetiklerin ve önerilen modellerin dezavantajlı yanlarını oluşturmaktadır. Bununla birlikte başka bir bölgeye yapılması planlanabilecek jeomembran gövde projesinde, doymun ortamdan gelebilecek, jeomembran uygulamasının zeminde yer değiştirmesi, farklı yükler etkisinde hasar görmesi gibi riskleri azaltabilmek için geçirimsiz temele kadar aralıklı kazıklar

çakılarak ya da jeomembranın kilitleme hendeklerinde sıkıştırılarak desteklenebilme önerileri de göz önünde tutulmalıdır. Özellikle 11 m ve 16 m lik modellerin, kazık çakılmasının veya kilitleme hendeklerinin ek maliyet getireceği ve kazı işlerini güçleştireceği dikkate alınmalıdır. Ayrıca drenaj borular altına serilecek olan jeomembran malzemenin bu riskleri azaltabileceği de değerlendirilmelidir.

Çalışma alanındaki akifer kalınlığının fazla olmasından ve malzeme temini durumlarından dolayı Bahçecik Yeraltı Barajı Slurry-Trench gövdenin diğer gövde tiplerine göre daha yerinde bir seçim olduğu da düşünülmektedir. Bu yöntemin ülkemizde kullanılması hem mühendislik birikimi hem de yöntemin ülkemizde geliştirilmesi açısından da ayrı bir önem arz etmektedir. Slurry-Trench tipi gövdelerde dolgu gövde gibi diğer klasik gövdelere göre hız ve ulaşılabilirlik daha ön planda olup, gövde (dolgu tipi vb) seçimlerinde kısa mesafelerden temin edilebilecek bir dolgu malzemesinin olmaması durumunda çözüm olabilmektedir. Bununla birlikte, ülkemizde ve dünyada kullanımı gün geçtikçe artan geosentetik bariyerlerinde yeraltı barajlarında kullanılabilir olması önem arz etmektedir. Ulaşılabilirlik, zaman, maliyet, yetişmiş vasıflı personel miktarı ve sürdürülebilirlik özellikleri göz önüne alınarak geosentetiklerin de kullanımının avantajlı olacağı yeraltı barajları hiç şüphesiz bulunabilmektedir.

Bahçecik Yeraltı Barajından alınan suların 183,44 m kotundaki Bahçecik Kaynağı kaptajına cazibeli olarak iletilebilmesi için barajın tüm doygun kalınlığında değil sadece yüzeyden itibaren 6 m derine gömülen drenaj boruları vasıtasıyla 186 m kotundaki kaptajdan su alınması gerekmektedir. Tüm doygun kalınlık boyunca veya tezde önerildiği gibi drenaj borularının 5 m veya 10 m daha derine yerleştirilmesi durumunda barajdan alınabilecek su miktarını artıracaktır, Ayrıca mevcut proje şartlarına göre ilerleyen yıllarda artan kuraklık ve nüfus artışı gibi sebeplerden dolayı barajdan alınan su miktarının yetersiz kalması durumunda, baraj rezervuarında açılacak pompaj kuyuları vasıtasıyla su temin edilmesi önerilmektedir. Böylece yapıdaki verimlilik artırılmış olacaktır.

Bu tez kapsamında aşağıdaki tabloda verildiği gibi, baraj verimliliğini artırabilmek amacıyla mevcut projeden 5 m ve 10 m daha fazla kazı yapılarak drenaj borularının

11 m ve 16 m aşağıya yerleştirilmesi durumundaki temin edilebilecek su miktarı hesaplanmış ve yaklaşık olarak sırasıyla 10,84 L/s ve 16,96 L/s daha fazla su alınabileceği saptanmıştır. Bununla birlikte sırasıyla 113463,6 m<sup>3</sup> ve 223927,1 m<sup>3</sup> ilave kazı yapılması gerekmekte ve dolayısıyla maliyet artmaktadır. Ayrıca bu durumda Bahçecik Kaynağı kaptajına cazibeli olarak su iletimi zorlaşmakta ve ekstra başka bir kaptaj inşa edilerek, Bartın ve Amasra su iletim hattına başka bir noktadan verilmesi gerekmektedir. Drenaj borularının yerleştirilme derinliklerinin 5 m ve 10 m artırılması durumunda, cazibe ile iletim koşullarındaki ilave isale hattı uzunlukları ise aşağıda ki tabloda ifade edildiği gibi sırasıyla 314,8 m ve 641 m olarak hesaplanmıştır.

<b>Su Alma Yapısı Kotu</b>	<b>Debi Miktarı (L/s)</b>	<b>Kazı Kübaj Miktarı (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ek İsale Hattı (m)</b>	<b>Ek Kaptaj İstasyonu (var/yok)</b>
187,73 m	19,2	113.056,7	0	yok
182,73 m	30,04	226.520,3	314,8	var
177,73 m	36,16	336.983,8	641	var

Tez kapsamında ayrıca Ovacuma Çayı'nın farklı tekerrür yıllarına ait taşkın debilerinin hesaplanabilmesi için havza modellenerek, yağış analizleri ve taşkın analizleri gerçekteştirilmiştir. Bu hesaplamalar sonucunda havza alanının 324,546 km<sup>2</sup> olduğu ve DSİ Sentetik yöntemine göre 100 yıllık dönüş aralığında gelmesi muhtemel taşkın debisi 188,496 m<sup>3</sup>/sn olduğu saptanmıştır. Bu muhtemel taşkın debisine göre baraj rezervuarında mevcut arazi ve topoğrafik şartlar altında yüzeysuyu seviyesi yükselişi yaklaşık olarak ortalama 1 -1,5 m olarak hesaplanmıştır. Bu durumda suların barajın hemen yakınında bulunan Karabük-Bartın Karayolunun bazı kesimlerini etkisi altına alabileceği, bu açıdan çeşitli tehlikeler doğurabileceği saptanmış olup, barajın karayolu ile yakınlaştığı kesimlerde taşkın düzenleme ve koruma yapılarının inşaasının uygun olabileceği önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Dupuit, J. "Études théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux dans les canaux découverts et à travers les terrains perméables." **2nd ed., Dunod: Paris** (1863).
2. Apaydın, A., "Yer Seçiminden İşletmeye Yeraltı Barajları", **DSİ Genel Müdürlüğü**, Ankara, 0–237 (2014).
3. Apaydın, A., Aktaş, S. D. ve Kaya, S., "Yeraltında Su Depolama: Yeraltı Barajları", **Mavi Gezen**, 14: 42–51 (2009).
4. Nishigaki, M., Kankam-Yeborah, K., and Komatsu, M., "Underground dam technology in some parts of the world", **Journal Of Groundwater Hydrology**, 46 (2): 113–130 (2004).
5. Ishida, S., Tsuchihara, T., Yoshimoto, S., and Imaizumi, M., "Sustainable Use of Groundwater with Underground Dams", (2011).
6. Tunay, M. and Ateşoğlu, A., "Bartın İli Taşkın Sahalarındaki Değişimin Uzaktan Algılama Verileriyle İncelenmesi" **Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi** 2(A): 60-72 (2004).
7. Ojha, R., Ramadas, M., and Govindaraju, R. S., "Current and Future Challenges in Groundwater. I: Modeling and Management of Resources", **Journal Of Hydrologic Engineering**, 20 (1): (2015).
8. Jaafar, H. H., "Feasibility of groundwater recharge dam projects in arid environments", **Journal Of Hydrology**, 512: 16–26 (2014).
9. C Chezgi, J., Pourghasemi, H. R., Naghibi, S. A., Moradi, H. R., and Kheirikhah Zarkesh, M., "Assessment of a spatial multi-criteria evaluation to site selection underground dams in the Alborz Province, Iran", **Geocarto International**, 31 (6): 628–646 (2016).
10. Karaoğulları, T., Üzgüsel, N., Akonbaş, N., "Alüvyonda Bulamaç Hendeği Yöntemiyle Sızdırmazlık Perdesi Yapımı ve Aslantaş Barajındaki Uygulaması" Cilt:1 Sayı:3,28-35 (1977)
11. Önder, H., Yılmaz, M., "A Tool of Sustainable Development and Management of Groundwater Resources" **European Water** 11/12: 35-45, (2005).

12. İnternet: "H3GEN", <https://www.h3gen.com/> (10.11.2022).
13. İnternet: "Anasayfa | Netcad", <https://www.netcad.com/> (09.10.2022).
14. Bayazıt, M., "Hidroloji", **Birsen Yayınevi**, Ankara, s. 260 (2003).
15. Bayazıt, M. ve Önöz, B., "Taşkın ve Kuraklık Hidrolojisi", **Nobel Yayın Dağıtım**, Ankara, 1-36 (2008).
16. Karayolu Tasarım El Kitabı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara (2005).
17. Doğu, A., "Kırıkkale Çoruhözü Deresinin Taşkın Pik Debilerinin Hesaplanması Ve Bir Boyutlu Modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kırıkkale, 1-36 (2016).
18. Topuksak, Ş. "Menfezlerin Projelendirilmesinde Taşkın Debisi Saptama Yöntemlerinin İrdelenmesi ", (2021).
19. Beden, N., "Cevizdere Havzasının Sayısal Modelleme Sistemlerine Dayalı Taşkın Analizi Ve Taşkın Zararlarının Değerlendirilmesi", Doktora Tezi, **Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Samsun, 5-52 (2019).
20. Ersoy, S. B., "Manisa Kızıldere Taşkın Akımlarının HEC-RAS ile Modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Manisa, 11-15 (2017).
21. Chow, V.T., "Handbook of Applied Hydrology", **McGraw-Hill Book Company**, New York (1964).
22. SCS, "Rufoff curve number coputation", **Hydrology Training Series**, Module 104 (1989).
23. SCS, "Estimation of direct runoff from storm rainfall", **National Engineering Handbook**, Section 4 (1972).
24. Sönmez, O., Öztürk, M. ve Doğan, E., "İstanbul Derelerinin Taşkın Debilerinin Tahmini", **SAÜ Fen Bilimleri Dergisi**, 16 (2): 130-135 (2012).
25. İnternet : "Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü", <https://www.dsi.gov.tr/> (12.12.2022).
26. Koçbay A., "Yeraltı Barajları ve Suni Besleme", **Yer Mühendisliği Dergisi**, 13: 32-36 (2019).
27. Apaydin, A., "Malibogazi groundwater dam: an alternative model for semi-arid regions of Turkey to store and save groundwater", **Environmental Earth Sciences**, 59 (2): 339-345 (2009).

28. Devlet Su İşleri, "Yeraltı Barajları ve Yeraltısuyu Suni Besleme Tesisleri Sunumu (Yayınlanmamış)", (2014).
29. "DSİ Yeraltıları Teknik Yönetmeliği" **Resmi Gazete** (14224) (1972).
30. "Yeraltı Suları Hakkında Kanun" **Resmi Gazete** (10688) 4(1):814 (1960).
31. "Bulamaç Hendeği Teknik Şartnamesi" Devlet Su İşleri Ankara (2018).
32. Devlet Su İşleri 23. Bölge Müdürlüğü, "Bahçecik Yeraltıbarajı Jeoteknik Etüt Raporu (Yayınlanmamış)", Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Şube Müdürlüğü, Kastamonu (2019).
33. Mümtaz Güneş ile yapılan görüşmede edinilen bilgidir.
34. Keskin, T.E., "Bartın ve Çevresinin Hidrojeoloji İncelemesi." Proje raporu. **Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Başkanlığı** (Proje No: M-405), Sivas (2011).
35. Devlet Su İşleri 23. Bölge Müdürlüğü, "Yeraltı Barajları/Bahçecik Yeraltı Barajı Sunumu(Yayınlanmamış)", İstanbul, (2020).
36. Devlet Su İşleri 23. Bölge Müdürlüğü, "Bartın İli Bahçecik (Ulupınar) Kaynağının Geliştirilmesi Çalışmaları Sunumu", (Yayınlanmamış) Kastamonu, (2016).
37. Sonar Sondaj ve Jeolojik Araştırma Merkezi, "Bulamaç Hendeği Geçirimsizlik Perdesi Teknik Şartnamesi (Yayınlanmamış)", (2020)
38. DSİ Genel Müdürlüğü tarafından yaptırılacak depolamalarda ve barajlarda kullanılacak geosentetik Bariyerler için teknik şartname.
39. İnternet: "American Society for Testing and Materials", <https://www.astm.org/> (13.12.2022).
40. "İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları" Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı (2021).
41. Ekberli, İ., Gülser, C., and 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).
42. Dernek, E., "Taşkın Yapıları Tasarımı ve Kayı Deresi Örneği", Yüksek Lisans Tezi, **Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Tekirdağ, 3-161 (2012).
43. Bedient, P.B. and Huber, W.C. "Hydrology and Floodplain Analysis. (1992).
44. Keskin, T.E., Çetiner, H.İ., Başdağ, S., Genç, S., Kılıç, H.Y. (2018) "Akım Gözlem İstasyonları Bulunmayan Nehirlerin DSİ Sentetik Yöntemi Kullanılarak

Taşkın Debilerinin Tahmini: Eskipazarçayı Örneği” **2nd International Symposium on Natural Hazards and Disaster Management** Karabük (Mayıs 2018).

45. Çetiner, H.İ., “Bilgisayar Yazılımları İle Ergene Havzasının Tudem Algoritmasına Göre Modellenmesi ve Ova Çay’ın DSİ Sentetik ve Mockus Yöntemlerine Göre Taşkın Debilerinin Hesaplanarak Sonuçlarının Karşılaştırılması”, **IV. Uluslararası Su Kongresi**, İzmir, 226-235 (2017).



## ÖZGEÇMİŞ

Halis Yusuf KILIÇ, 2013 yılı Ankara (Anadolu) Lisesi, 2019 yılı Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü mezunudur. Yazar lisans eğitimini onur öğrencisi olarak tamamlamıştır. Yazar 2021 yılında; Çukurova Üniversitesinde İş Sağlığı ve Güvenliği üzerine tezsiz yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır ve Karabük Üniversitesinde İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında tezli yüksek lisans yapmaktadır. Yazarın üç adet yayınlanmış bildirisi bulunmaktadır. 2020 yılı itibari ile çeşitli inşaat alanlarında mesleğine devam etmektedir.