



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YUKARI YEŞİLİRMAK HAVZASININ YERALTI BARAJI İÇİN POTANSİYEL
İNŞA ALANLARININ BELİRLENMESİ**

Mehmet Erman TOPÇU

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Fethi Ahmet YÜKSEL
(danışman imzalı olacaktır)

II. DANIŞMAN

Doç. Dr. Cihan ÖSER

Mühendislik Bilimleri Anabilim Dalı (Disiplinlerarası)

Mühendislik Bilimleri, Tezli Yüksek Lisans Programı

Ocak, 2024

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet Erman TOPÇU tarafından, **Dr. Öğr. Üyesi Fethi Ahmet YÜKSEL** danışmanlığında hazırlanan "**YUKARI YEŞİLİRMAK HAVZASININ YERALTI BARAJI İÇİN POTANSİYEL İNŞA ALANLARININ BELİRLENMESİ**" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **19/01/2024** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

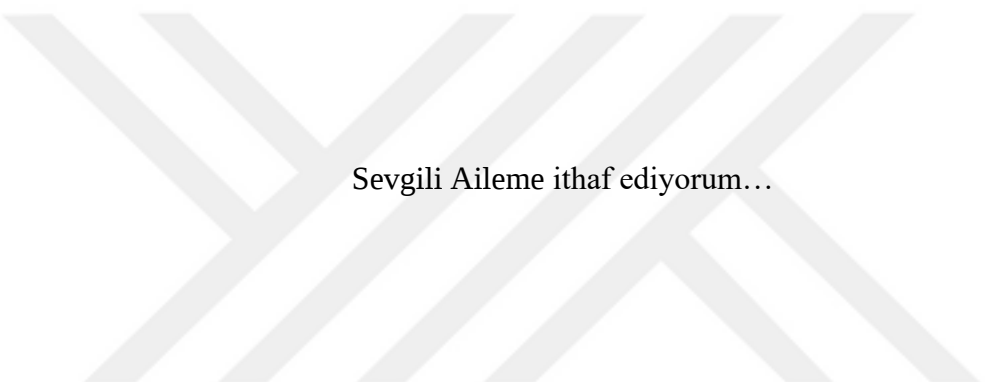
	İmza	Sonuç
DANIŞMAN	Dr. Öğr. Üyesi Fethi Ahmet YÜKSEL	☒
	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa	Kabul
	Uygulamalı Jeofizik Anabilim Dalı	☐ Ret
ÜYE	Dr. Öğr. Üyesi Selman ER	☐
	İnönü Üniversitesi	Kabul
	Coğrafya Anabilim Dalı	☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Gökhan ÇAYLI	☐
	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa	Kabul
	Mühendislik Bilimleri Anabilim Dalı	☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Tekin YEKEN	☐
	Kocaeli Üniversitesi	Kabul
	İnşaat Teknolojisi Bölümü	☐ Ret
ÜYE	Dr. Öğr. Üyesi İnci OKUMUŞ	☐
	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa	Kabul
	Mühendislik Bilimleri Anabilim Dalı	☐ Ret

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve bilimsel etik kuralları içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve her türlü hukuki sorumluluğu aldığımı kabul ederim.

Mehmet Erman TOPÇU

(İmza)



Sevgili Aileme ithaf ediyorum...

BÜTÇE DESTEKLERİ

YUKARI YEŞİLIRMAK HAVZASININ YERALTI BARAJI İÇİN POTANSİYEL İNŞA ALANLARININ BELİRLENMESİ

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması sürecinde yardım ve desteklerini hiç esirgemeyen, tanıdığım ilk günden bu yana her konuda desteğini hep hissettiğim Danışman Hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Fethi Ahmet YÜKSEL'e, tez için gerekli olan Plaxis 2D modelleme programının kullanımı ve analizleri konusunda desteklerini esirgemeyen ve tez yazım aşamasının her bölümünde ilgisini ve alakasını hissettiğim Danışman Hocam Sayın Doç. Dr. Cihan ÖSER'e, lisansüstü eğitimim boyunca ilgisi, sabrı ve teşvikleriyle yanımda olan değerli Hocam Sayın Doç. Dr. Gökhan ÇAYLI'ya, gerek arazi çalışmaları süresince gerek tez yazım aşamasında yardımlarını esirgemeyen Hocalarım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Emre DUMAN'a ve Sayın Prof. Dr. Ali GÜREL'e, lisans ve lisansüstü süreçlerimde her daim yanımda olan, desteğini hep hissettiğim, yol arkadaşım, kardeşim Uğur Doğukan DOĞU'ya, Hayatım boyunca desteklerini hep hissettiğim ve daima hissedeceğim arkadaşlarıma, Benden asla şüphe duymayan, sevgilerini eksik etmeyen, desteklerini asla esigemeyen, evlatları olduğum için gurur duyduğum canım ailemin fertleri babam Nazmi TOPÇU'ya ve annem Zehra Meral TOPÇU'ya sonsuz teşekkür ederim.

Ocak 2024

Mehmet Erman TOPÇU

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI.....	ii
BEYAN	iii
BÜTÇE DESTEKLERİ	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ.....	xi
HARİTA LİSTESİ.....	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	3
2.1. YERALTI BARAJLARI İLE YER ÜSTÜ BARAJLARININ FARKLARI.....	5
2.2. YERALTI BARAJLARINDAN SU ELDE EDİLMESİ.....	6
2.3. YERALTI BARAJLARINDA YER SEÇİMİ	7
2.4. YERALTI BARAJI GÖVDE TİPLERİ	9
2.4.1. Açık Kazı (Open Cut) İle Dolgu Yöntemi	9
2.4.2. Enjeksiyon Yöntemi.....	10
2.4.3. Jet Kolon (Jet Grouting) Yöntemi.....	10
2.4.4. Plastik Beton Geçirimsizlik Perdesi (Slurry Wall/Slurry Trench).....	11
2.4.5. Yerinde Karışım Yöntemi (Deep Mixing, Mix in Place vb.).....	11
2.4.6. Diğer Yöntemler.....	12
2.5. TÜRKİYE’DE YERALTI BARAJI UYGULAMALARI	12
2.6. DÜNYADA YERALTI BARAJI UYGULAMALARI	13
2.7. SU KAYNAKLARININ STRATEJİK ÖNEMİ.....	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM	20
3.1. TOPOĞRAFİK HARİTALAMA	20
3.2. THRONTWAİTE SU BİLANÇOSU	21

4. BULGULAR	26
4.1. ÇALIŞMA ALANI	26
4.2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ	29
4.2.1. Tektonik ve Depremsellik	29
4.2.2. Stratigrafi.....	35
4.2.2.1. Paleozoyik.....	35
4.2.2.2. Mesozoyik	36
4.2.2.3. Tersiyer.....	36
4.2.2.4. Kuvaterner	37
4.3. ÇALIŞMA ALANININ JEOMORFOLOJİSİ	39
4.3.1. Jeomorfolojik Birimler	39
4.3.1.1. Dağlar.....	40
4.3.1.2. Platolar/Aşınım Yüzeyleri.....	43
4.3.1.3. Ovalar	44
4.4. ÇALIŞMA ALANININ KLİMATOLOJİK ÖZELLİKLERİ.....	49
4.4.1. İklim Özellikleri	49
4.4.2. İklimi Etkileyen Faktörler	50
4.4.3. Nemlilik ve Yağış.....	50
4.4.4. Basınç ve Rüzgar.....	52
4.4.5. Kuraklık Analizleri.....	54
4.4.5.1. Standart Yağış İndeksi (SPI).....	55
4.4.5.2. Normalin Yüzdesi İndeksi (PNI)	57
4.5. ÇALIŞMA ALANININ HİDROGRAFİK ÖZELLİKLERİ.....	59
4.5.1. Yeraltı Suyu.....	59
4.5.2. Yüzey Suları.....	59
4.5.2.1. Akarsular	59
4.5.2.2. Göller ve Barajlar	60
4.6. PLAXIS 2D MODELLEME VE ANALİZLERİ	63
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	70
KAYNAKLAR.....	75
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI	79
ETİK KURUL İZİN YAZISI	80
PATENT HAKKI İZNİ	81
ÖZGEÇMİŞ	82

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası	2
Şekil 2. Yer üstü barajlarının inşası sonucunda su altında kalan verimli tarım arazileri ve yerleşim birimleri. (Çorum-Obruk barajı rezervuarı) (Apaydın, 2014)	5
Şekil 3. Yeraltı barajlarında su temini yöntemleri; 1: Cazibeli, 2: Keson kuyulardan pompaj, 3: Sondaj kuyularından pompaj (Apaydın ve diğ., 2008).....	6
Şekil 4. Yeraltı barajlarında işlem aşamaları (Apaydın ve diğ., 2009)	8
Şekil 5. Yeraltı barajlarının gövde tiplerine göre örneklendirmeleri (Apaydın, 2014).....	9
Şekil 6. Jet grout uygulamaları (a) delgi, (b) ve (c) jetleme (Croce ve diğ., 2014).....	11
Şekil 7. Türkiye’deki faal yeraltı barajlarının il bazında dağılımı (DSİ Genel Müdürlüğü, 2022).....	13
Şekil 8. Pernambuco-Brezilya’da yer üstü barajlarının buharlaşma problemine çözüm için yapılan küçük ölçekli yeraltı barajı (Foster ve Tuinhof, 2004)	14
Şekil 9. Etiyopya’da önerilen tersip bendi projesi (Apaydın, 2014)	14
Şekil 10. Nil, Ürdün, Dicle ve Fırat nehir havzalarının düzenlenmiş haritası (Zeitoun, 2006).....	19
Şekil 11. Zile İstasyonu Thornthwaite Su Bilançosu (Duman, 2022).....	21
Şekil 12. Akdağ Zirvesinden (1906m) Kazova’nın Görünümü (Bakış Yönü: Kuzeydoğu) (Apaydın, 2014).....	29
Şekil 13. Tokat Deprem Tehlike Haritası (AFAD, 2019)	30
Şekil 14. Çalışma alanının kuzeydoğusunda seçilen potansiyel inşa alanının jeolojik enine kesidi.....	37
Şekil 15. Çalışma alanının güneydoğusunda seçilen potansiyel inşa alanının jeolojik enine kesidi.....	37
Şekil 16. Çalışma alanının stratigrafik sütun kesidi	38
Şekil 17. Çalışma sahasından bir vadi (Topçu ve Doğu fotoğraf arşivinden, 2023).....	39
Şekil 18. Sakarat Dağı (Bakış Yönü: Kuzey) (Duman, 2022)	40

Şekil 19. Yaylacık Dağı-Plato Sahası (Duman, 2022)	41
Şekil 20. Akdağ ve Kazova (Bakış Yönü: Güney) (Duman, 2022)	41
Şekil 21. Deveci Dağları (Bakış Yönü: Güneydoğu) (Duman, 2022).....	42
Şekil 22. Köse Dağları Doğu Yamacı (Bakış Yönü: Kuzey) (Duman, 2022).....	42
Şekil 23. Yaylacık Dağı (Rakım: 1450m) (Duman, 2022).	43
Şekil 24. Ayranpınar Yükselimi Doğu Bölümü (Bakış Yönü: Kuzey) (Duman, 2022)	43
Şekil 25. Kazova (Bakış Yönü:Güney) (Duman, 2022).....	44
Şekil 26. Akdağ'dan Kazova Görüntüsü (Bakış Yönü: Kuzeybatı) (Duman, 2022)	45
Şekil 27. Zile Ovası (Bakış Yönü: Kuzey) (Duman, 2022)	46
Şekil 28. Turhal Ovası (Bakış Yönü: Doğu) (Duman, 2022).....	47
Şekil 29. Bakımlı Dağı'ndan Gözova Görünümü (Bakış Yönü: Batı) (Duman, 2022)	48
Şekil 30. Kar Yağışının Yükseltiye Göre Değişimi (Bakış Yönü: Kuzeydoğu) (Duman, 2022).	52
Şekil 31. Zile istasyonuna ait verilerle oluşturulan rüzgar gülü (Duman, 2022)	53
Şekil 32. Yeşilirmak (Gümeleönü-Almus Barajı Arası) (Duman, 2022).....	60
Şekil 33. Kaz Gölü (Bakış Yönü: Kuzey) (Duman, 2022).....	61
Şekil 34. Almus Barajı (Bakış Yönü: Kuzeydoğu)	62
Şekil 35. Ataköy Barajı. (Bakış Yönü: Güneybatı) (Duman, 2022)	63
Şekil 36. 10 metrelik jetgrout kolonları ile oluşturulacak geçirimsiz perde için analiz modeli	65
Şekil 37. 20 metrelik jetgrout kolonları ile oluşturulacak geçirimsiz perde için analiz modeli	65
Şekil 38. Baraj önündeki su seviyesinin 5 metre düşürülmesi için 10 metrelik geçirimsizlik perdesi inşa edilmesi durumunda hidrolik eğim değişimi	66
Şekil 39. Baraj önündeki su seviyesinin 5 metre düşürülmesi için 20 metrelik geçirimsizlik perdesi inşa edilmesi durumunda hidrolik eğim değişimi	66
Şekil 40. Baraj önündeki su seviyesinin 5 metre düşürülmesi için 10 metrelik geçirimsizlik perdesi inşa edilmesi durumunda düşey yönde su akışı	67
Şekil 41. Baraj önündeki su seviyesinin 5 metre düşürülmesi için 20 metrelik geçirimsizlik perdesi inşa edilmesi durumunda düşey yönde su akışı	67

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 1. Zile İstasyonu Thornthwaite Değerleri (Duman, 2022).	22
Tablo 2. Thornthwaite Akım Değerleri (Duman, 2022).	23
Tablo 3. Zile Meteoroloji İstasyonu Uzun Dönem Aylık Ortalama Yağış Değerleri (mm) (MGM, 2023).	50
Tablo 4. Zile İli Mevsimlere Göre Ortalama Yağış Değerleri (mm) (MGM, 2023).	50
Tablo 5. Aylık Ortalama Kar Örtülü Gün Sayısı (Duman, 2022).....	51
Tablo 6. Meteoroloji İstasyonlarının Ortalama Nem Değerleri (%) (Duman, 2022)	52
Tablo 7. Zile istasyonu Aylık ortalama, Minimum ve Maksimum Basınç Değerleri (Duman, 2022).....	52
Tablo 8. Zile İstasyonu Rüzgar Esme Yönleri (Duman, 2022)	53
Tablo 9. SPI Değer ve Sınıfları.....	55
Tablo 10. Zile İstasyonu 3 Aylık SPI Tablosu (Duman, 2022).	56
Tablo 11. PNI değerleri ve karşılıkları.	57
Tablo 12. Zile İstasyonu PNI değerleri tablosu (Duman, 2022).....	58
Tablo 13. Sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan zemin parametreleri (AFAD Türkiye Deprem Parametreleri)	64

HARİTA LİSTESİ

Sayfa No

Harita 1. Çalışma alanı yükselti haritası.....	20
Harita 2. Thornthwaite Yöntemine Göre Düzenlenmiş Akış Dağılım Haritası (Gümeleönü) (Duman, 2022).....	23
Harita 3. Thornthwaite Yöntemine Göre Düzenlenmiş Akış Dağılım Haritası (Ataköy) (Duman, 2022).....	23
Harita 4. Thornthwaite Yöntemine Göre Düzenlenmiş Akış Dağılım Haritası (Sütlüce) (Duman, 2022).....	23
Harita 5. Çalışma Alanının Thornthwaite PET(mm) Haritası.....	25
Harita 6. Yukarı Yeşilırmak Havzası Yer Bulduru ve Düzenlenmiş Yükselti Haritası (Duman, 2022).....	27
Harita 7. Yukarı Yeşilırmak Havzası ve Komşu Havzaların Düzenlenmiş Haritası (Duman, 2022).....	27
Harita 8. Çalışma Alanının Lokasyonu ve Yer Bulduru Haritası	28
Harita 9. Yukarı Yeşilırmak Havzası Düzenlenmiş Jeoloji Haritası (Aktimur ve diğ., 1990; Aktimur ve diğ., 1990; Sümengen, 2013a; Sümengen, 2013b; Sevin ve Uğuz, 2014).....	33
Harita 10. Araştırma sahasının jeolojik haritası	34
Harita 11. Yukarı Yeşilırmak Havzasının Düzenlenmiş Morfoloji Haritası. (Duman, 2022)	39

ÖZET

[YÜKSEK LİSANS TEZİ]

[YUKARI YEŞİLİRMAK HAVZASININ YERALTI BARAJI İÇİN POTANSİYEL İNŞA ALANLARININ BELİRLENMESİ]

[Mehmet Erman TOPÇU]

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Mühendislik Bilimleri Anabilim Dalı (Disiplinlerarası)

Mühendislik Bilimleri, Tezli Yüksek Lisans Programı

[Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Fethi Ahmet YÜKSEL

II. Danışman : Doç. Dr. Cihan ÖSER]

Dünya genelindeki su kaynaklarına olan talebin artması, yeraltı barajlarını daha önemli hale getirmektedir. Bu tesislerin yer seçimi, etkinlik, dayanıklılık ve sürdürülebilirlik açısından kritik bir rol oynaması sebebiyle, suyun etkili depolanması, çevresel etkilerin azaltılması ve çeşitli risklere karşı dirençli olabilmesi için özenle planlanmalıdır.

Yeraltı barajları, yerüstü barajlarına göre bir dizi avantaj sunmaktadır. Buharlaştırma riskinin düşük olması, depolanan suyun uzun süreli muhafaza edilmesine imkan tanır. Ayrıca, çevresel etkileri daha az belirgindir ve ekosistemlere zarar verme potansiyeli daha düşüktür. Türkiye gibi su kaynaklarının hassas olduğu bölgelerde, yeraltı barajları su güvenliği ve temini açısından stratejik bir çözüm sunmaktadır.

Yeraltı barajlarının inşası ve sürdürülebilirliği için ise jetgrout gibi modern tekniklerin kullanılması, tesislerin etkinliğini artırmakta ve uzun vadeli su güvenliğine katkı sağlamaktadır. Bu yöntemler, yeraltı barajlarının dayanıklılığını artırırken çevresel etkilere duyarlı bir yapı oluşturulmasına da yardımcı olmaktadır. Bu nedenle, yeraltı barajlarının inşası ve bakımında jetgrout yönteminin kullanımı önemli bir strateji olarak öne çıkmaktadır.

Dünya genelinde su kaynaklarının sınırlı olması ve artan talep, su yönetimi konusunda küresel bir aciliyet yaratmaktadır. Yeraltı barajları, suyun etkili bir şekilde depolanması ve yönetilmesiyle su güvenliğine katkıda bulunmaktadır. Bu tez çalışması, "Yukarı Yeşilirmak Havzasının Yeraltı Barajı İçin Potansiyel İnşa Alanlarının Belirlenmesi" konusunda yeraltı barajlarının yer seçimi sürecinin önemini vurgulayarak, bu yapıların sürdürülebilir su yönetimi açısından sunduğu avantajları ele almaktadır.

Ocak 2024 , 96 sayfa.

Anahtar kelimeler: [Yeraltı Barajı, Yer Seçimi, Yeşilirmak]

ABSTRACT

[M.Sc. THESIS]

[IDENTIFICATION OF POTENTIAL CONSTRUCTION SITES FOR AN
UNDERGROUND DAM IN THE YUKARI YEŞİLIRMAK BASIN]

[Mehmet Erman TOPÇU]

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Engineering Sciences

Thesis Master's Program

[Supervisor : Assist. Prof. Dr. Fethi Ahmet YÜKSEL

Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Cihan ÖSER]

[The increasing demand for water resources worldwide has highlighted the significance of underground reservoirs. Due to their critical role in site selection, efficiency, durability, and sustainability, careful planning is essential for effective water storage, reducing environmental impacts, and resilience against various risks.

These reservoirs offer advantages over surface reservoirs, such as low evaporation risks, enabling long-term water storage with less pronounced environmental impacts and lower potential for harming ecosystems. Particularly in regions with sensitive water resources like Turkey, they present a strategic solution for water security and supply.

Modern techniques like jet grouting enhance the construction and sustainability of underground reservoirs, contributing to their effectiveness and long-term water security. Therefore, the use of jet grouting emerges as a significant strategy in constructing and maintaining underground reservoirs.

The global urgency for water management, driven by limited water resources and increasing demand, underscores the importance of underground reservoirs. They contribute to water security through effective storage and management. This thesis study emphasizes the importance of site selection for underground reservoirs, focusing on the 'Determination of Potential Construction Areas for the Underground Reservoir of the Upper Yeşilirmak Basin,' and addressing the advantages these structures offer in sustainable water management.]

January 2024, [96] pages.

Keywords: [Underground dam, Site Selection, Yesilirmak]

1. GİRİŞ

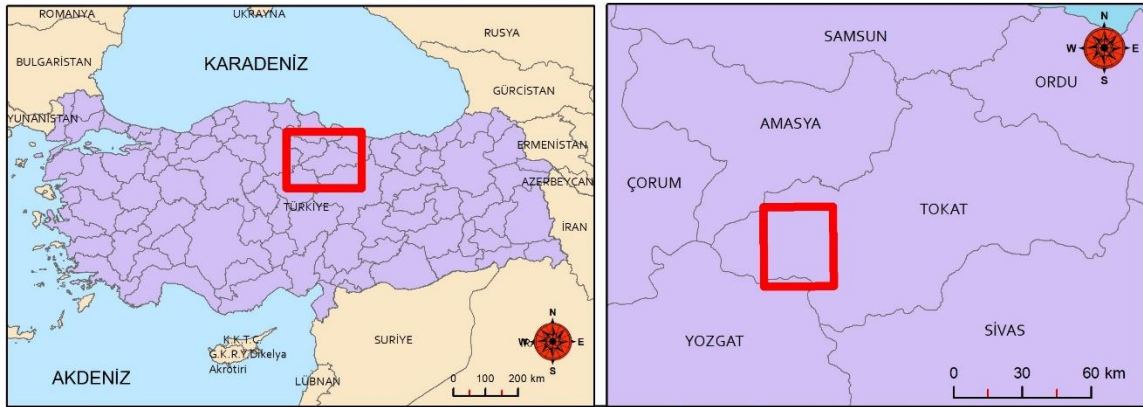
Dünya genelindeki su kaynaklarına olan artan talep, yeraltı barajlarını daha önemli hale getirmektedir. Bu tesislerin yer seçimi, etkinlik, dayanıklılık ve sürdürülebilirlik açısından kritik bir rol oynamaktadır. Su kaynaklarının optimum şekilde kullanılabilmesi ve çeşitli risklere karşı dirençli olabilmesi için yeraltı barajlarının yer seçimi özenle planlanmalıdır. Hidrojeolojik özellikler, akifer geometrisi, su kalitesi ve çevresel faktörler, yeraltı barajlarının yer seçiminde göz önünde bulundurulması gereken temel unsurlardır. Bu unsurların dikkatle değerlendirilmesi, su kaynaklarının sürdürülebilir ve etkin bir şekilde yönetilmesine olanak tanımaktadır.

Yeraltı barajlarında yer seçimi, barajın başarılı bir şekilde işlev görmesi, suyun etkili bir biçimde depolanabilmesi ve çevresel etkilerin en aza indirilmesi açısından kritik bir faktördür. Bu yapıların su kaynaklarını sürdürülebilir şekilde değerlendirmek, suyun uzun vadeli depolanması ve yönetilmesi açısından jeostratejik bir öneme sahiptir. Bu özellikleri, iklim değişikliklerinin ve ani hava olaylarının neden olduğu su kaynaklarındaki dalgalanmalara karşı direnç sağlar. Ayrıca, yeraltı barajları, suyun yeraltındaki tabakalara nüfuz etmesini engelleyerek tuzluluk gibi sorunları da azaltabilir. Türkiye gibi su kaynakları bakımından hassas bölgelerde, yeraltı barajları, su güvenliği ve temini açısından stratejik bir çözüm sunmaktadır.

Yeraltı barajları, yerüstü barajlarına kıyasla bir dizi avantaj sunar. Buharlaşma riskinin düşük olması, yeraltı barajlarının su kaybını minimize etmesini sağlayan önemli bir özelliktir. Depolanmış su, atmosferik koşullardan daha az etkilenir, bu da suyun uzun süreli muhafaza edilmesine imkan tanır. Bu durum, suyun daha etkili bir şekilde kullanılabilmesini ve sulama, içme suyu temini gibi alanlarda güvenilir bir kaynak oluşturmalarını sağlar. Ayrıca, yeraltı barajları genellikle çevresel etkileri daha az olan bir yapıya sahiptir. Yüzeydeki barajlarda sıklıkla görülen sulak alan kaybı ve ekosistem bozulması gibi sorunlar, yeraltı barajlarında daha az belirgindir. Bu durum, su kaynaklarına zarar vermeden, doğal ekosistemlerin korunmasına ve biyoçeşitliliğin sürdürülebilirliğine katkıda bulunur.

Türkiye, iklimi ve coğrafi konumu nedeniyle su kaynakları açısından önemli bir bölgede yer almaktadır. Ancak, nüfus artışı, endüstriyel talepler ve tarımsal sulama gibi etkenlerle birlikte su kaynaklarına olan talep hızla artmaktadır. Yeraltı barajları, Türkiye'nin su kaynaklarını etkili bir şekilde yönetmesine, su güvenliğini artırmasına ve kurak dönemlerde su teminini sağlamasına katkıda bulunarak ülkenin sürdürülebilir kalkınmasına önemli bir destek sunmaktadır.

Dünya genelinde temiz su kaynaklarının sınırlı olması ve bu kaynakların hızla tükenmesi, su yönetimi konusunda küresel bir aciliyeti ortaya koymaktadır. Artan nüfus, endüstrileşme ve iklim değişiklikleri gibi faktörler, temiz suya olan talebi artırmaktadır. Yeraltı barajları, bu bağlamda, suyun etkili bir şekilde depolanmasını ve yönetilmesini sağlayarak dünya genelinde su güvenliğine katkıda bulunmaktadır. Bu tez çalışması, "Yukarı Yeşilırmak Havzasının Yeraltı Barajı İçin Potansiyel İnşa Alanlarının Belirlenmesi" konusunda yeraltı barajlarının yer seçimi sürecinin önemini vurgulayarak, bu yapıların yerüstü barajlarına göre sağladığı avantajları ele alacaktır. Yeraltı barajlarının, su yönetimi açısından sürdürülebilir çözümler sunma potansiyelini anlamak, su kaynaklarının etkili ve güvenilir bir şekilde kullanılmasını sağlamak adına kritik bir adım olacaktır.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Yeraltı barajı, genel olarak vadilerde bulunan alüvyon akiferlerin önlerine betondan oluşan bir perde (dam veya kesme duvarı) ile inşa edilir. Bu perde uygun beslenme koşullarına ve yeterli rezervuar hacmi bulunan akiferin mansabına, genel olarak geçirimsiz bir tabaka düzlemi üzerine oturur. Akifer içinde bulunan suyun depolanarak tutulması ya da barajın inşasından önce akifer içinde tutulması, yeraltı suyu akımının engellenmesini sağlar (Apaydın, 2014). Hem doğal akifer içinde hem de yapay bir akifer oluşturulmasıyla yeraltı barajı inşa edilebilmektedir. Vadilerin daraldığı bölgelerde, özellikle taneli akiferlerde yeraltı barajları kurulabilmektedir.

Topoğrafik, jeolojik, teknik ve ekonomik faktörlere bağlı olarak yeraltı barajlarında depolanan yeraltı suyu, genellikle çekim kuvveti veya sıkça kuyulardan yapılan pompalama yoluyla kullanıma sunulmaktadır. Cazibeli barajların inşasıyla pompajlı barajların işletilmesinin yüksek maliyetli olması beklenir. Yeraltı barajlarının yapım aşamasında ilk adım, akifer tabakasının sınırlarını ve hidrolik özelliklerini belirlemektir. Yeraltı barajlarının hidrolik özelliklerini belirlemek, yüzeydeki geleneksel barajlarla kıyaslandığında daha zordur. Bu tür barajların kurulabilmesi için akifer tabakasının belirli bir kalınlığa, geçirimsiz kenarlara, yüksek depolama katsayısı (S) ve hidrolik iletkenlik katsayısına (K) sahip olması, ayrıca akiferin dar bir alanda kesit alanının azalması gerekmektedir.

Yeraltı barajları, inşa edilecek gövdenin tamamen gömülü veya zemin üzerine yükselmiş olmasına göre ve kullanılacak malzeme türüne bağlı olarak tasarlanmaktadır; bu tasarım çerçevesinde farklı isimlendirmelere tabi tutulmaktadır (Nilsson, 1988). Tersip bentleri, yeraltı depolama yapıları içinde yeraltı barajları ve su depolamak için kullanılabilen tersip bentleri olarak iki ana kategoride sınıflandırılabilir. Özellikle Rusubat depolama barajı olarak da adlandırılan tersip bentleri, su depolamak amacıyla da kullanılabilirler. Geçirimsiz perdenin yeraltında tamamen gömülü olduğu barajlar "batık barajlar" olarak adlandırılırken, perdenin yüzey depolaması için zeminden yukarıya yükseltildiği barajlar "batabilir barajlar" olarak bilinmektedir (Santos ve Frangipani, 1978).

Yeraltı barajları, perde inşasında kullanılan malzemenin türüne bağlı olarak isimlendirilebilmektedir. Blok kaya, plastik, kil ve beton gibi malzemeler en sık kullanılanlardır. Malzeme seçimi, yer üstü barajlarında olduğu gibi pazar koşulları ve doğal etmenlerden etkilenir ve değişkenlik gösterir (Apaydın, 2014).

Geçirimsizliği artırmak amacıyla yeraltı barajlarında kullanılan çeşitli malzemeler, bu yapıların etkin bir şekilde inşa edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Kil, beton, plastik, blok kaya gibi malzemelerin kullanımı, malzeme seçiminin piyasa koşulları ve doğal faktörlere bağlı olarak barajın gövde tipine göre değişmesine neden olmaktadır. Bu bağlamda, maliyet açısından en uygun malzemenin seçimi genellikle barajın inşa edildiği bölgeden temin edilen malzemeleri içermektedir.

Yeraltı barajlarında fizibilite analizi, yerüstü depolama tesislerinin analizine benzer bir süreci içermektedir. Projeye ilişkin gelir ve giderler hesaplanarak rantabilite analizleri gerçekleştirilir. Tesisin maliyeti, iletim hattı inşaatları, sanat yapıları ve kazı-dolgu maliyetleri gibi unsurları içerir. Ayrıca, tesisin işletilmesi sırasında enerji, işçilik, yenileme ve amortisman gibi çeşitli masraflar dikkate alınır. İşletme ve tesis maliyetleri birleştirilerek toplam giderler hesaplanır. Sulama, içme suyu veya taşkın koruma gelirleri, projenin amaçlarına göre hesaplanır. Hesaplanan yıllık gelirin, yıllık giderlere oranı 1'den fazla ise proje başarı şansına sahiptir.

Yeraltı barajının etüt başlangıcından inşaatın tamamlanarak faaliyete geçişine kadar yapılan harcamaların tümü tesis maliyeti dahilindedir. Gövde tipi inşaat maliyetini önemli ölçüde etkiler. Verimliliğin artması için, maliyetin düşürülmesinde yakın mesafeden malzeme temini önem arz eder. Ayrıca, su kuyularından pompaj ile elde edilecekse, pompaj için kullanılacak her işlem ek gider olarak hesaplanmalıdır.

Tesis maliyeti, işletme-bakım çarpanı ile çarpılarak hesaplanmaktadır. Benzer şekilde, yenilenmesi planlanan tesis bedeli de yenileme gideri çarpanı kullanılarak hesaplanmaktadır. Eğer yeraltı barajı cazibe ile su elde etmiyorsa trafoların ve pompaların bakım-onarım maliyetleri ile kuyuların bakım-onarım ve yenileme maliyetleri artış gösterebilir. Su cazibe ile elde edildiğinde, işletme bakım maliyetleri genellikle daha düşük olmaktadır. Projeye ait bir diğer maliyet artırıcı unsur ise yatırım bedelinin amortisman gideri çarpanı ile çarpılmasıdır.

2.1. YERALTI BARAJLARI İLE YER ÜSTÜ BARAJLARININ FARKLARI

Yer üstü barajları inşası arazi kaybı sorunları, çeşitli anlaşmazlıklar, taşınma ve yüksek maliyet gibi problemler barındırmaktadır. Çünkü, yer üstü barajlarının rezervuar alanlarının bulunduğu araziler, başka bir amaçla kullanılamamaktadır (Şekil 2). Yeraltı barajları için bu sorunlar söz konusu değildir. Yeraltı barajları, yerüstü barajlardan daha kısa sürede, daha ucuza ve daha kolay bir şekilde inşa edilmektedir. Ayrıca yeraltı barajlarının buharlaşma ve su azalması, yer üstü barajları ile karşılaştırıldığında çok daha düşüktür.



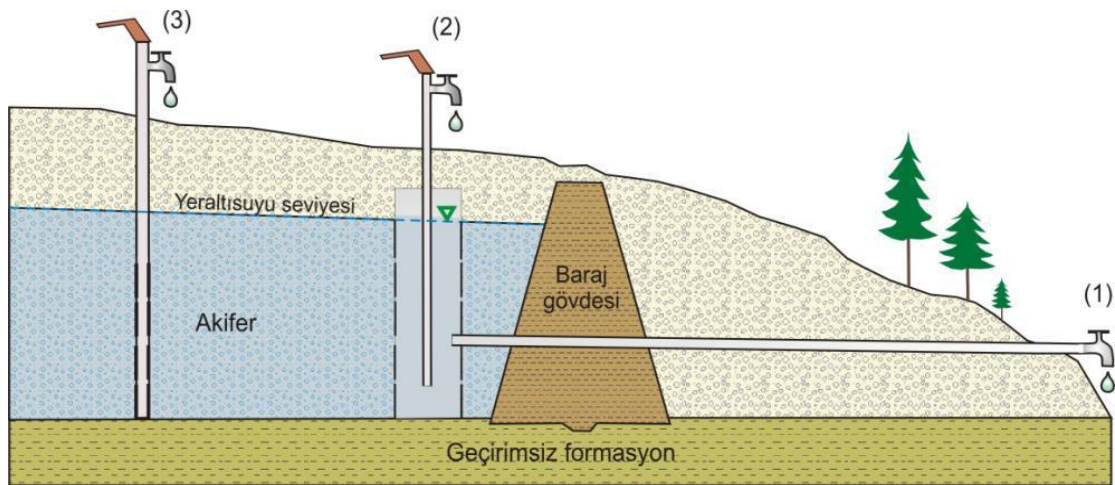
Şekil 2. Yer üstü barajlarının inşası sonucunda su altında kalan verimli tarım arazileri ve yerleşim birimleri. (Çorum-Obruk barajı rezervuarı) (Apaydın, 2014).

Yer üstü barajlara kıyasla, yeraltı barajlarının yer seçimi ve projelendirmesi daha zordur. Örneğin, yer üstü barajlarındaki suyun miktarı, haritalama çalışmaları ve akarsuyun debi hesaplamaları kullanılarak kolay ve hızlı olarak hesaplanabilir. Fakat, yeraltı barajları çalışmalarında, gözenekli yapıya sahip bir jeolojik formasyona ait rezervuar içinde depolanabilir yeraltısuyu miktarının belirlenmesi ile akiferin beslenme şartlarının belirlenerek hesaplanması zorlayıcı ve masraflı bir süreçtir. Bu nedenle, ayrıntılı ve kapsayıcı hidrojeolojik çalışmalar yapılması gerekmektedir (Kaya, 2020).

2.2. YERALTI BARAJLARINDAN SU ELDE EDİLMESİ

Topoğrafyanın uygun olduğu durumlarda yeraltı barajları cazibe ile elde edilmektedir. Aksi takdirde pompaj gereklidir. Cazibeli yeraltı barajları, özellikle kazı maliyetleri dikkate alındığında, pompajlı yeraltı barajlarından daha fazla bütçe gerektirir. Bununla birlikte, su eldesi cazibe ile gerçekleştirilen yeraltı barajlarında, işletmenin ömrünce enerji sarfıyatı bulunmayacağından, işletmenin maliyeti de düşük olacaktır. Yeraltı barajları projelendirilirken suyun elde edilmesi ve depolanması yöntemleri ve seçenekleri mutlak doğru değerlendirilmelidir. Bunun için hem arazinin fizikler koşulları hem de tesisin maliyet faktörleri dikkatli ve titiz bir biçimde değerlendirilmelidir. Fizibilite çalışmalarının hassasiyetle tamamlanması, projenin bu veriler doğrultusunda en uygun seçeneklerinin belirlenebilmesi konusunda büyük öneme sahiptir (Kaya, 2020).

Yeraltı barajları, yüksek eğimli topoğrafyalarda veya düşük akifer kalınlığına sahip vadi alüvyonlarında, cazibe yöntemi kullanılarak su temin edebilecek şekilde inşa edilmektedir. Ancak yüksek akifer kalınlığı ve düşük arazi eğimi kazı maliyetlerini artırmakta ve teknik güçlükler ortaya çıkartmaktadır. Bu durum, pompaj yöntemi ile suyun kuyulardan elde edilmesini zorunlu kılmaktadır. Çoğunlukla sahile yakın akiferlerde, enjeksiyon ya da bitişik kazık benzeri yöntemlerin kullanılması ile inşa edilen yeraltı barajlarından sadece pompaj yoluyla yararlanılmaktadır. Yeraltısu seviyesinin derinliği, hidrolik iletkenliği, su ihtiyacı ve teknik yeteneklere göre, gevşek taneli malzemeden inşa edilen yeraltı barajlarında açılan kuyular sondaj ya da büyük çaplı keson kuyuları olabilir. (Şekil 3). Kaya akiferlerinde ise sondaj kuyuları açılır (Apaydın, 2014).



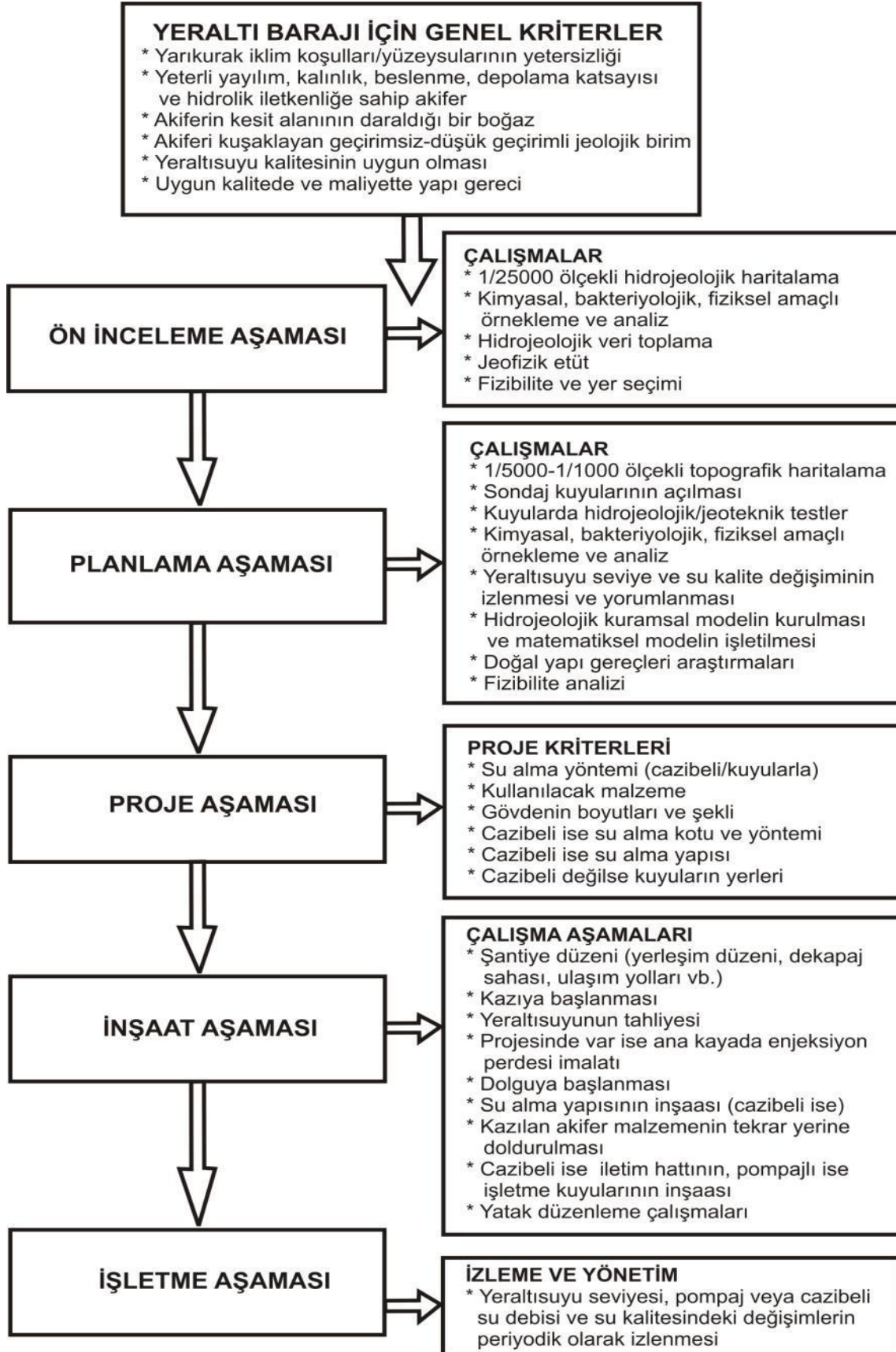
Şekil 3. Yeraltı barajlarında su temini yöntemleri; 1: Cazibeli, 2: Keson kuyulardan pompaj, 3: Sondaj kuyularından pompaj (Apaydın ve diğ., 2008).

2.3. YERALTI BARAJLARINDA YER SEÇİMİ

Yer seçimi uygulamasının, planlama, fizibilite, projelendirme gibi süreçleri içermesinden dolayı yer seçimi, mühendislik jeolojisi, mühendislik jeofiziği, uygulamalı hidrojeoloji disiplinleri ile daha çok ilintilidir. Bir yerde yeraltı barajı yapılabilmesi için aşağıdaki şartların uygun olması istenir (Apaydın, 2014).

- Genel olarak 15 ila 20 m’yi aşmayan alüvyon ortamların tercih edilmesi gerekmektedir. Kazı zorluklarının bertaraf edildiği durumlarda ya da plastik beton perde ya da bitişik kazık yöntemi uygulandığında daha kalın alüvyon ortamlarında da yeraltı barajı inşası mümkündür.
- Kalınlık arttıkça, topoğrafyanın da uygun olduğu durumlarda, depolama hacmi ve yararlanılabilecek su miktarı artış gösterecektir.
- Akiferin hidrolik iletkenliği(K) ve depolama katsayısı(S) yüksek olmalıdır. Bunun dışında akiferin, erime boşluklu kırıklı çatlaklı olması gerekmektedir.
- Kaya akiferi ya da alüvyonun altında, etkili enjeksiyon yapılabilir veya kazılabilir derinlikte geçirimi olmayan bir ortamın bulunması gerekmektedir.
- Akifer bölgesi ve beslenin havzanın alanı geniş veya yağışı bol aylarda yüzeysel akıştan ya da yan formasyonlar tarafından yeterli düzeyde beslenim mevcut olmalıdır.
- Kazı ve dolgu sürecinde, teknik ve mali güçlüklerin azaltılması için akifer, formasyonun daralmakta olduğu ve düşük kalınlıktaki bir boğazda olmalıdır.
- Gövdenin inşa edilmesinde, gövdenin arkasında suyun depolanması için yeterli düzey büyüklükte yeraltı rezervuarı oluşabilmesine dikkat edilmelidir. Bu, yükselti eğiminin düşük olması, perdenin gerisinde kalın akiferin oluşması ve yayılımın yüksek olması durumunda mümkün olmaktadır. Fakat bu koşul her durum için zorunlu değildir. Eğim yüksekliği sebebiyle kret kotunun altında kalan depolamanın hacminin düşük olması halinde, eğer akifer, havzanın gerisine geniş bölgelere yayılıyor, yeterli miktarlarda beslenmekteyse, yeraltı barajının inşası mümkün olacaktır (Apaydın, 2014).

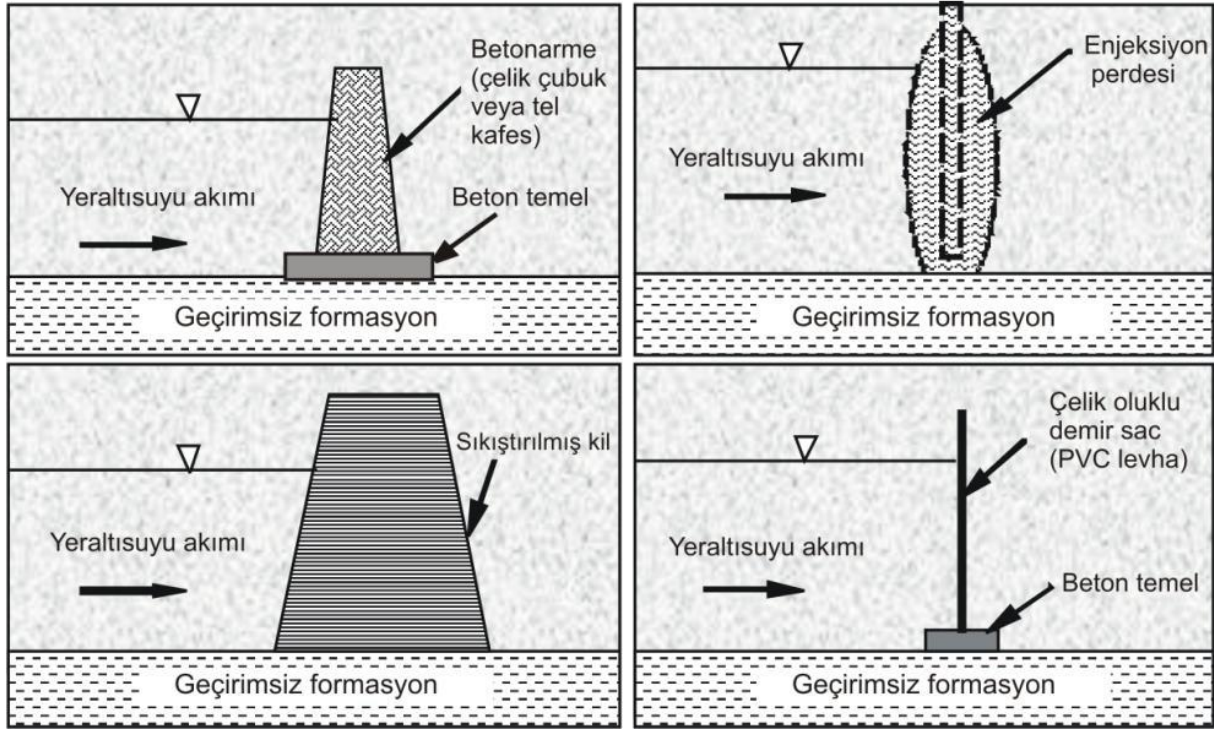
Yeraltı barajları için yapılacak yer seçiminde, ön inceleme ve planlama, projelendirme, inşaat, işletme gibi aşamalar bulunmaktadır. Apaydın (2009) tarafından iş akış şeması hazırlanmıştır ve Şekil 4’te verilmiştir. Şema, yeraltı barajları için genel kriter ve ön incelemeden, işletme aşamasına kadarki süreçte yapılması gerekenleri göstermektedir. Bu şema, genel bir kılavuздur. Şema, proje ve yerel koşulların durumuna göre değişiklikler gösterecektir. Bu çalışma kapsamında, “ön inceleme aşamaları” bölümü incelenmiş ve uygulanmıştır.



Şekil 4. Yeraltı barajlarında işlem aşamaları (Apaydın ve diğ, 2009).

2.4. YERALTI BARAJI GÖVDE TİPLERİ

Akifer kalınlığı ve genişliği ile akifer formasyonun yapısı, yeraltı barajları için gövde tipi doğal malzeme seçeneklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Akifer kalın ve geniş olursa, açık kazı yönteminde maliyet artırmaktadır. Bu yüzden alüvyon vadilerinde plastik beton perde gibi metodların tercih edilerek maliyet problemi çözülmek istenmektedir. Kaya ortamında, bitişik kazı, plastik beton perde ve enjeksiyon da kullanılabilir (Şekil 5) (Apaydın, 2014).



Şekil 5. Yeraltı barajlarının gövde tiplerine göre örneklendirmeleri (Apaydın, 2014).

2.4.1. Açık Kazı (Open Cut) İle Dolgu Yöntemi

Sığ akifer veya geçirimsiz formasyon durumunda, klasik yeraltı barajları oluşturmak için akifer malzemesi kaldırılır. Bu yöntem, Hindistan ve Kuzey Amerika gibi birçok ülkenin tercih ettiği bir yaklaşımdır. Özellikle, dolgu tipi yeraltı barajları, son zamanlarda 10 m'nin altında gövde yüksekliğine sahip olmasına rağmen, geçmişte inşa edilenler daha yüksek yüksekliklere sahiptir. Ancak, yükseklik arttıkça kazı derinliği ve dolayısıyla maliyet de artmaktadır.

Dolgu tipi yeraltı barajlarının inşası sırasında, harcamaların yanı sıra yeraltı suyu seviyesinin altında çalışmanın zorlukları da göz önüne alınmalıdır. Kazı alanına sızan suyun etkilerini azaltmak için suyun tahliye edilmesi için kuyu, pompa gibi önlemler önceden planlanmalıdır. Yamaç duraylılığı, su tablası altında daha fazla dikkate alınmalıdır.

Dünya genelindeki dolgu tipi yeraltı barajları, çeşitli malzemeleri içerir, bunlar arasında toprak, beton, tuğla, briket, taş, plastik gibi materyaller bulunmaktadır. Ekonomik açıdan en uygun olanı genellikle doğal geçirimsiz malzemenin bulunduğu eksen yakınındaki yeraltı barajlarıdır (Apaydın, 2014).

2.4.2. Enjeksiyon Yöntemi

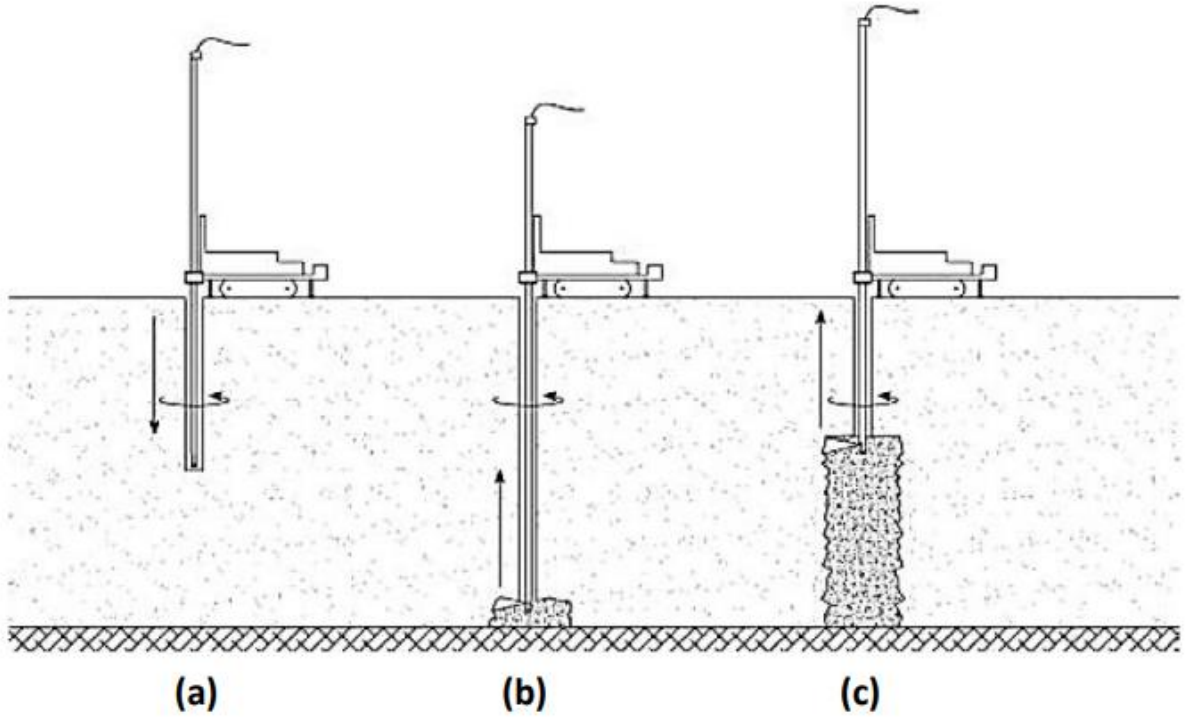
Yöntem, genellikle hat boyunca açılan kuyularla, zemine basınçla çimento ve benzeri malzemelerin enjekte edilerek geçirimsiz bir perde oluşturmayı hedefler. Bu yöntem, dolgu barajlarında kullanılan büyük kazı makinelerine veya kamyonlara ihtiyaç duymaz, bu da uygulama maliyetini azaltır. Zeminin permabilitesini genellikle 10-5 cm/s seviyelerinden aşağıya düşürmek mümkündür, ancak permeabilitede önemli bir gelişme kaydedilemeyeceği önceden kabul edilmektedir (Apaydın, 2014).

Derin perdelerde, kuyu eğilmesi durumu ortaya çıkabilir. Ayrıca bu, enjeksiyonun etkinliğinde sorunlara yol açabilir. İmalat tamamlanınca, enjeksiyon perdesinin etkinliğini değerlendirmek için kontrol kuyularından alınan karotlar alınır ve yerinde basınçlı su testleri kullanılmaktadır. İhtiyaç halinde, kuyular sıklaştırılır ve ara enjeksiyonlar gerçekleştirilir. Örneğin, Japonya'da Fukusato ve Sunagawa yeraltı barajlarında, gövdenin kanat bölümleri başarıyla enjeksiyon yöntemiyle inşa edilmiştir. Bununla beraber, gövdenin büyük bir bölümü ise yerinde derin karışım yöntemi olan "deep mixing" ile inşa edilmiştir.

2.4.3. Jet Kolon (Jet Grouting) Yöntemi

Bu yöntem, zeminin içine büyük çaplı kuyular ile yüksek basınçtan faydalanılarak çimento ve çeşitli diğer malzemelerin de enjekte edilmesiyle gerçekleştirilir. Matkapla hızlı bir şekilde delinen kuyulara enjekte edilen malzeme ile kolon oluşturulur; bu kolonlar birleşerek zemin içerisinde geçirimi olmayan veya düşük geçirimli bir perde meydana getirir (Şekil 6). Çin'de Longhe-Liaoning ve Longkou-Shangdong yeraltı barajları gibi projelerde başarılı bir şekilde kullanılan jet kolon yöntemi, Longhe barajında 1,4 metre aralıklar ile kuyular açılmıştır.

Bunlara çimento şerbeti enjekte edilip 0,4 metre kalınlığa sahip, hidrolik iletkenliği de 10-7 cm/s olan bir geçirimsiz perde oluşturmuştur. Bu yöntem özellikle çakıl blok boyutlarına sahip malzemeleri barındırmayan gevşek zeminlerde etkili bir şekilde uygulanabilir. Bloklular zeminlerde ise genellikle kimyasal enjeksiyon gibi diğer metotlarla birlikte kullanılmaktadır (Apaydın, 2014).



Şekil 6. Jet grout uygulamaları (a) delgi, (b) ve (c) jetleme (Croce ve diğ., 2014).

2.4.4. Plastik Beton Geçirimsizlik Perdesi (Slurry Wall/Slurry Trench)

Özel makinelerle açılan kepçe benzeri kazıcılarla oluşturulan çukura çimento malzemesi dökülerek zeminin sıkıştırılması ve geçirimsiz hale getirilmesi işlemine dayanan bu metot, genel olarak gevşek zeminde ve yumuşak tipte kaya ortamlarında başarılı bir şekilde uygulanabilir. Bu yöntemle oluşturulan geçirimsiz perde, permeabilitesini 10^{-6} cm/s'nin altına düşürebilir.

2.4.5. Yerinde Karışım Yöntemi (Deep Mixing, Mix in Place vb.)

Geçirimsizliğin sağlanması için inşa edilen diyafram duvarlar, çeşitli özel makineler gerektirmekte ve klasik tip enjeksiyon metoduna kıyasla daha yüksek maliyetli olmaktadır. Farklı uygulama alanları bulunsa da en yaygın olarak tercih edilen yöntem, yerinde karışım yöntemi olan "deep mixing"dir. Bu metot dahilinde, büyük auger makineleriyle zeminde kuyuya benzer açılmış olan çukurlara çimentonun yerindeki doğal malzemeyle karıştırılmasıyla oluşan malzemenin enjektesiyle sütunların oluşturulması sağlanır. Sütunlar birleştirilerek geçirimsiz bir perde inşa edilir. Bu metotta, organik madde açısından zengin olan veya tuzlu, dispersif nitelikte olan malzemenin kullanılmamasına özen gösterilmelidir (Apaydın, 2014).

2.4.6. Diğer Yöntemler

H-tipi çelik kazık, geniş çaplı kazık ve yatay çok eksenli kazı yöntemleri gibi deneysel şekilde uygulanmakta olan yöntemler, uygun bir işçilikle perdede istenen nitelikte geçirimsizlik sağlayabilirler, bu da söz konusu yöntemlerin tekniğine ve standardına uygun bir şekilde uygulandığında elde edilir.

2.5. TÜRKİYE’DE YERALTI BARAJI UYGULAMALARI

Türkiye’imizde, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü ve Toprak Koruma ve Sulama Genel Müdürlüğü tarafından çeşitli ölçeklerde yeraltı barajları faaliyete geçirilmiştir. Ülkemizde yeraltı baraj yapımında son yıllarda ciddi bir artış görülmektedir. 2022 yılının sonu itibarı ile sadece Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından planlanan 150 yeraltı barajının 95 tanesi tamamlanarak faaliyete geçirilmiştir. Ülkemizdeki yeraltı barajlarının büyük bir kısmı, vadi alüvyonları bünyesine inşa edilmiş gövde gerisinde biriken yeraltı suyunu toplayarak, toplanan suyu cazibe yöntemiyle isale hattına yönlendiren bent şekline sahip yapılardır. Bent inşasında genellikle beton ya da kil perde kullanılmıştır. Projelerin büyük bölümünde geçirimsiz perde kaynak kayaya oturtulmuş, bir bölümünde de alüvyon içerisinde askıda bırakılmıştır. Genellikle köy ve küçük beldelerin içme suyu ve tarım için sulama suyu ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla inşa edilmişlerdir. DSI’nin raporlarına göre; planlanan 150 tesisin faaliyete geçmesi ile, 50 milyon metreküp su depolanarak, içme suyu olarak kullanım halinde 750 bin kişiye, tarım sulaması olarak kullanım halinde 80 bin dekar araziye temiz su sağlayacaktır.

Ülkemizde 2004 yılından 2022 yılına kadar çok sayıda yeraltı barajının yapımı tamamlanmıştır. Bu barajlara örnek için; Ankara-Malıboğazı (2004), Kırıkkale-Aşağı Olunlu (2006), Eskişehir-Sancar (2007), Kırıkkale-Bahşılı (2010), Çorum-İskilip (2011), Elazığ-Baskil (2011), Ankara-Elmadağ (2012), Artvin-Seyitler (2021) yeraltı barajları gösterilebilir.

Tamamlanarak faaliyete geçen yeraltı barajlarının illerimize göre dağılımı 2022 yılsonu için şu şekildedir:

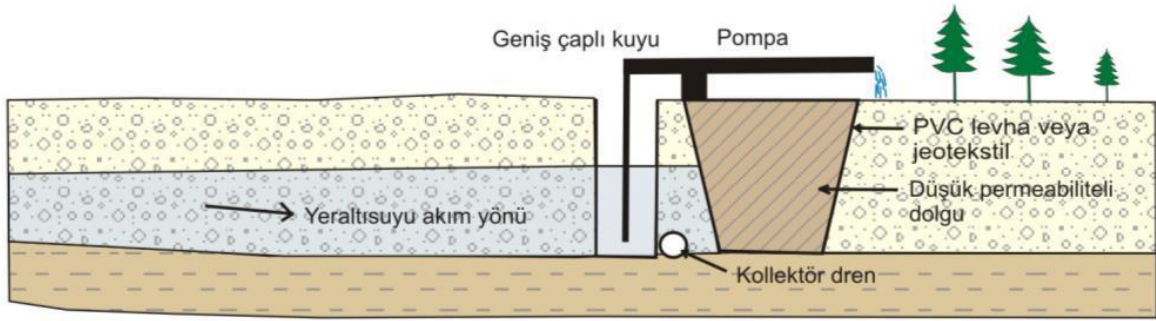
"Aydın (13), Manisa (8), Kayseri (7), Konya (6), Ordu (5), Bursa (4), İzmir (4), Eskişehir (4), Nevşehir (4), Isparta (3), Denizli (3), Elazığ (3), Amasya (3), Çankırı (3), Sivas (2), Tekirdağ (2), Diyarbakır (2), Hatay (2), Afyonkarahisar(2), Antalya (1), Balıkesir (1), Uşak (1), Karaman (1), Bartın (1), Burdur (1), Şırnak (1), Artvin (1), Çorum(1), Karabük(1), Kütahya(1), Malatya(1), Niğde(1)." (Şekil 7)



Şekil 7. Türkiye’deki faal yeraltı barajlarının il bazında dağılımı (DSİ Genel Müdürlüğü, 2022).

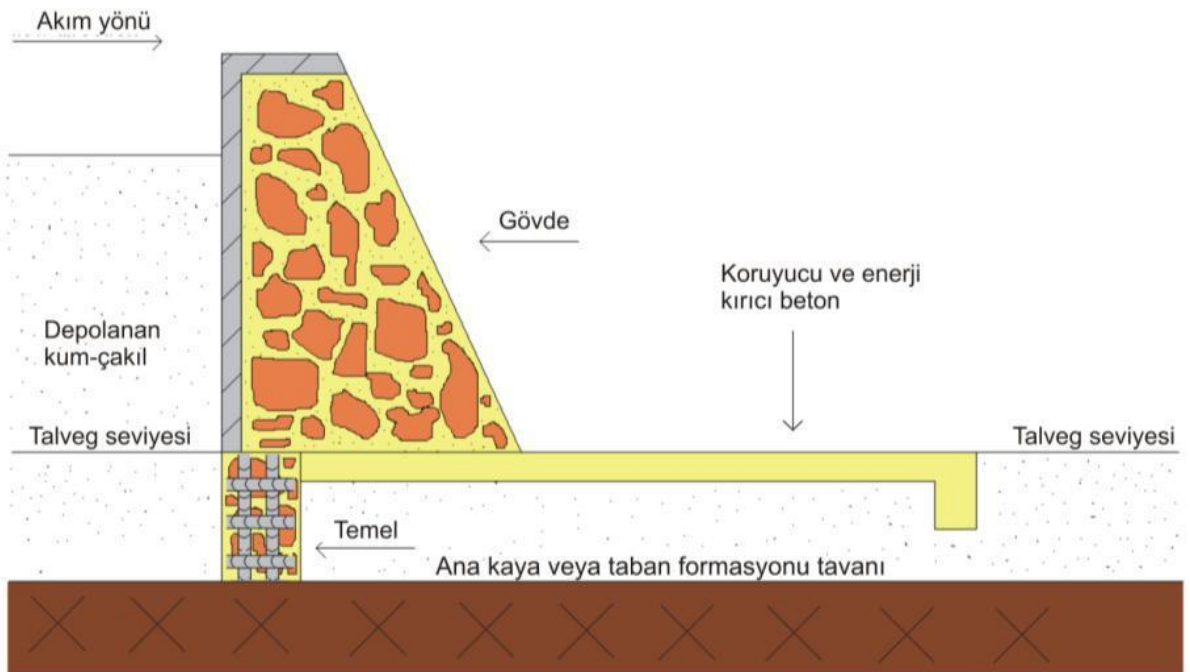
2.6. DÜNYADA YERALTI BARAJI UYGULAMALARI

Son yıllarda yeraltı barajlarının sayısı giderek artmaktadır ve her geçen gün inşaat tekniklerinde gelişmeler kaydedilmektedir. Yaygın olarak yeraltı barajlarının en çok tercih edildiği ülkeler arasında Brezilya, Çin, Hindistan, Japonya ve Kenya bulunmaktadır. Bunun dışında Orta Doğu ve Afrika ülkelerinde de yeraltı barajları inşa edilmektedir. Bu barajlar hem yerel içme suyu ihtiyaçlarını karşılamak için hem de geniş arazi sulamada kullanılmak üzere çeşitli yöntemler ve çeşitli malzemeler kullanılarak küçük ölçekli şekilde inşa edilebilmekte ve faaliyete geçirilebilmektedir. Örneğin, Brezilya'nın kuzey kesiminde yarı kurak iklim koşulları ve jeolojik koşulların uygunluğu, çokça yerüstü barajının inşa edilmesine olanak sağlamıştır. Ancak, bu tip barajlarda buharlaşma çok yüksek olduğundan dolayı çok fazla su kaybı yaşanmaktadır. Bu sebeple, 1990 yılından itibaren bölgede 400'den fazla küçük boyutlarda yeraltı barajı yapılarak faaliyete geçirilmiştir. Pernambuco-Brezilya’da inşa edilen yeraltı barajı, bu sebeple yapılmış yeraltı barajı projelerinde önemli bir örnektir. (Foster ve diğ, 2002). Bu barajlar, içme suyu temini ve sulama amacıyla kullanılmaktadır. Genellikle kaynak kaya granitler üzerinde, küçük vadilerde alüvyonlar bulunmaktadır ve yeraltı barajları genellikle bu vadi alüvyonlarına inşa edilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Pernambuco-Brezilya'da yer üstü barajlarının buharlaşma problemine çözüm için yapılan küçük ölçekli yeraltı barajı (Foster ve Tuinhof, 2004).

Etiyopya'da bölgenin kuraklıkla mücadele kapsamında inşa edilen yeraltı barajları da bu tip yeraltı barajlarına örnek olarak verilebilir. Bu yapıların büyük bir kısmı betonarme ya da taş örme tersip bentleridir (Şekil 9).



Şekil 9. Etiyopya'da önerilen tersip bendi projesi (Apaydın, 2014).

2.7. SU KAYNAKLARININ STRATEJİK ÖNEMİ

Su, alternatif olmayan hayatın en önemli kaynaklarından biridir. Suyun uluslararası ticarete uygun olmaması, su kaynağı kıtlığı sorununu daha da karmaşık hale getirmektedir. Madenler, Metaller, tahıl, kereste, kömürden veya petrol gibi kaynaklardan farklı olarak su, büyük miktarlarda, özellikle de küçük bir ülkenin bile taleplerini karşılayacak miktarlarda ekonomik olarak taşınmamaktadır. Büyük nehirlerin yönünü değiştirme, uzun kanallar oluşturma, buzdağlarını çekme veya deniz suyunu tuzdan arındırma planları olsa da, bu tür planların ciddi ekonomik ve politik maliyetleri bulunmaktadır. Su kıtlığı sorunlarına sürdürülebilir çözümler nadiren üretilmektedir (Hoberson, 1976). Tatlı su temini hidrolojik döngü ve genel iklim koşulları nedeniyle sınırlıdır ve tarımsal, endüstriyel veya kentsel bir kaynak olarak suya olan talep, artan küresel nüfusla birlikte katlanarak artmaktadır. Bu da suyun ülkeler arası kaynak rekabetinde önemini artırmaktadır. Bu sebepten su kaynakları, stratejik önem arz etmektedir. Geçmişten günümüze su kaynakları uğruna çok sayıda çatışma yaşanmıştır. Gelecekte de benzer çatışmaların olabileceği öngörülmektedir (Butts, 1997).

Su kaynaklarının bu derece önemli olması, suya dair kanunnameler ve yasaların oluşmasını sağlamıştır. Su hukuku, bunların temelini oluşturmaktadır. Ancak uluslararası ortamda su hukuku çatışmaların çözümünde o kadar sağlam veya kullanışlı değildir. Uluslararası veya sınıraşan nehirler üzerindeki yetkiler konusu, uluslararası toplum genelinde tartışmalı olmaya devam etmektedir. 1800'den bu yana geliştirilen çoğu su kanunu, su egemenliğinden ziyade seyrüsefer özgürlüğüne odaklanmıştır. Su kanunu konusunda fikir birliğine varmanın zorluğu çoğu zaman basit tanımsal konulardan kaynaklanmaktadır. Ayrıca uluslararası su hukukunda birbirine rakip iki doktrin geliştirilmiştir. Bunlardan ilki, yukarı kıyıdaş devletin kendi toprakları ve buradaki sular üzerinde mutlak egemenliğe sahip olduğu Harmon Doktrini'nden türetilen mutlak devlet egemenliğidir. Alternatif doktrin ise suların adil ve makul bir şekilde paylaştırılmasını önererek nehir havzasının aşağı kıyısındaki devletlerin lehine bir bakış açısını savunmaktadır. Ülkemiz topraklarını ilgilendiren, Dicle-Fırat suları konusuna bakılırsa Türkiye, nehrin yukarısındaki devlet olduğu için nehir suları üzerinde mutlak devlet egemenliği doktrinini savunmaktadır. Irak ve Suriye ise, suyun adil bir şekilde dağıtılmasına yönelik bir çözüm üzerinde ısrar ederek mutlak bütünlük doktrinini savunmaktadır. Bu gibi durumlar yüzünden su hukuku, bazı noktalarda çözümsüz kalmaktadır (McCaffrey, 1986).

Tarih, M.Ö. 4500'de Mezopotamya'daki Lagaş ve Umma şehirleri arasındaki savaşlardan, 1960'lı yıllardaki Ürdün nehrinde gerçekleşen Suriye ile İsrail arasındaki çatışmalara kadar, çöl vahaları ve su birikintileri için yapılan rekabetlerle doludur (Ya'ar, 1994). Su atışmaları, genellikle nehirlerin birden fazla kullanıcı tarafından paylaşıldığı ve aşağı havzadaki kullanıcıların yukarı havzadaki devletler tarafından alınan kararlara karşı savunmasız olduğu durumlarda ortaya çıkmaktadır. Dünya nüfusunun yüzde yirmisi en büyük 200 nehir sistemi tarafından desteklenmektedir; Bu su kaynaklarının, 150'si iki ölke tarafından, geri kalan 50'si ise üç ila on ölke tarafından paylaşılmaktadır. Bazı önemli nehir sistemleri ve faydalanan ölke sayısı şunlardır: Nil, dokuz; Zaire (Kongo), dokuz; Dicle-Fırat, dört; Mekong, altı; Amazon, yedi; ve Zambeze, sekiz (Corson, 1990). Stratejik bir perspektiften bakıldığında, yukarı kıyıdaş devletler suyun kontrolünde avantajlıdır; Aşağı kıyıdaş devletler genellikle yukarı kıyıdaşların kararlarına karşı savunmasız kalmaktadırlar.

Su kaynakları sebepli çatışmaların uzun bir geçmişi vardır ve çatışmaların yeniden yaşanması için büyük bir potansiyel bulunmaktadır. Orta Doğu'da çeşitli etnik ve dini gruplar sınırların farklı tarafında bulunduğundan, Orta Doğu'daki tüm nehirler ve büyük yeraltı su kaynakları uluslararasıdır ve birden fazla devlet tarafından paylaşılmaktadır. Endüstriyel ve tarımsal büyüme ise ortadoğunun önemli bir bölümünde su kıtlığı nedeniyle kısıtlanmaktadır. Nüfus artış hızı bu bölgede dünyanın en yüksekleri arasındadır (Ya'ar, 1994). Bölgedeki su anlaşmazlıkları devam eden çatışma, savaş, geniş çöl alanları, iklim ve siyasi istikrarsızlık nedeniyle daha da karmaşık hale gelmektedir.

Potansiyel çatışmaların belirlediği dört farklı Orta Doğu su kaynağı bulunmaktadır: Dicle-Fırat Nehri havzası, Ürdün Nehri havzası, Batı şeria yer altı suyu akiferi ve Nil Nehri. Her durumda su, ilgili tüm devletlerin güvenliği için temel bir kaynağı temsil etmektedir.

Ölkemiz Dicle-Fırat havzasının önemli bir bölümünü kontrol etmektedir. Bu Güney sınırlarımızda bulunan Suriye ve Irak ile bu nehirlerden elde edilecek su kaynağı konusunda geçmişe çeşitli ihtilaflar oluşmuştur. Konu incelendiğinde, dünyadaki farklı ölkelerin konuya tarafı yaklaştığı görölmektedir. Akademik kaynaklar bazında bile bu konuya yaklaşım perspektifinin subjektif olduğu gözlemlenmektedir. Ölkemiz, Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) olarak bilinen büyük bir su yönetim planını hayata geçirmiş ve yukarı kıyıdaş olma haklarını öne sürmüştür. Suriye ve Irak, kendi kötü ilişkileri nedeniyle, ne bir anlaşma müzakeresi yapılması ne de Türkiye'nin kontrolüne çözüm bulunması yönünde başarılı bir ikili

çaba gösterememiştir. Sonuç olarak Türkiye'nin çeşitli siyasal pozisyon, sınır güvenliği ve kendine ait su kaynaklarını koruma politikaları dolayısıyla, bahsi geçen her iki devlet de Türklere karşı faaliyet gösteren bölgedeki terör unsurlarını desteklemiştir. Bazı kaynaklara göre; Suriye ve Irak'ın bu tavrının arkasında su kaynakları temelli bir karar olarak GAP adıyla yürütülen projenin, bu ülkelerin çıkarlarına ters düşmesi bulunmaktadır (Rogers ve Lydon, 1994).

Ürdün Nehri havzasında devam eden çatışma son derece karmaşıktır; belki de çözülmesi en zor mevcut su anlaşmazlığı bu bölgede yaşanmaktadır. Ürdün Nehri'nin deşarjı Nil nehrinin yüzde ikisinden azdır ancak bu durum bölgedeki İsrail, Ürdün, Suriye, Lübnan ve Filistin için son derece önemlidir. Ürdün Nehri yukarı doğru uzanan dört nehirle beslenmektedir: Dan, Hasbani, Banias ve Yermuk. 1967 savaşında toprak ele geçirmenin ve güney Lübnan'da bir güvenlik bölgesi oluşturma bir sonucu olarak İsrail, artık Ürdün nehri havzasının büyük bölümünde fiilen yukarı havzadaki devlet haline gelmiştir. Bu, İsrail'e Ürdün Nehri suyunun büyük bir kısmı üzerinde önemli bir kontrol ve erişim sağlamaktadır (Beschoner, 1992). Ürdün, ihtiyacı olan suyun çoğunluğu Ürdün Nehri'nden geldiği için son derece savunmasız durumdadır. Su konusundaki anlaşmazlık Madrid barış sürecinin bir parçası olarak müzakere edilmektedir. 1990lı yıllarda Ürdün'ün "hayatta kalabilmesi için ev içi kullanımlarda minimum su ihtiyacı" hakkını tanıyan bir İsrail-Ürdün Barış Anlaşması imzalanmıştır (Butts, 1997).

İsrail'i ilgilendiren ikinci bir su kaynağı sorunu Batı Şeria ve Yarqon Taninim Dağı yeraltı su kaynaklarına erişimle ilgilidir. İsrail, 1967 Savaşı'ndan bu yana Batı Şeria'yı işgal etmektedir ve bu yeraltı suyundan büyük ölçüde yararlanmaktadır. Batı Şeria, Akdeniz'den yağış alan dağlık bir bölgedir; yeraltı akiferi kıyıya doğru eğilmekte ve İsrail'in eski sınırı olan Yeşil Hat'ı da geçmektedir. İsrail şu anda büyük ölçüde bu akifere bağımlı durumdadır ve sürdürülebilir su tedarikinin önemli bir bölümünde bu yeraltı kaynağından faydalanmaktadır (Postel, 1993). 1990 yılında kısıtlamalar uygulamaya konulana kadar İsrail, bu yeraltı su kaynağındaki su kotalarını sürekli olarak aşmış ve Filistinlilerin kullanımını ciddi şekilde kısıtlamıştır. Bu suyun yaklaşık yüzde 80'i İsrail ya da Batı Şeria'daki İsrail menşeli haksız yerleşimciler tarafından alınmaktadır ve yalnızca yüzde 20'si Filistinlilere tahsis edilmektedir (Lowi, 1996). Her ne kadar İsrail, Yeşil Hat'ın batısındaki akiferden su çekmeye devam etse de, Filistin'in Batı Şeria'yı kontrol etmesi kaçınılmaz olarak İsrail'in bölgenin su havzası kontrolünü kaybetmesi anlamına gelecektir.

Nil Nehri Mısır'ın kalbi niteliğindedir; Bir uçaktan, Nil'in normalde yaşanmaz bir çöl olan bu yere getirdiği yeşil tarım ve medeniyet şeridi görülebilir (Şekil 10). 1898'de Fransızlar Nil'in kaynağını oluşturan toprakların kontrolünü ele geçirmek için bir sefer düzenlediğinde, İngiltere Fransızlara yönelik askeri hareket tehdidinde bulunmuştur. Bu olay, Nil'in önemi açısından iyi bir örnektir. Nil'in yukarı havza kaynaklarının önemi daha sonraki Mısır hükümetlerinde de kaybolmamıştır. Mısır, Nil Nehri'ndeki payını korumak için savaşa girme isteğini açıkça ortaya koymuştur (Gleick, 1993). Mısır, su kaynaklarının yüzde 97'si için Nil'e bağımlı, ancak Nil'e neredeyse hiç su katkısı yapmamaktadır. Mısır, dünyanın en uzun nehrinin bitiş kısmındaki son devletidir ve Nil, Mısır'a ulaşmadan önce su kaynaklarını çekme potansiyeline sahip ilave sekiz adet yukarı nehir ülkesine sahiptir. Etiyopya'nın dağlık bölgelerindeki yağışlar, Nil'in yüzde 85'ini Sudan'a taşıyan Mavi Nil'in suyunun kaynağıdır. Hartum'da ilave yüzde 15'lik kısım Beyaz Nil tarafından sağlanmakta, geri kalanı ise aşağı yönde Mısır'a akmaktadır. 1950'lerin sonlarında Sudan ve Mısır arasındaki anlaşmazlık, ülkeleri şiddetli çatışmaların eşiğine getirmiştir. Bu çatışma süreci, 1959'da Nil'in 55,5 milyar metreküpünün Mısır'a ve ilave 18,5 milyar metreküpünün Sudan'a tahsis edilmesine yönelik bir anlaşmaya yol açmıştır (Postel, 1993).

Ortadoğu bölgesi dışında, çok sayıda bölgede su kaynakları, çatışmaların ana gerekçesi olmaktadır. Asya'da İndus nehri havzası, Hindistan Pakistan arasında, Ganj nehri, Hindistan Bangladeş arasında, Parana nehri, Arjantin ve Brezilya arasında, Lauca nehri Bolivya ve Şile arasında, Rio Grande nehri, ABD ve Meksika arasında çatışmalara ve anlaşmazlıklara sebep olmuştur (Corson, 1990).

Bu gibi çatışmaların yaşanmış olması, su kaynaklarının önemini kanıtlar niteliktedir. Su kaynaklarının özellikle çatışma bölgelerinde bulunması, stratejik açıdan ülkelerin geleceğini etkileyebilecek düzeydedir. Bu sebepten ülkelerin ellerindeki kaynakları tam verimle kullanmaları kritik önemdedir. Yerüstü ve yeraltı barajları bu gibi durumlarda daha çok önem kazanmaktadır. Gelecekte su kullanımının artması ve temiz suya ulaşımındaki problemler ele alınırsa ülkemizin yeraltı barajlarından maksimum verimle faydalanması, ülkemizin geleceğine katkı sağlayacaktır.

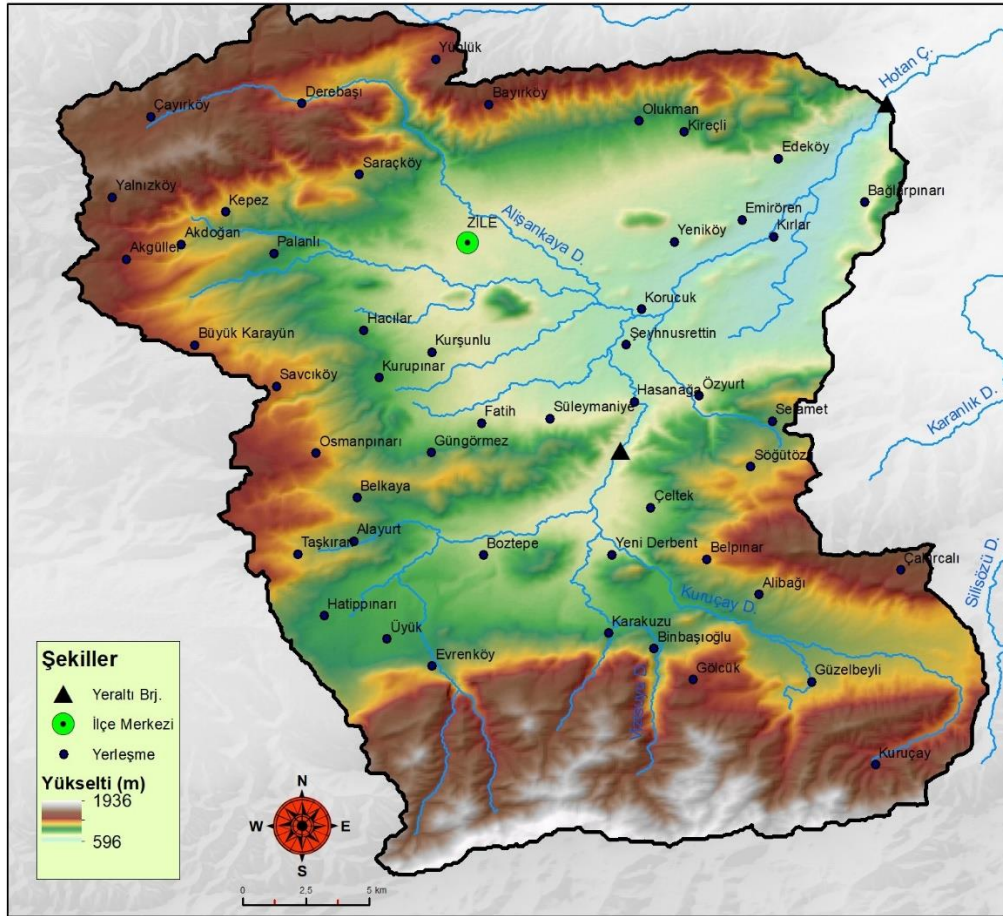


Şekil 10. Nil, Ürdün, Dicle ve Fırat nehir havzalarının düzenlenmiş haritası (Zeitoun, 2006).

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. TOPOĞRAFİK HARİTALAMA

Yeraltı barajlarının tasarımında topoğrafik haritalar önemli bir temel unsurdur ve genellikle 1/1000 ve 1/5000 ölçekli haritalar kullanılmaktadır. Temel prensip, gövdenin konumlandırılacağı ve diğer tesislerin kurularak işletileceği konumun 1/1000 ölçekli, iletim hattının ve rezervuar alanının ise 1/5000 olacak şekilde ölçeklendirilmiş topoğrafik haritalarının hazırlanmasıdır. Fakat proje için belirlenen alanın yeteri kadar geniş olmaması halinde, sadece 1/1000 şeklinde ölçeklendirilmiş haritalar kullanılarak proje çalışmaları gerçekleştirilebilir. Eğer çalışılacak bölgenin önceden hazırlanmış bir haritası yoksa, sahada gerekli ölçüm aletleriyle haritalandırma yapılmalıdır. Haritalanacak bölgenin sınırları ile kullanılması gereken ölçek haritalandırma ekibine iletilir. Çalışma sürecinde yalnızca arazi kotları değil, doğal ve yapay unsurlar da aynı ölçek kullanılarak haritalanır. Eğer çalışma alanında özellikle haritalandırılması gerekli bir yapı varsa istenilen bilgilerle birlikte haritaya işlenir (Harita 1).



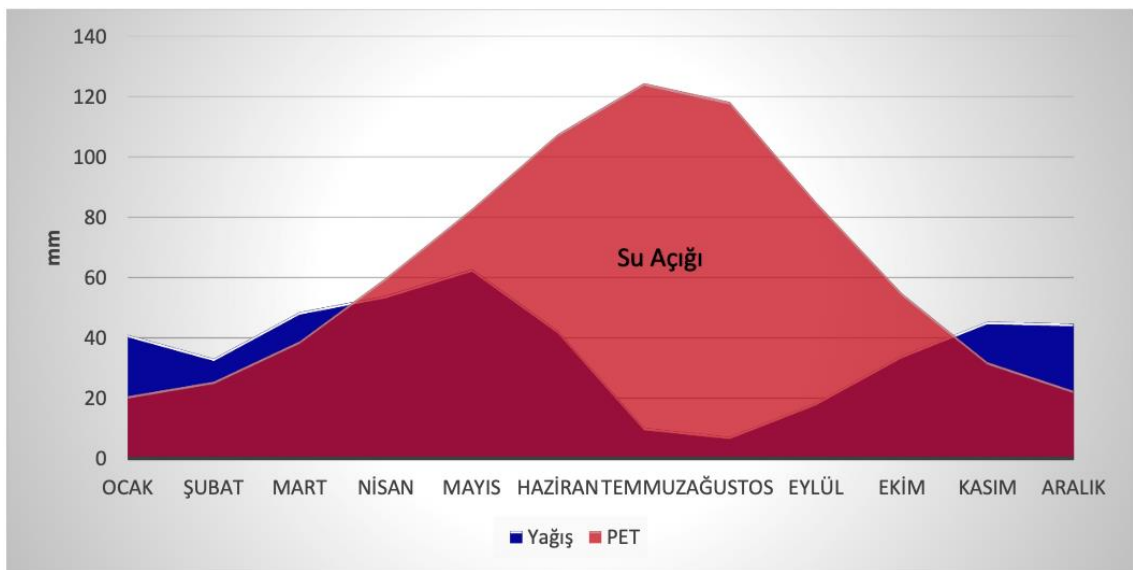
Harita 1. Çalışma alanı yükselti haritası.

3.2. THORNTWHAİTE SU BİLANÇOSU

Thornthwaite su bilançosu yöntemi, akım hesaplamalarında sıkça tercih edilen bir yöntemdir. Bu metot, belirli bir bölgenin su bilançosunu hesaplamak amacıyla uzun yıllara ait sıcaklık, toplam yağış ve evapotranspirasyon değerlerinin aylık düzeydeki verilerini kullanır. Bu değerlerin toplanması ve formülasyonu sonucunda, seçilen bölgenin aylar bazında su eksikliği/su fazlası değişimi ve toplam akış değerleri hesaplanmaktadır (Duman, 2022).

Thornthwaite yönteminin en yaygın uygulama biçimi, belirli bir meteoroloji istasyonundan ilgili verilerin toplanmasını içerir. Bu verilere dayanarak yağış ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) değerleri hesaplanır ve grafikleştirilir. Grafikler incelendiğinde, ocak, şubat, mart, kasım ve aralık aylarında yağış miktarının nispeten yüksek, potansiyel evapotranspirasyon değerlerinin ise düşük olduğu dikkat çekmektedir. Bu dönemlerde su fazlası gözlemlenirken, mart ve nisan aylarında yağış miktarının artmasına rağmen PET değerlerinin daha fazla artması sebebiyle su eksikliği ortaya çıkmaktadır. Haziran, temmuz ve ağustos aylarında ise yağışın azalması ve PET değerlerinin artması nedeniyle su açığı belirginleşmektedir. Eylül ve ekimde ise yağış miktarının artması ve buharlaşma oranının azalmasıyla fark azalmaktadır (Şekil 11).

Ancak, Thornthwaite yönteminin bu yerel uygulaması, meteoroloji istasyonlarının konumuna bağlı olarak sonuçlar üretmekte olup geniş alanların değerlendirilmesinde bazı kısıtlamalara yol açabilir.



Şekil 11. Zile İstasyonu Thornthwaite Su Bilançosu (Duman, 2022).

Thornthwaite yönteminin bir diğer uygulama alanı, akım değerlerinin belirlenmesidir ve bu amaçla özel bir formülasyon geliştirilmiştir. Bu yöntem, meteoroloji istasyonlarının yağış ve sıcaklık verilerini kullanarak akım değerlerini formüller aracılığıyla hesaplamaktadır. Bu uygulama kapsamında, Zile istasyonuna ait akım değerleri Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Zile İstasyonu Thornthwaite Değerleri (Duman, 2022).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıl
Yağış	40,9	33,0	48,5	53,9	62,7	42,2	10,1	7,1	18,2	34,0	45,3	44,7	440,7
Sıcaklık	0,9	2,4	6,9	12,0	15,9	19,5	22,4	22,7	18,8	13,5	6,9	2,6	
Faktör	0,2	0,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,4	
Yağmur	6,3	13,4	48,5	53,9	62,7	42,2	10,1	7,1	18,2	34,0	45,3	19,3	361,0
Kar	34,6	19,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,4	79,6
Kütle	41,5	36,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,4	
Erime	7,6	24,8	36,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0	79,6
W	13,9	38,2	84,8	53,9	62,7	42,2	10,1	7,1	18,2	34,0	45,3	30,2	440,7
PET	20,8	25,6	38,8	59,5	82,1	106,5	123,4	117,6	84,9	54,8	32,2	22,6	768,8
K-PET	-6,9	12,6	46,0	-5,6	-19,4	-64,3	-113,3	-110,4	-66,6	-20,8	13,1	7,6	
Toprak	20,7	33,3	79,3	74,9	61,7	32,5	10,5	3,5	1,8	1,4	14,6	22,1	
ΔToprak	-1,5	12,6	46,0	-4,4	-13,2	-29,3	-22,0	-7,0	-1,7	-0,3	13,1	7,6	
Evapotranspirasyon	15,4	25,6	38,8	58,2	75,9	71,5	32,1	14,1	19,9	34,3	32,2	22,6	440,7
Akış(mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabloların detaylı bir analizi, Zile istasyonuna ait akım değerlerinin 0 mm olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, havzanın genelinde bir akımın olmadığı izlenimini uyandırmaktadır, ki bu bulgu mevcut durumla çelişmektedir. Araştırma sahasındaki meteoroloji istasyonlarının havza tabanında yer alması, dolayısıyla yağış ve akım değerlerinin düşük, sıcaklık değerlerinin ise yüksek olması, bu çelişkinin temel sebebinin oluşturmaktadır. Bu tutarsızlığı gidermek amacıyla, iklim verileri, önceki başlıklarda belirtildiği gibi meteoroloji istasyonlarına olan uzaklık, coğrafi öğeler ve yükselti haline göre düzenlenmiştir. Düzenlenen bu verilere enterpolasyon yöntemi uygulanmıştır. Bu sayede havza genelini daha doğru temsil eden sonuçlara ulaşılmıştır (Duman, 2022).

Bu elde edilen sonuçlar çerçevesinde, istasyonların temsil ettiği alanlar, Thiessen Poligonları ve coğrafi özellikler dikkate alınarak belirlenmiş ve yükselti basamaklarına indirgeme yöntemi uygulanması sonucunda elde edilen değerler, Thornthwaite yöntemi uygulanmak üzere kullanılmıştır. İstasyonların temsil ettiği bölgeler ve bölgedeki yükselti oranlarına göre düzeltilerek oluşturulan data, enterpolasyon yöntemi kullanılarak tüm havzaya genişletilmiştir. Havza genelindeki akım değerleri, Thornthwaite yöntemi ile hesaplanarak elde edilmiştir.

Thornthwaite yöntemi ve akabinde uygulanan enterpolasyon sonucunda hem havzanın büyük bölümünün hem de belirli bölgelerin ortalama akım verileri CBS uygulamalarıyla belirlenerek akış dağılım haritaları hazırlanmıştır (Tablo 2) (Harita 2-3-4).

Tablodaki Gümeleönü, Ataköy ve Sütlüce noktalarının belirlenmesi, titiz bir süreç sonucunda gerçekleştirilmiştir. Bu istasyonların su toplama bölgelerinin belirlenmesindeki temel neden, bu lokasyonlarda Devlet Su İşleri'ne ait akım gözlem istasyonlarının (AGİ) konumlanmış olmasıdır. Ataköy lokasyonunun seçilme gerekçesi ise burada bulunan Ataköy Barajı'ndan boru hatları aracılığıyla elektrik enerjisi üretimi amacıyla Kelkit Havzası'na su transferinin yapılmasıdır. Ataköy Barajı, Almus Barajının memba alanında yer almaktadır. Niksar ilçesinde bulunan Köklüce Hidroelektrik Santraline su sağlaması için inşa edilmiştir ve bu noktadan Kuzey Kelkit Havzasına yönlendirilmektedir. Yıllık olarak nehrin sularının ortalama 537 milyon m³'ü bu noktadan Kelkit Havzasına aktarılmaktadır.

Thornthwaite yöntemi kullanılarak hesaplanan akış ile gerçek akış değerleri arasında yapılan karşılaştırmada, Gümeleönü AGİ için 146 milyon m³ fark belirlenmiştir. Sütlüce AGİ'nin ölçtüğü yıllık ortalama akım 518 milyon m³ iken, Thornthwaite yöntemi ile hesaplanan 1.284 milyon m³'tür ve fark 750 milyon m³'ten fazladır. Bu önemli fark, Ataköy'den 537 milyon m³ suyun Köklüce HES'e aktarılmasından kaynaklanmaktadır (Devlet Su İşleri Vakfı, 2011). Köklüce'ye aktarılan miktar çıkarıldığında, Thornthwaite'a göre Sütlüce'deki akışın yaklaşık 747 milyon m³ olması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Ancak, AGİ'nin ölçtüğü 518 milyon m³ akım değeri ile Thornthwaite arasında 230 milyon m³'lük bir fark bulunmaktadır. Havzanın genel akış oranları incelendiğinde ise Thornthwaite hesaplamalarına göre 1.443 milyon m³ olarak hesaplanmıştır ve yine Ataköy'deki havza atlatılan su miktarı çıkarıldığında 906 milyon m³'lük bir akım hesaplanmaktadır.

Harita 5'te çalışma arazisine ait Thornthwaite PET değerleri hesaplanarak, sunulmuştur.



Harita 5. Çalışma Alanının Thornthwaite PET(mm) Haritası.

4. BULGULAR

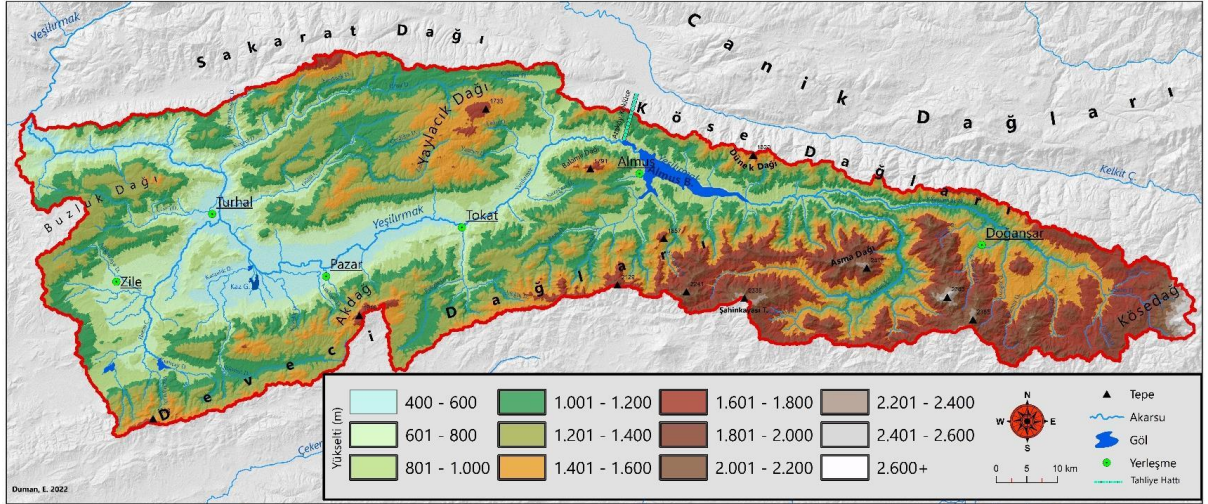
4.1. ÇALIŞMA ALANI

Bu çalışma, Yukarı Yeşilırmak Havzası olarak adlandırılan ve Orta Karadeniz Bölgesi içerisinde yer alan bölge araştırma sahası olarak seçilerek yapılmıştır. Yukarı Yeşilırmak Havzası, $35^{\circ}42'50''$ - $37^{\circ}55'30''$ doğu boylamları ile $40^{\circ}1'20''$ - $40^{\circ}36'1''$ kuzey enlemleri arasındadır. Havza büyük çoğunlukla Tokat il sınırları içerisinde olsa da Amasya ilinin ve Sivas ilinin de bir kısmını kapsamaktadır (Harita 6).

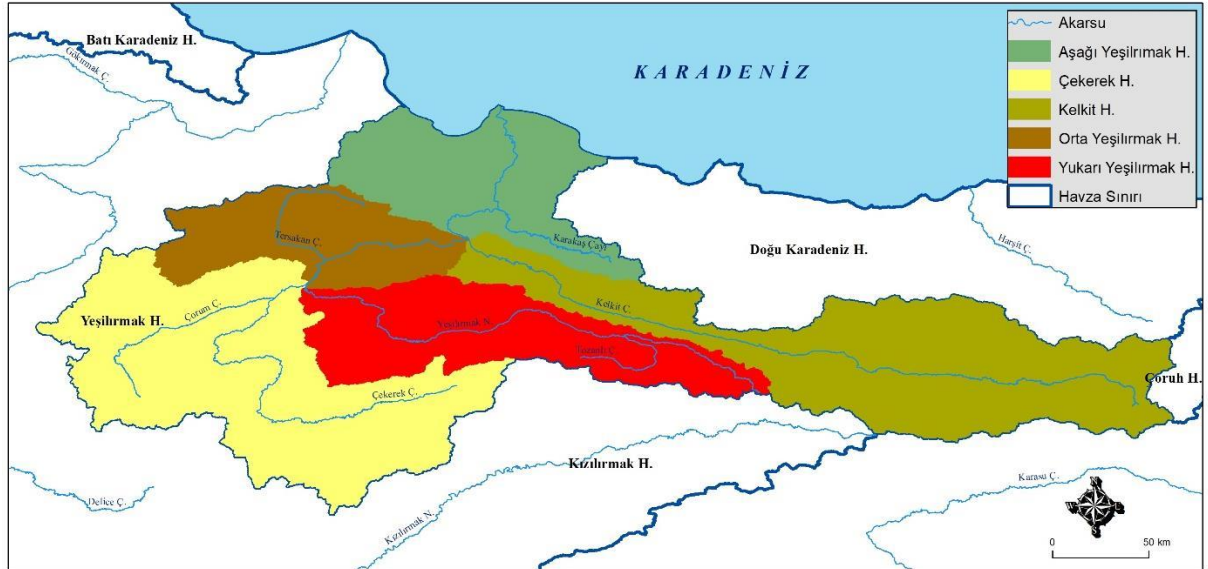
Doğduğu Köse Dağları'ndan batıya doğru akan Yeşilırmak, Tokat ve Turhal Ovalarından geçerek Amasya Ovası'ndan kuzeye doğru ilerler ve Canik Dağları'nı ikiye bölerek Topuzlu ve Eğrikiraz Dağları arasından Çarşamba Ovası'na açılır. Çarşamba Ovası boyunca geniş bir delta oluşturan Yeşilırmak, Çatlı'da denize dökülmektedir. Yeşilırmak Nehri, Türkiye'nin Karadeniz kıyısındaki en büyük deltalarından birini oluşturmaktadır. Oluşan bu deltanın çok büyük bir kısmı kurutularak tarım arazisine dönüştürülmüştür. Yeşilırmak Havzası sınırları içerisinde pek çok verimli ova bulunmaktadır. Bunlardan en önemlileri; Çarşamba, Turhal, Erbaa, Niksar, Artova, Zile, Merzifon, Suluova, Geldingen, Gümüş, Çorum, Mecitözü, Sedim, Suşehri, Kelkit ve Şiran ovalarıdır. Buradan Samsun-Çarşamba'ya ulaşan nehir, Karadeniz'e dökülmeden önce üç önemli kolla birleşmektedir (Duman, 2022).

Yeşilırmak Havzası, Türkiye'deki 25 nehir havzasından biri olup, sularını Karadeniz'e boşaltmaktadır. Türkiye'nin beşinci büyük havzasıdır (39.628 km²); Havza Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %5'ini kaplamaktadır. Havzanın en dar yeri 30,5 km genişliğindeki Koyulhisar civarındadır. En geniş noktası 170 km genişlikle Ladik – Zile -Akdeğirmen yönündedir. Yukarı Yeşilırmak Havzası, Kelkit Çayı Havzası ile kuzey, Kızılırmak Nehri Havzası ile güney, Çekerek Çayı Havzası ile de güneybatı yönlerinden sınırlanan bölgede yer almaktadır (Harita 7).

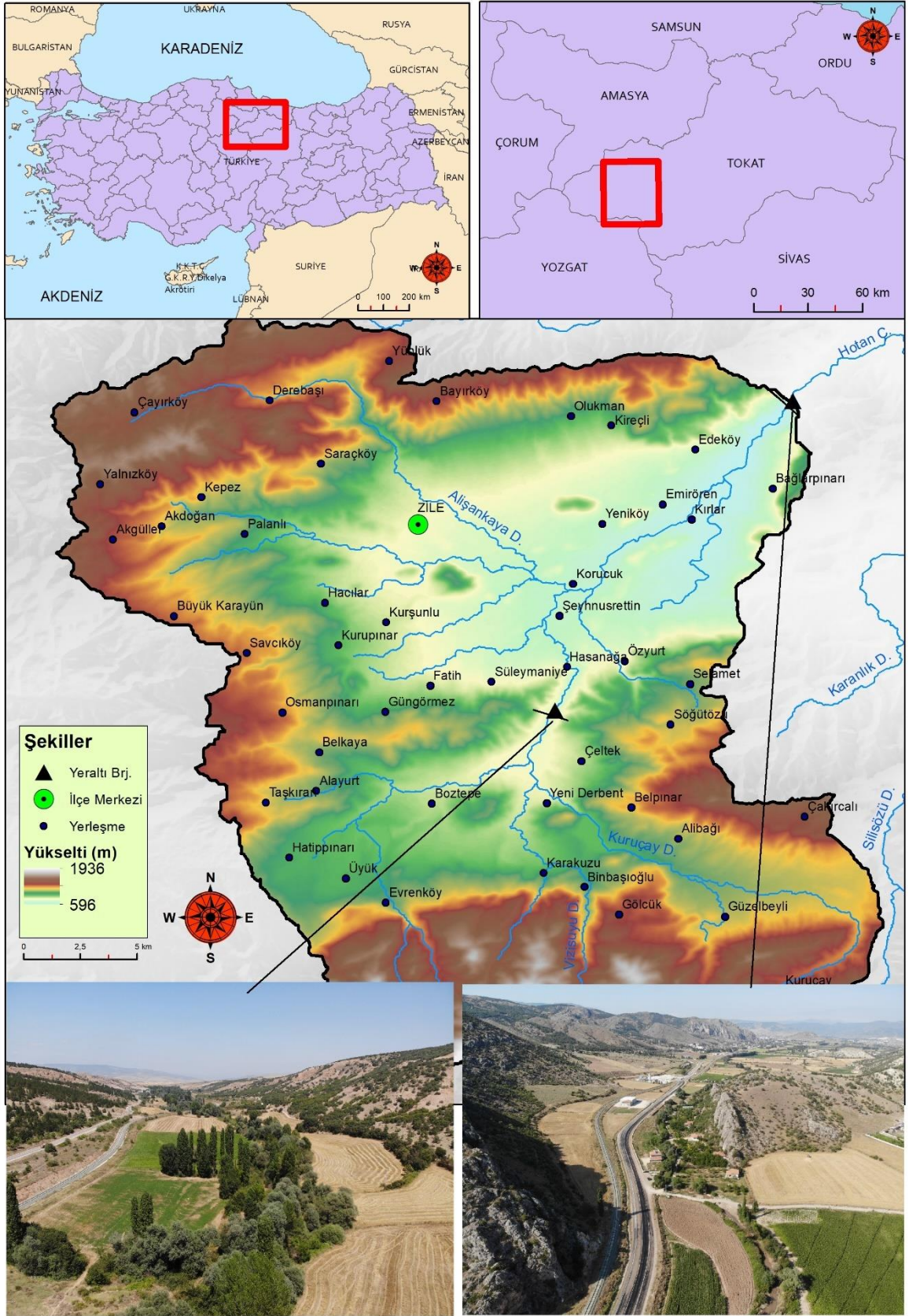
Çalışma alanı olarak seçilen Zile ilçesi ve potansiyel yeraltı barajı inşası için araştırması yapılan lokasyonlar Harita 8'de belirtilmiştir.



Harita 6. Yukarı Yeşilirmak Havzası Yer Bulduru ve Düzenlenmiş Yükselti Haritası (Duman, 2022).



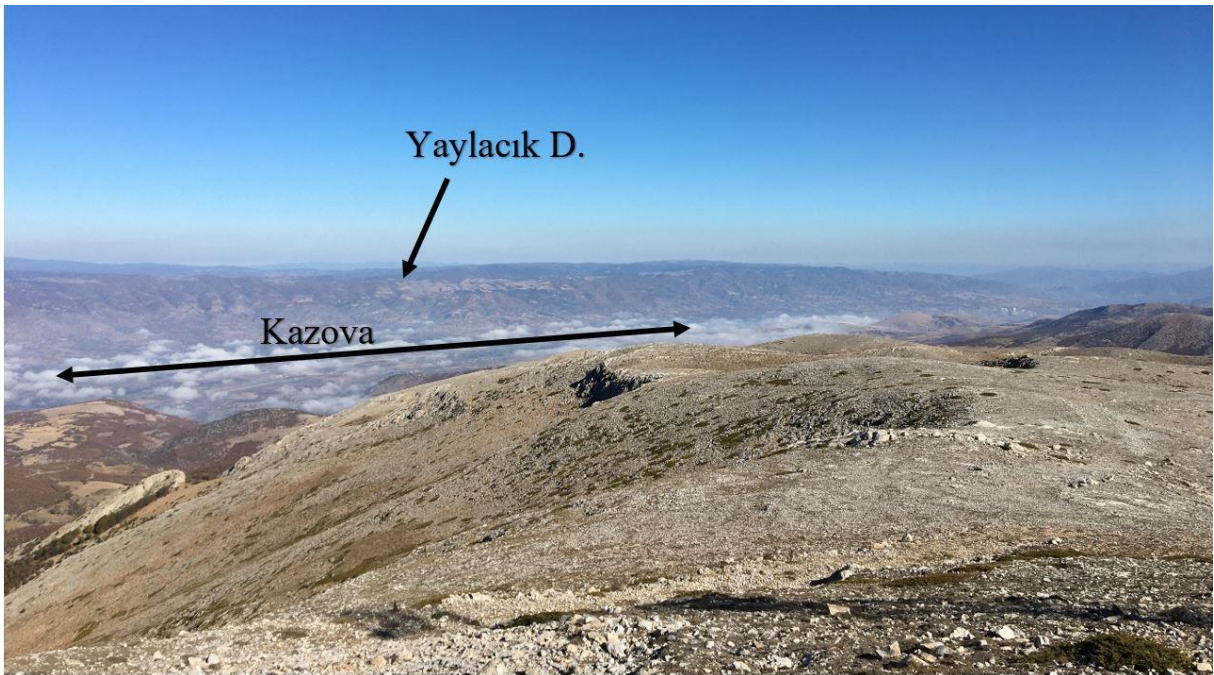
Harita 7. Yukarı Yeşilirmak Havzası ve Komşu Havzaların Düzenlenmiş Haritası (Duman, 2022).



4.2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLojİSİ

4.2.1. Tektonik ve Depremsellik

Araştırma alanı, paleotektonik dönemden bu yana levha tektoniğine maruz kalmıştır. Bu hareketler Kuzey Anadolu Dağ sırasının iç sırasında meydana gelmiştir. Bu levha hareketleri nedeniyle bölge yükselerek, dağlık hale gelmiştir. Bölgede kırıklı yapı hakimdir. Bunun sebebi masif kütle bulunması ve aktif olan KAF sisteminin etkisidir (Atalay, 2007). Çalışma alanındaki ovalar Kazova, Zile, Turhal ve Gözova, tektonik çanakların akarsular tarafından doldurulması sonucunda oluşmuştur (Şekil 12).

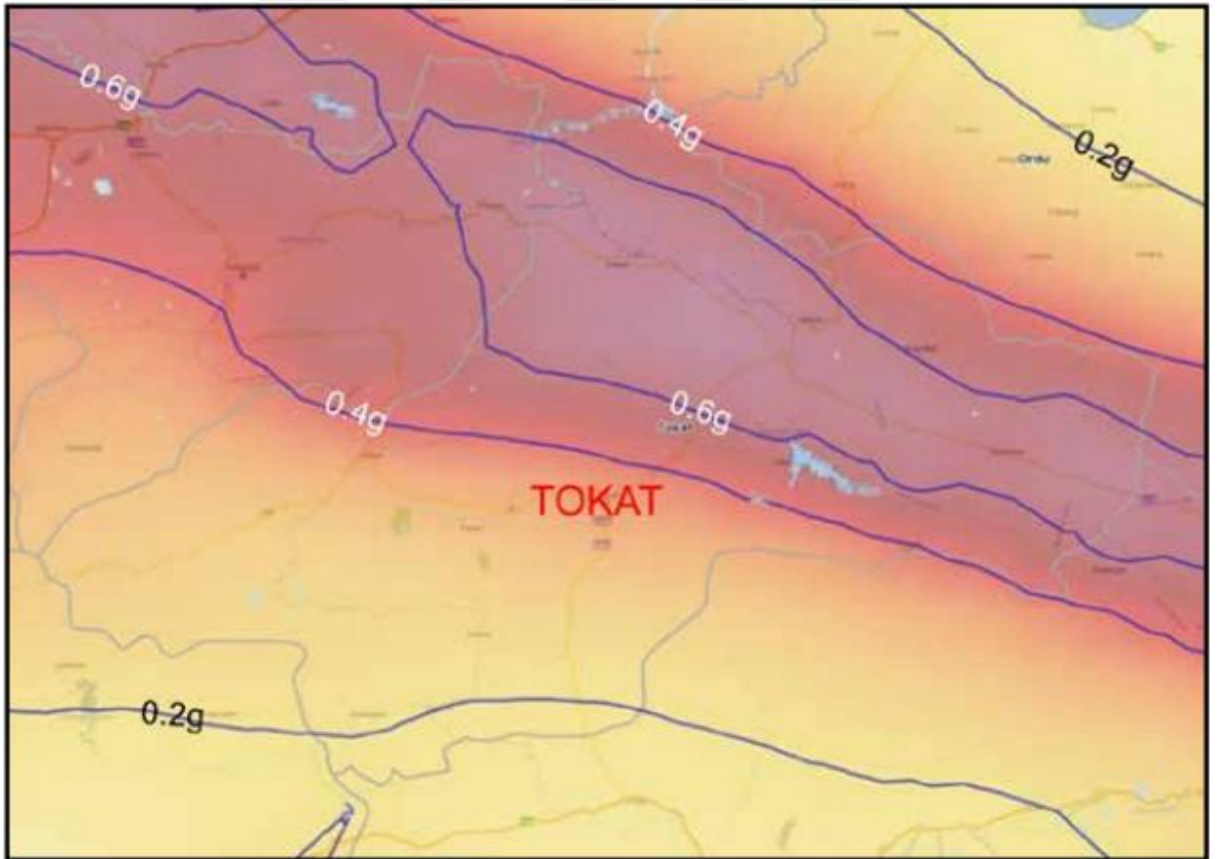


Şekil 12. Akdağ Zirvesinden (1906m) Kazova'nın Görünümü (Bakış Yönü: Kuzeydoğu) (Apaydın, 2014).

Zile Ovası, kuzeyden güneye doğru uzanan Zile Fayı ile bölünmüştür. Zile Fayı'nın kuzeyinde, aynı doğrultuda birçok kırık bulunmaktadır. Ovanın güneyinde ise Hotan Çayı'nın rotasını belirleyen Emirören Fayı, Özyurt Fayı ve en güneyde Kızılcın Fayı bulunmaktadır. Kuzeydoğuda ise Bağlarpınarı Fayı uzanır ve bu fay, kuzeyden güneye doğru yayılmaktadır. Sivritepe, Karakaya, Sıtmapınarı Sırtı, Değirmenözü Dere, Yayla Tepe, Emirdolu, Büyükkozluca, Avşarın Dere ve Karasekibel Tepe fayları, sahadaki diğer küçük ölçekli faylardır.

Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'na göre Türkiye, beş farklı deprem bölgesine ayrılmıştır. Birinci derecede deprem bölgeleri, 9 veya daha büyük şiddetteki depremlerin, ikinci derecede deprem bölgeleri 8 veya daha büyük şiddetteki depremlerin, üçüncü derecede deprem bölgeleri 7 veya daha büyük şiddetteki depremlerin, dördüncü derecede deprem bölgeleri ise 6 veya daha büyük şiddetteki depremlerin olduğu ve olabileceği yerler olarak belirlenmiştir. Zile ilçesi, ikinci derecede bir deprem bölgesi içerisinde yer almaktadır.

Zile ilçesi, Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'nda birinci derecede deprem riski taşıyan alanların çok yakınındadır (Şekil 13). Geçmişte, yakın çevresinde yaşanan depremlerden etkilenmiştir. Bu nedenle, Zile'nin depremselliği göz ardı edilmemeli ve özellikle yeni yerleşim alanlarının planlanmasında fay hatlarına dikkat edilmelidir. Bölge, sağlam zeminlere dayanan yapıların tercih edilmesi gereken bir konumdadır. Bu çerçevede, Zile şehir yerleşmesinin batıya doğru kaydırılması, şehirde yeni yerleşim alanları oluşturulması açısından önemli bir adım olacaktır.



Şekil 13. Tokat Deprem Tehlike Haritası (AFAD, 2019).

Araştırma sahası, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) dahilinde yer almaktadır. Bölgede yerel faylarla birlikte KAF sisteminin yan kolları da mevcuttur. Özellikle, Ezinepazar Fayı, KAF'ın güneyine doğru oluşmuş yan bir kol olarak bölgede bulunmaktadır. Niksar'ın güneyinden batı yönünde Ezinepazar, Amasya, Sungurlu üzerinden Delice'ye kadar uzanan 250 km uzunluğunda bir hat çizmektedir. Niksar-Ezinepazar hattında bulunan fay, topoğrafyada etkisini açıkça göstermekte olan doğu-batı yönlü bir faydır. Ezinepazar Fayı, Kuzey Anadolu Fay'ına uyumlu ve sağ yanal atımlıdır.

Tokat, hem Kuzey Anadolu Fayı hem de kolları ile yakın ilişkilidir ve tarih boyunca birçok depremden etkilenmiştir. Özellikle, kenti etkileyen ve tarihsel dönemde meydana gelen depremlerin hangi faylar tarafından üretildiği konusunda tartışmalar bulunmaktadır. Aletsel dönemde (1900 sonrası) ise, kenti etkileyen depremlerin önemli bir kısmının Kuzey Anadolu ve Ezinepazar fayları yanı sıra muhtemelen Almus Fayı tarafından üretilmiş olabileceği düşünülmektedir. Bu arasında, Almus Fayı tarafından üretildiği tahmin edilen 1901 ($M=5.1$), 1910 ($M=5.1$) ve 1916 ($M=7.1?$) yıllarındaki depremler en önemlileri olarak kabul edilebilir.

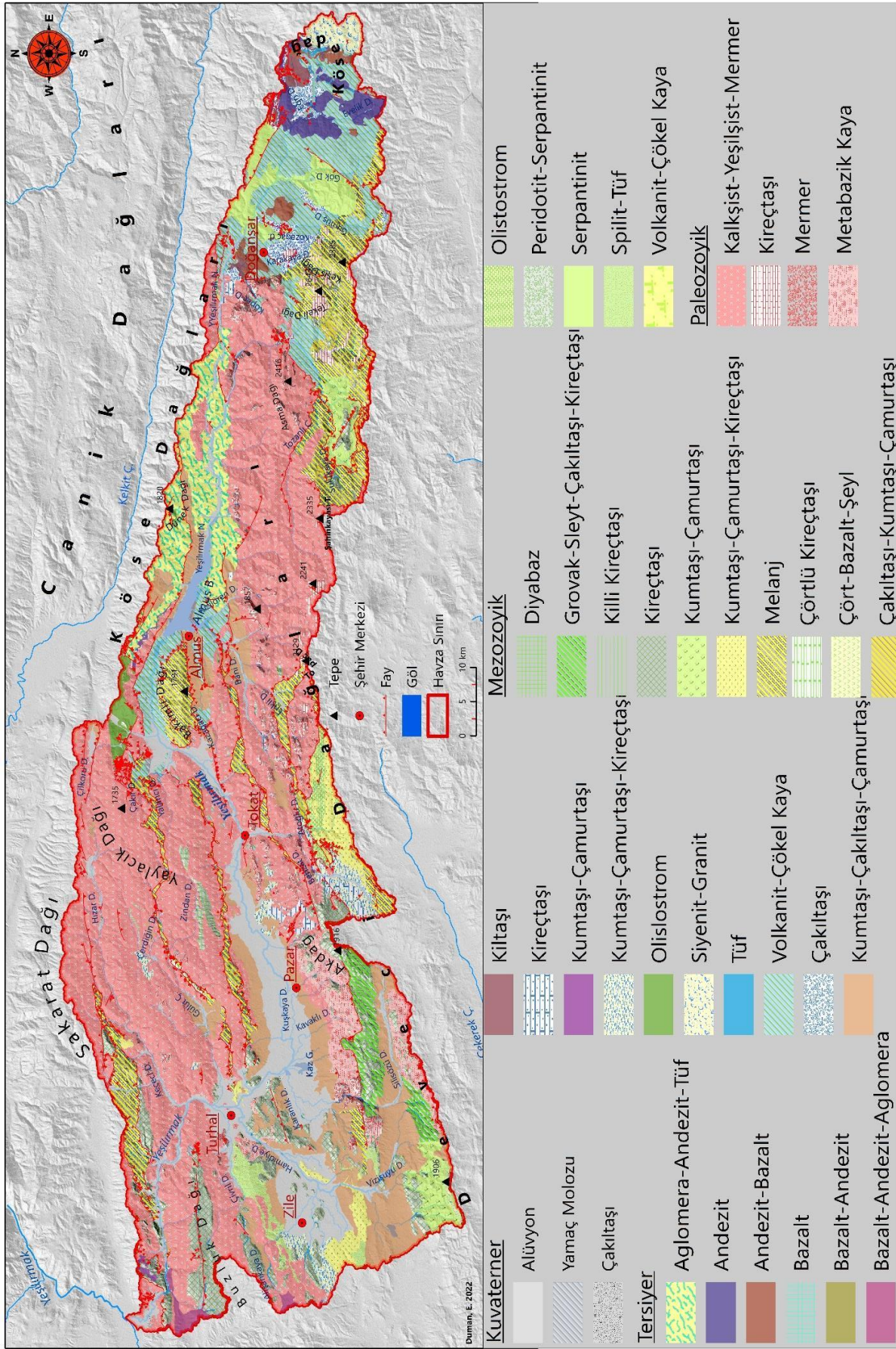
Deprem kayıtları, Tokat içinden geçen fayın geçmişte yüzeyde faylanma oluşturduğunu açıkça göstermese de, fay boyutu ve bölgenin jeolojik konumu dikkate alındığında, Almus Fayı'nın yüzeyde faylanma oluşturma potansiyeline sahip olduğu düşünülebilir. Bu nedenle, Tokat'ın gelecekte büyük bir depremden etkilenme olasılığı bulunmaktadır.

Bir fayın yüzeye kadar uzanan bir kırık oluşturup oluşturmadığını belirlemek ancak paleosismoloji çalışmaları ile mümkündür. Almus Fayı üzerinde yapılmış yayınlanmış bir paleosismolojik araştırma bulunmamaktadır. Bu nedenle, Almus Fayı'nın geçmişte yüzeyde faylanma oluşturma oluşturmadığı ve fayın batıya doğru ne kadar devam ettiği gibi sorulara cevap verebilecek detaylı çalışmalara ihtiyaç vardır.

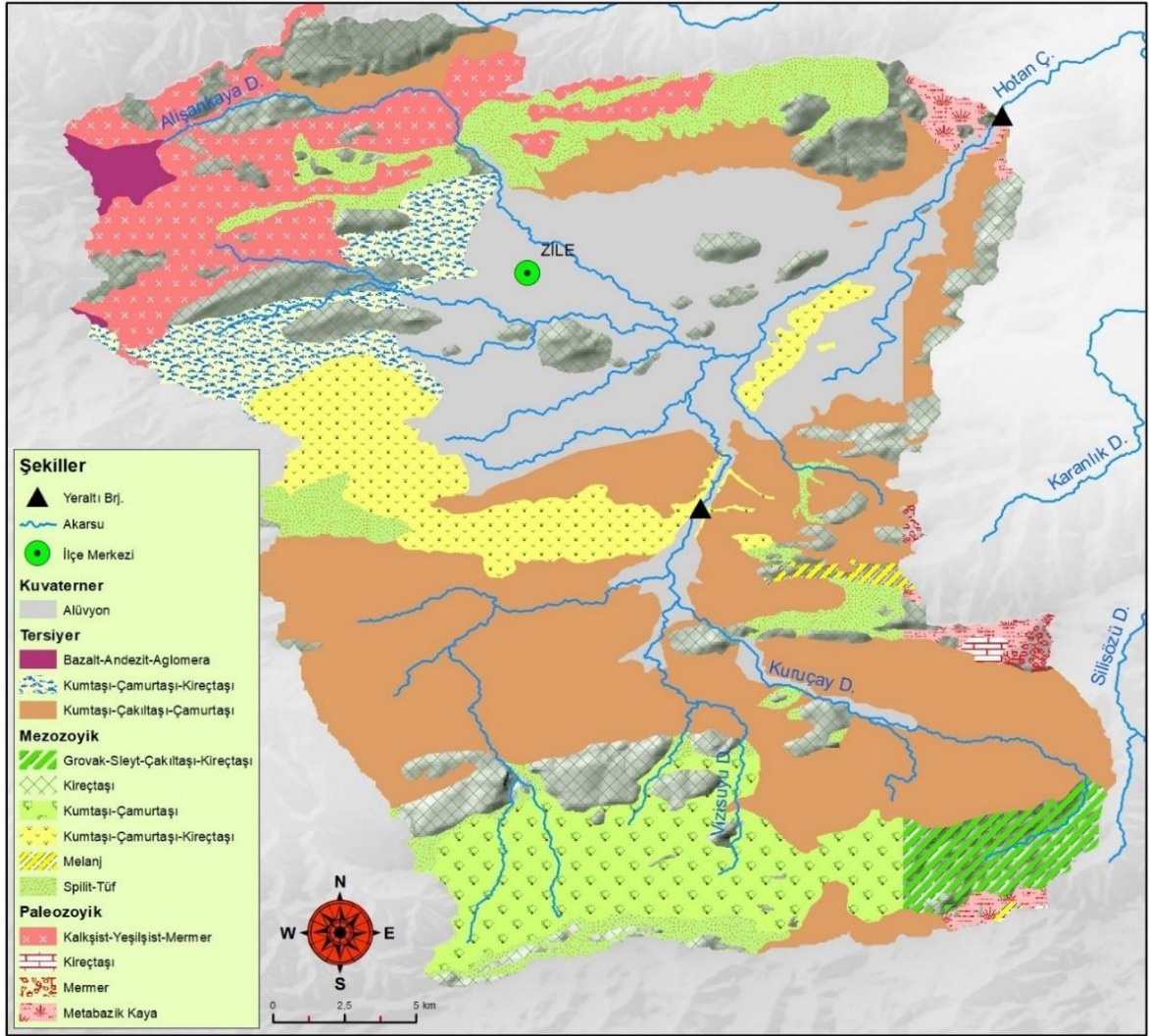
Araştırma sahasındaki Ezinepazar fayından başka daha küçük ölçekli faylar mevcuttur. Bunlar, ekseriyetle düşey ve doğrultu atımlı olmakla birlikte, doğu-batı yönündedir. Bölgedeki bindirmeler, Artova Ofiyolitli Karışığı ve Tokat Metamorfikleri arasında ortaya çıkmıştır. Eosen öncesi hareketlerin bir sonucu olarak, Artova Ofiyolitli Karışığı Tokat Metamorfikleri birimini üzerlemiştir. Sahanın doğu bölgesinde de Artova Ofiyolitli Karışığı Doğanşar ve Boztepe Formasyonları üzerine bindirme şeklindedir (Duman, 2022).

Kazova dolaylarında, Kazova'nın kuzeyinde batıdan itibaren Arzupınarı, Akbuğday, Büyükyıldız ve Yayladalı fayları bulunmaktadır. Kazova'nın güneyinde, yine batıdan doğuya doğru Ütük fayı, Çayıraltı fayı, Üzümlören fayı, Kaledere fayı ve Tokat fayı bulunmaktadır. Canbolat-Köklüce fay hattı, araştırma alanının bir parçasıdır. Bu fay, çalışma alanının kuzey kesiminde Canbolat köyü dolaylarından Niksar Depresyonu kapsamındaki Köklüce köyüne dek uzanmaktadır (Özçağlar, 1988).

Yukarı Yeşilırmak Havzası, Anatolit ve Pontitlerin ayrıldığı bölümde yer alan Kelkit dislokasyon hattının güneyindedir (Aşçıoğlu & Uzuner, 1973). Bu dislokasyon hattında Kuzey Anadolu Fayı (KAF), transform fay hattı özelliği göstermektedir (Lutgens ve diğ., 2017). Araştırma alanındaki küçük ölçekli faylar, Kuzey Anadolu Fayı'nın güneyinde, araştırma alanının kuzeyinde bulunmaktadır. Yukarı Yeşilırmak Havzası'nda çeşitli formasyonlar bulunmaktadır ve bu formasyonlara ait farklı türde kayaçlar görülmektedir. Havzada volkanik kayaçlar, tortul kayaçlar ve metamorfik kayaçlar görülmektedir (Harita 9-10).



Harita 9. Yukarı Yeşilirmak Havzası Düzenlenmiş Jeoloji Haritası (Aktimur ve diğ., 1990; Aktimur ve diğ., 1990; Sümengen, 2013a; Sümengen, 2013b; Sevin ve Uğuz, 2014).



Harita 10. Araştırma sahasının jeolojik haritası.

Araştırma sahasının jeoloji haritası incelendiğinde göze çarpan en önemli kayaç grubu Tokat Metamorfitleleri'dir. Bu grup Kalkışist, yeşilışist ve mermerden oluşmaktadır. Yeşilirmak'ın güneyinde ve Tokat şehir merkezi batısından başlayarak genellikle Yeşilirmak'ın kuzey kesimlerinde bulunmaktadır. Tokat Masifi olarak da bilinen bu gruptaki kayaç topluluğu Paleozoyik dönemine aittir.

Araştırma alanının bir diğer yaygın grubu melanjlardır. Bölge, farklı jeolojik sistemleri içinde bulundurması, geçmişte çeşitli çökelme ortamlarına ev sahipliği yapması ve ayrıca derin deniz volkanizma hareketlerinin meydana gelmesi nedeniyle birçok kayaç grubunu karmaşık bir şekilde bir araya getirmiştir. Bu karmaşıklığın en güzel örneği Artova Ofiyolitli Karmaşığı; volkanik, sedimanter ve metamorfik kayaçları içinde barındıran melanj grubundan oluşmaktadır.

Araştırma sahasında yaygın olan alüvyonlar, bölgenin geniş bir kısmını kaplayarak tarımsal faaliyetlerin önemli olduğu alanlarda bulunmaktadır. Dere yatakları, vadi tabanları ve tektonik çanaklar gibi bölgelerde, akarsuların biriktirmesi sonucu alüvyon sahaları sıkça gözlemlenir. Bu alanlar, bölgenin litolojik formasyon gruplarına göre Stratigrafi başlığı altında ayrıntılı olarak incelenmiştir.

4.2.2. Stratigrafi

Araştırma alanı, Sakarya Zonu ve İzmir-Ankara-Erzincan Zonu birimlerini içerir. Araştırma sahasının temelini oluşturan bu bölgelere ait birimler, Örtü kayaçları tarafından uyumsuz şekilde örtülmüştür (Sümengen, 2013a; Sümengen, 2013b).

Sakarya Zonuna ait bölgede bulunan; Tokat Formasyonu ve Carcurum Formasyonudur.

İzmir-Ankara-Erzincan Zonu grubuna ait Artova Ofiyolit Karmaşığına ait kayaçlar bulunmaktadır.

Temelde Sakarya Zonu ve İzmir-Ankara-Erzincan Zonu üzerinde de Boyunpınar Birimleri sıralanmaktadır.

4.2.2.1. Paleozoyik

Tokat Metamorfitleeri

Sakarya Zonu'nun en büyük parçası olan Tokat Metamorfitleeri, Doğanşar'ın batı kesimlerinden başlamak üzere Almus ve Tokat şehir merkezinin güneyini de kapsayarak havzanın batı sınırına kadar uzanmaktadır. Pazar'a kadar bu kısım küçük parçalardan oluşur. Tokat şehir merkezinin kuzey kesimlerinden başlamak üzere Kazova ve Turhal Ovalarının da kuzeyini kapsayan havzanın kuzey bölümü de birimin diğer kısmını oluşturmaktadır. Tokat Metamorfitleeri çeşitli araştırmacılar tarafından farklı isimlendirilmiştir. Bunlar; Baykal (1947) tarafından Paleozoyik Metamorfitleeri olarak, Blumenthal (1950) tarafından Tokat Kristalin Masifi olarak, Okay (1955) tarafından Paleozoyik Metamorfitleeri olarak, Ketin (1962) tarafından Tokat Masifi olarak, Alp (1972) tarafından Silüryen Öncesi Temel Kayaçlar olarak, Seymen (1975) tarafından Tozanlı Grubu olarak, Özcan vd. (1980) tarafından Turhal Grubu olarak, Gökçe (1983) tarafından Turhal Metamorfitleeri olarak, Temiz vd. (1993) tarafından ise Tokat kompleksi olarak isimlendirilmiştir. Birim doğu-batı yönünde Erzincan'ın kuzey kesiminden Amasya'ya dek yayılım göstermektedir (Üstintaş ve İnceöz, 1999).

Bölgenin temelini oluşturan Tokat Metamorfikleri Paleozoik yaşlıdır. Kalkışist, yeşilışist, killişist, kuvarşlı fillat, fillit, mermer, metatüf, metaaglomera, metaasidik ve metabazik istif şeklinde olan Tokat Metamorfikleri farklı parçalar halinde farklı isimlerle de incelenmiştir.

Artova Ofiyolitli Karmaşığı

Adını araştırma bölgesinin güney bölümünde bulunan Artova Boğazı'ndan alan birim ve İzmir-Ankara-Erzincan Zonu'nda bulunmaktadır. Araştırma alanının kayaç yapısının tanımlanmasında önem taşımaktadır. Serpantinit, kumtaşı başta olmak üzere aglomera ve tüften oluşmuş birimlerden oluşur ve değişken boyut ve yaşlara sahip sedimanter, magmatik, volkanik ve metamorfik kaya içermektedir. Birim çoğunlukla yeşil ve beyaz bazen mor alacalı olarak renklerde olup çok çeşitlidir (Sümengen, 2013a). Birim araştırma alanının her yerine yayılmış olsa da havzanın güneydoğu kesimlerinde daha fazla yoğunluk göstermektedir.

Artova Melanjında, gri ve altı masif üstü katmanlı Permien yaşlı Kireçtaşı Blokları; gri, kırmızı renkte kalsit damarlı ve katmanlı Senomanien yaşlı Kireçtaşı Blokları; yeşil-mavi renkte kırılğan yapıda ve milonitleşmiş serpantinit blokları; kırmızı ve bordo renklerde, yer yer ince yer yer orta katmanlı, çoğunlukla kalsit damarlı radyolarit blokları; yeşil-kahverengi ve kolay kırılan, ofitik Diyabaz Blokları; yeşil ve gri benekli yer yer masif yer yer katmanlı olarak bulunan Gabro Blokları, koyu yeşil ve kahverengi Peridotit Blokları görülmektedir (Sümengen, 2013a).

4.2.2.2. Mesozoyik

Carcurum Formasyonu

Radyolaryalı, çörtlü ve mikritik kireçtaşlarından oluşmuş olup çalışma alanında Tokat Metamorfiklerinin üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Birime ait fosillerin incelenmesiyle birim Üst Jura-Alt Kretase yaşlı olarak belirlenmiştir (Sümengen, 2013a). Carcurum Formasyonu Sakarya Zonu bünyesinde ve Turhal ile Amasya arasında, ilçe merkezinin güney kesiminde konumlanmaktadır.

4.2.2.3. Tersiyer

Boyunpınar Formasyonu

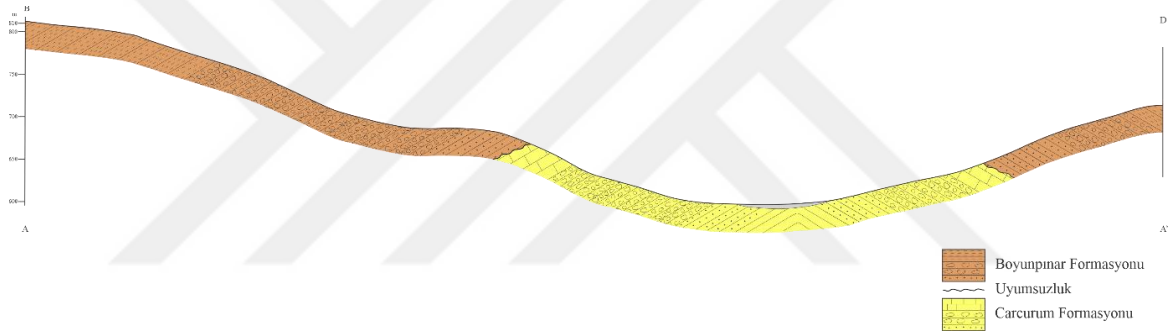
Karasal bir istif olan Boyunpınar Formasyonu traverten, çakıltası, kumtaşı ve kireçtaşı içermektedir. Boyunpınar Formasyonu en net şekilde adını almış olduğu Boyunpınar köyünde

incelenmektedir. Formasyon, Artova Ofiyolitli Karmaşığı, Tokat Metamorfikleri ve Boztepe Formasyonu'nda oluşmuştur. Boyunpınar Formasyonunun yaşını çeşitli araştırmacılar ayrı dönemler olarak kabul edilmiştir, ancak bu çalışmada Üst Miyosen-Alt Pliyosen olarak belirlenmiştir (Sümengen, 2013a).

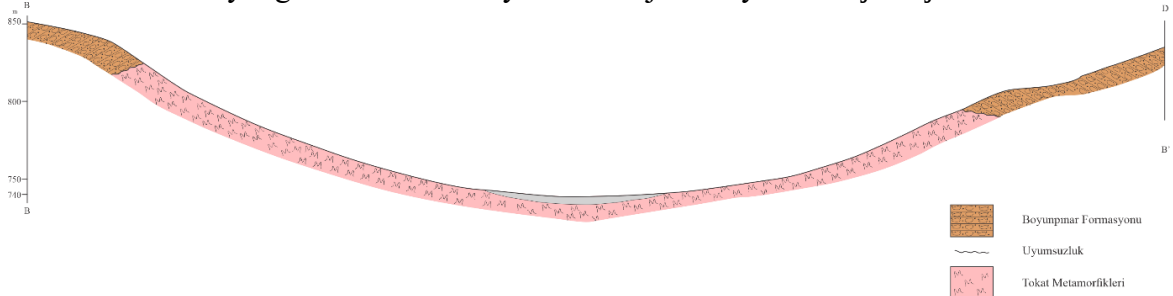
4.2.2.4. Kuvaterner

Kuvaterner birimler çoğunlukla Kazova, Zile Ovası, Gözova ve Turhal Ovası'na ait alüvyon dolgu sahalarıdır. Kuvaterner yaşlı alanlardan biri de Kazova çevresinde bulunan dağların yamaçlarında taşınmış materyalden oluşan birikinti yelpazeleridir. Bu bölgeler dışında, yine de akarsu vadilerinde bulunan alüvyonlar ve küçük miktarda yamaç molozu bulunmaktadır.

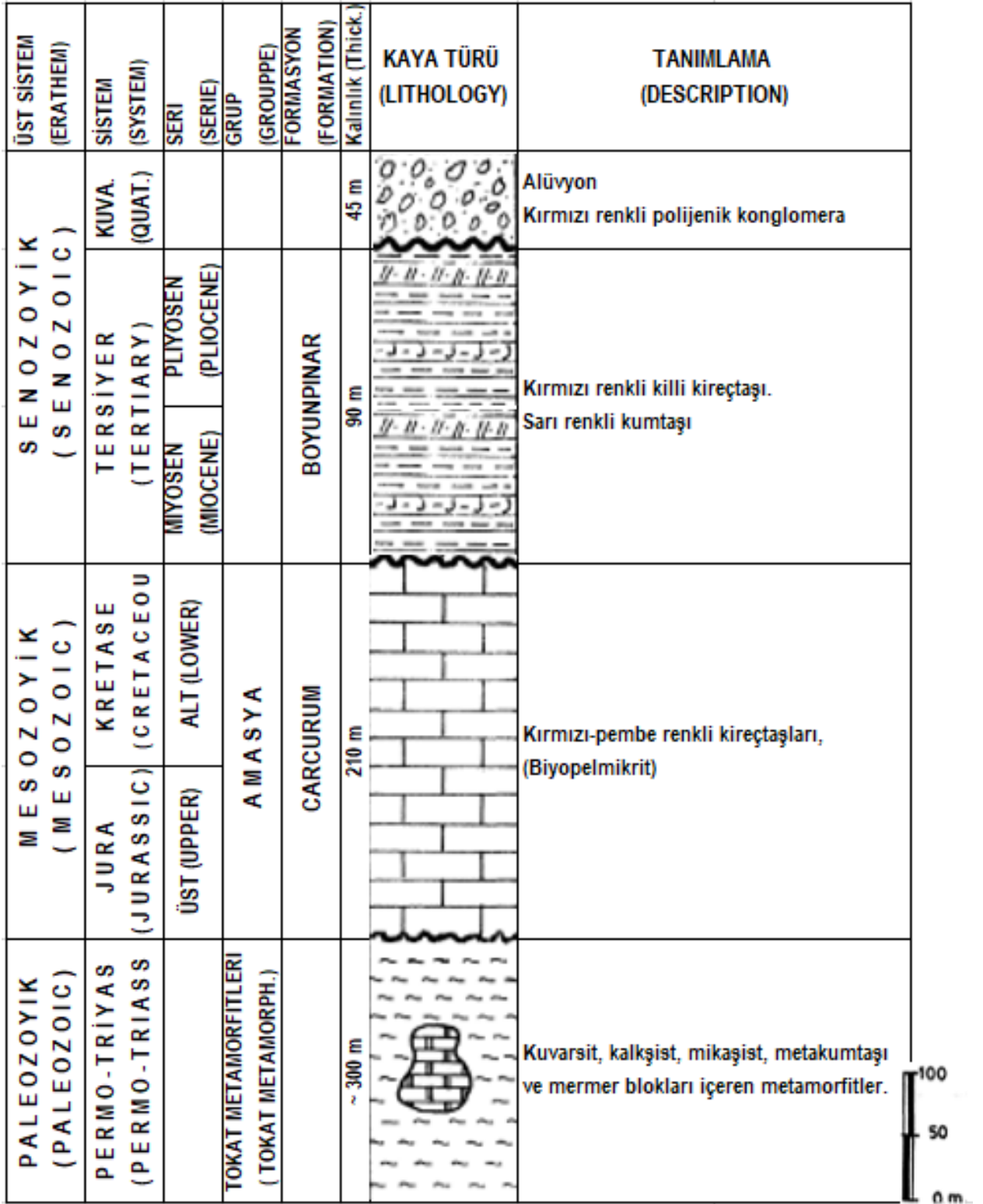
Çalışma alanına ait genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesit ve potansiyel yer seçimi bölgelerinin jeolojik enine kesitleri Şekil 14-15-16'te verilmiştir.



Şekil 14. Zile kuzeydoğusunda önerilen yeraltı barajı lokasyonunun jeolojik enine kesidi.



Şekil 15. Zile güneydoğusunda önerilen yeraltı barajı lokasyonunun jeolojik enine kesidi.

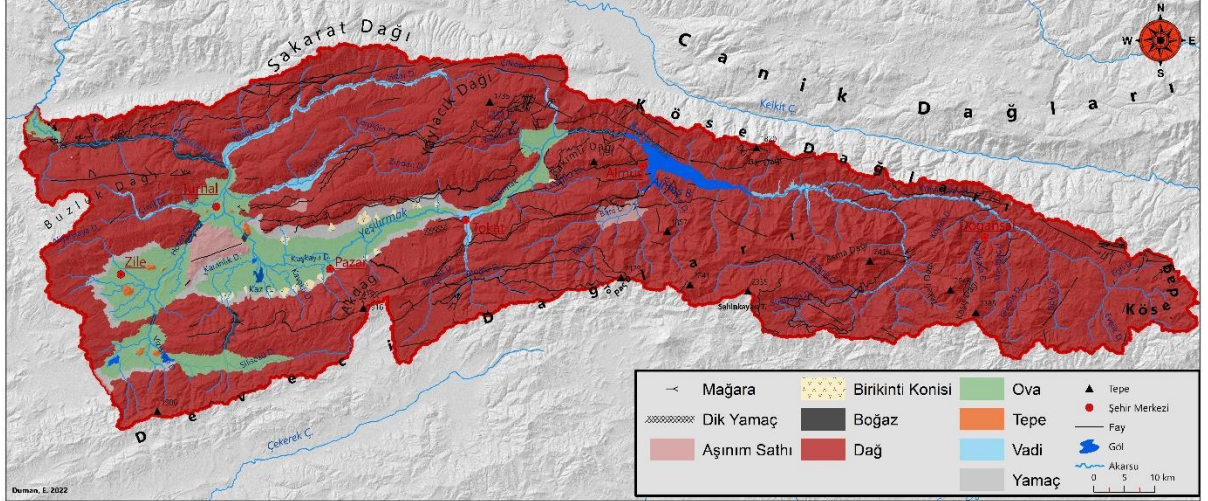


Şekil 16. Çalışma alanının stratigrafik sütun kesidi.

4.3. ÇALIŞMA ALANININ JEOMORFOLOJİSİ

4.3.1. Jeomorfolojik Birimler

Araştırma alanında jeomorfolojik olarak ana birimler, dağlar, ovalar ve platolar veya aşındırma yüzeyleridir. Dağlar, en büyük jeomorfolojik birimdir. (Harita 11).



Harita 11. Yukarı Yeşilirmak Havzasının Düzenlenmiş Morfoloji Haritası (Duman, 2022).



Şekil 17. Zile kuzeydoğusunda önerilen yeraltı barajı sahasında yapılan arazi çalışmaları, Sol fotoğraf batı, sağ fotoğraf doğu yönlü (Topçu ve Doğu fotoğraf arşivi, 2023).

4.3.1.1. Dağlar

Araştırma alanının baskın jeomorfolojik ünitesi dağlardır. Saha, tektonik hareketlerin etkisinde kalarak dağlık alanlar oluşturmuştur. Birinci jeolojik zamanda kıvrım hareketleri sahanın masif arazilerinin oluşmasında etkili olmuştur. Daha sonraki dönemde, Alpin kıvrımları hem Paleozoyik hem de daha yeni yaşlı arazilerde orojenik faaliyetlere yol açmıştır.

Sakarat Dağı: Sakarat Dağı, batı-doğu yönünde Amasya şehir merkezinden Niksar ilçesine kadar 90-95 kilometreye uzanan bir hat şeklindedir. Araştırma sahasının kuzey sınırını oluşturan doğu kısmı yaklaşık yarısını oluşturmaktadır. Canik Dağları'nın güneyindeki ikinci orografik hat, Kuzey Anadolu Dağları'nda yer alan Sakarat Dağı'dır. Sakarat Dağı'ndaki metamorfik araziler, büyük ölçüde Paleozoyik formasyonlardan oluşan Hersiniyen orojenezinden etkisi altında kalmıştır (Şahin, 1998). Dağın güneyi Yukarı Yeşilırmak Havzası drenaj bölgesindedir. Bu bölgeye düşen yağış, Keçeci deresi ve Çilkoru deresi tarafından Yeşilırmak'a boşalmaktadır. Dağın kuzey yamaçlarının bir bölümü Orta Yeşilırmak Havzası drenaj sahasındayken, Erbaa'dan itibaren doğu kısmı Kelkit Çayı havzasına girer. 1956 metre yüksekliğindeki Cami Tepesi, Sakarat Dağı araştırma sahasının en kuzey noktasıdır (Şekil 18).



Şekil 18. Sakarat Dağı (Bakış Yönü: Kuzey) (Duman, 2022).

Yaylacık Dağı: Tokat Masifi'nin bir parçası olan Yaylacık Dağı, Turhal ilçesi dolaylarında Mercimek Dağı ile birlikte Kazova'nın kuzeyinde bulunmaktadır. Bu kütle, paleozoyik metamorfikler-şistlerden ve mermerlerden oluşmaktadır. Birimde Triyas yaşlı ofiyolitik seriler ve Üst Jura - Alt Kretase kalkerleri bulunur. Eosen filişleri nadir olarak bulunmaktadır. (Özçağlar, 1988).

Güneyden faylanmalar nedeniyle, Yaylacık Dağı Kazova tarafından sınırlanmıştır. Kazova ile dağın güney yamacı arasında fay basamakları bulunmaktadır. Özcağlar (1988), Yaylacık Dağı'nı Sakarat Dağı'ndan kuzey yönünde Cilkoru Deresi vadisi ve Gülüt Senklinali tarafından ayırır. Yaylacık Dağı'nın zirvesi 1735 metredir ve çoğunlukla plato görünümündedir. Dağ, Zindan, Çakır ve Eğrisu dereleri tarafından parçalanmış ve plato şeklini almıştır (Şekil 19).



Şekil 19. Yaylacık Dağı-Plato Sahası (Duman, 2022).

Tokat fayı ve daha önce bahsedilen Ütük fayı, Çayıraltı fayı, Üzümlören fayı ve Kaledere fayı Akdağ'ı kuzeyinden sınırlamaktadır. Bu sınır ile Kazova'dan ayrılmaktadır. Akdağ'ın kuzeyinde bulunan Kazova'nın yüksekliği 600 metre dolaylarındayken, güneyindeki depresyonların yüksekliği 1100 m dolaylarındadır. Dağın en yüksek noktası 1916 metredir (Şekil 20).



Şekil 20. Akdağ ve Kazova Depresyonu (Bakış Yönü: Güney) (Duman, 2022).

Deveci Dağları: Çalışma alanının güney kesiminde bulunan Deveci Dağları, Bozok Platosu'nun kuzeydoğusundan GB-KD doğrultusunda Almus Barajı'nın doğusuna kadar uzanmaktadır. Deveci Dağları, Yozgat ve Tokat illerinin sınırları içinde yer alır ve Yeşilırmak Nehri sayesinde oluşmuş vadi ile Köse Dağları'ndan ayrılır. Deveci Dağları, kuzeyden Çekerek Çayı tarafından sınırlanmıştır. Batı yönünde Akdağ, Tokat şehir merkezinin doğu kesimlerinden itibaren Yeşilırmak Nehri ile sınırlıdır. Deveci Dağları'nın zirvesi olan Deveci Tepesi 1907 metre yüksekliktedir ve dağ dizisinin ortasında bulunmaktadır. Dağ kütlelerinin yüksekliği onun merkezinden doğuya ve batıya doğru azalmaktadır. (Şekil 21).



Şekil 21. Deveci Dağları (Bakış Yönü: Güneydoğu) (Duman, 2022).

Köse Dağları: Niksar (Tokat) ile Suşehri (Sivas) arasında bulunan Köse Dağları, araştırma bölgesinin doğu-kuzeydoğu kısmını oluşturmaktadır. Köse Dağları, Canik Dağları'nın güneyinde ve Kuzey Anadolu Dağları'nın iç kısmında yer almaktadır. Kelkit Depresyonu kuzeyde ve Yeşilırmak Nehri güneyde sınırları oluşturmaktadır (İzbırak, 1983). Doğuya doğru ilerledikçe, Köse Dağları daha yüksektir. Kösedag 2812 metre yüksekliğindedir ve Köse Dağları'nın zirve noktasıdır. Bu bölge ayrıca Yeşilırmak Nehri'nin kaynağıdır. (Şekil 22).



Şekil 22. Köse Dağları Doğu Yamacı (Bakış Yönü: Kuzey) (Duman, 2022).

4.3.1.2. *Platolar/Aşınım Yüzeyleri*

Çalışma alanının geneli, çoğunlukla dağlık alanlar ve ovalar içerdiğinden, plato veya aşındırma yüzeyi geniş bir alan kaplamamaktadır. Bununla birlikte, aşınmaya bağlı olarak bazı yüksek kesimler ve dağların zirveleri plato özelliklerine sahiptir. Araştırma bölgesinin kuzeyinde bulunan Yaylacık Dağı'nın en yüksek kesimleri aşınma yüzeyi özelliklerine sahiptir. Zirve noktası 1735 metre ve ortalama yüksekliği 1650 metredir. Akarsu tarafından aşındırılan kısımları plato görünümüne sahiptir. (Şekil 23).



Şekil 23. Yaylacık Dağı (Rakım: 1450m) (Duman, 2022).

Araştırma sahasında aşınım yüzeyine örnek alan olarak Ayranpınar Yüksek Alanı olarak tanımlanmıştır. 800-850 metre yüksekliğinde, Kazova-Turhal Ovası ve Zile Ovası arasında bulunan bu alan Kazova'yı batı yönünden sınır oluşturmaktadır (Şekil 24). Aşınım yüzeyi araştırma alanına göre oldukça küçüktür ve yaklaşık 30 km²'dir (Özçağlar, 1988).



Şekil 24. Ayranpınar Yükselimi Doğu Bölümü (Bakış Yönü: Kuzey) (Duman, 2022).

4.3.1.3. Ovalar

Araştırma alanının çoğu dağlık alanlardan oluşmaktadır ancak, ovalar da araştırma sahasının önemli jeomorfolojik alanlardandır. Araştırma alanındaki ovalar, tektonik çukurlukların akarsuların alüvyon ile doldurması sonucunda oluşmuştur. Araştırmanın kapsadığı ovalar büyükten küçüğe sırasıyla Kazova, Zile, Turhal ve Gözova'dır. Bunların dışında, araştırma bölgesinin aşağı kısmında yaklaşık 10 km²'lik Amasya Ovasının küçük bir parçası bulunmaktadır.

Kazova

Kazova'daki alüvyon, tektonik bir çukurluk nedeniyle akarsuların doldurmasıyla oluşmuştur. Teorik olarak, Yeşilırmak nehrinden ziyade bulunan dağlardan gelen akarsuların mevcut alüvyonu oluşturduğu düşünülmektedir. Arazide yapılan incelemelerde, Yeşilırmak Nehri yatağının hemen yanında bile yeteri kadar ırmak kumu olmadığı sonucuna varılmıştır. Araştırmanın konusu olan Yukarı Yeşilırmak Havzası, KAFZ etki alanında bulunan tektonik birimlerin bir parçasıdır. Kazova'nın oluşumu sağlayan tektonik hareketlerin Alpin Orojenezi olduğunu belirtmektedir (Özçağlar, 1988). Jeoloji bölümünde belirtildiği gibi, bölgenin jeolojik temelini oluşturan Tokat Masifi Paleozoyik, Hersiniyen Orojenezine maruz kaldığı için esnekliğini yitirmiştir. Ancak Eosen'de etkili olan Alpin hareketler nedeniyle bu temel kıvrılamayarak ve kırıklı hale gelmiştir. Bölgede kırılmalardan kaynaklanan çökmeler, tektonik çukurluğun oluşmasına neden olmuştur. Kazova, Yeşilırmak Nehri ve ovanın kuzey ve güneyindeki akarsuların aşındırdığı malzemeyi bu tektonik çukurlukta biriktirerek günümüzdeki haline gelmiştir (Şekil 25).



Şekil 25. Kazova Depresyonu (Bakış Yönü:Güney) (Duman, 2022).

Kazova, araştırma alanının Doğu-Batı yönündeki en geniş ovasıdır. Katmerkaya Boğazı, Kazova'yı Zile Ovası ile Turhal Ovası arasında ayırmakta, kuzeyde Yaylacık Dağı ve güneyde Akdağ Kazova'yı sınırlamaktadır. Ova yaklaşık 230 km²'dir ve doğudan batıya yaklaşık 40 km'dir. Ovanın doğudan batıya doğru genişlediği görülmektedir. Ovanın genişliği, Tokat şehir merkezinin hemen batısında kuzey-güney yönünde 2 km'den 11 km'ye kadar artar. Kazova, doğudan batıya doğru yükseldikçe yaklaşık 600 m ile sınırlıdır. Yükselti en doğuda 600 metre iken, Katmerkaya Boğazı'nda 540 metreye kadar düşer. Ancak ovanın güney batı kesiminde bulunan Kaz Gölü bölgesi 540 metrenin altındadır ve bu nedenle bölgede bir çarpılma veya çökme meydana geldiği görülmektedir. (Şekil 26).



Şekil 26. Akdağ'dan Kazova Görüntüsü (Bakış Yönü: Kuzeybatı) (Duman, 2022).

Zile Ovası

Zile Ovası, Zile ilçesinin de bulunduğu araştırma alanındaki alan bakımından ikinci büyük ovadır (Şekil 27). 61 km²'lik bir alana sahip olan Zile Ovası, güney kısımlarında 750 metrelere kadar yükselir ve ortalama yükseltisi yaklaşık 700 metredir. Kuzeyde yükselti 600 metreye kadar düşmektedir. Araştırma bölgesinin güneybatısında bulunan Zile Ovası, araştırma bölgesinin dışındaki Çekerek Nehri havzasında bulunan Maşat Ovası'ndan güneyden ve batıdan 800-850 metre yükseltilere varan bir eşikle ayrılmaktadır. Ovanın K-G uzunluğu yaklaşık 10 km, D-B yönünde yaklaşık 7 kilometre dolaylarındadır. Ovanın kuzeyinde küçük bir sahada yeni alüvyon dolgu bulunurken, tüm ova Pliyo-kuvaterner dolgularla doludur (Özçağlar, 1989).



Şekil 27. Zile Ovası (Bakış Yönü: Kuzey) (Duman, 2022).

Ovanın net sınırlarını bulma konusunda kaynaklar çeşitlilik göstermektedir. Zile Ovası, bazı kaynaklara göre 120 km² (Özçağlar, 1989), bazı kaynaklara göre 60 km²'dir (Tokat İl Tarım Orman Müdürlüğü, 2018). Aynı kaynaktaki haritada, Zile Ovasının güney kesiminde bulunan Boztepe Üyük, Yeni Derbent ve Çeltik Köyleri çevresinde bulunan yaklaşık 30 km²'lik bir alan Maşat Ovası olarak gösterilmiştir. Jeomorfolojik birim olarak, bu bölge ile Maşat Ovası arasında çok küçük bir yükselme olduğu için Maşat Ovası ile birleşik şekilde görünmektedir. Bununla birlikte, havza bazında incelendiğinde Maşat Ovası, Çekerek Irmağı havzasında yer almaktadır. Yukarı Yeşilırmak Havzası'nda bulunan bu bölge Zile Ovası olarak kabul görmektedir.

Turhal Ovası

Araştırma bölgesinin kuzey batı kesiminde bulunan Turhal Ovası, yaklaşık 38 km²'lik bir alana sahiptir ve Turhal ilçe merkezi bu alan içinde kalmaktadır. Turhal Ovası, çoğunlukla paleozoyik dağ kütlelerinden oluşur. Bazı dağ kütleleri alüvyon sahaya bu şekilde girinti yapmıştır. Alüvyon deponun ortasından birkaç yerde adaya benzer şekilde yükselmektedir (Blumental 1950). Şeklen kareye benzeyen Turhal Ovası, çevreden gelen derelerin olduğu bölgelerde dere yataklarına doğru kaymaktadır (Duman, 2022). Ovanın çoğu Turhal İlçe Merkezi'ndedir. Katmerkaya Boğazı ve Kazova, Turhal Ovası'nın güneydoğudan ayrıldığı iki bölümdür. Katmerkaya Boğazı'ndan geçen Yeşilırmak, Turhal Ovasına da girmektedir. Ova, güneyden Zile Ovası'ndan Hamidiye Boğazı yoluyla ayrılmakta ve batıda Çivril Deresi boyunca biraz dere yatağı boyunca ilerlemektedir. Kuzey istikametinde, Kuruçay Deresi yatağına kadar kısa bir çizgi uzanmaktadır. (Şekil 28).



Şekil 28. Turhal Ovası (Bakış Yönü: Doğu) (Duman, 2022).

Gözova

Gözova, Mala Ovası olarak da bilinir ve 30 km²'lik bir alana yayılır. Gözova, Tokat-Niksar yolu üzerinde ve Tokat il merkezinin doğu kesiminde bulunmaktadır. Gözova, Zile Ovasına benzeyen bir duruma sahiptir, ancak iki parçanın birbirine bağlandığı daha geniş bir boğaz vasıtası nedeniyle aynı havza içinde değildir. Bu nedenle, Gözova ayrı bir jeomorfolojik birim olarak tanımlanmamıştır. Ovanın yükseltisi doğu bölgelerinde 700 metrenin üstüne çıkarken, batı bölgesinde 600 metrelere kadar düştüğü görülmektedir. Gözova, oluşum açısından çevredeki ovalarla aynı özelliklere sahiptir. Yeşilirmak ve çevredeki derelerin taşıdığı alüvyonun bu çukurluğa dolması, bölgenin tektonik bir çanak oluşumunun bir başka nedenidir. Ova, çevredeki yerleşim yerleri için önemli bir ziraat bölgesidir. (Şekil 29).



Şekil 29. Bakımlı Dağı'ndan Gözova Görünümü (Bakış Yönü: Batı) (Duman, 2022).

4.4. ÇALIŞMA ALANININ KLİMATOLOJİK ÖZELLİKLERİ

4.4.1. İklim Özellikleri

Yukarı Yeşilirmak Havzası, coğrafi olarak Karadeniz Bölgesinde bulunmaktadır. Büyük bir ölçekte, araştırma sahasının bulunmakta olduğu bölge nedeniyle Karadeniz İklimine sahip olduğu düşünülmektedir, ancak Karadeniz iklimi, bilindiği gibi her mevsim yağışlıdır ve denizsel bir yapıya sahiptir. Bu durum genellikle kıyı kuşağını temsil eder ve bölümler özelinde incelendiğinde nem oranı açısından Batı ve Doğu Karadeniz'in, Orta Karadeniz'e göre oranları daha yüksektir. (Şahin, 2005; Sağdıç, 2015; Duman, 2022). Araştırma alanı, yüksek ölçüde Orta Karadenizde bulunmasına karşın Karadeniz iklimine sahip değildir. Canik Dağları, Orta Karadeniz Bölgesinde bulunduğu için deniz etkisinin iç bölgelere geçmesini kısıtlamaktadır. Canik Dağları, Karadeniz bölgesinde kıyıya paralel sıradağlarla kıyaslanınca daha alçaktır ve orada bulunan akarsuların oluşturmuş olduğu boğazlar nedeniyle önemli seviyede denizel bir etkiye sahip olmaktadır. Çalışma alanı, Canik Dağları ile aynı bölgede bulunan ikinci bir dağ silsilesinin güneyinde yer almaktadır. Havza, Karadeniz ile arasında iki set bulunan Sakarat Dağı ve Köse Dağları'nın güneyindedir. Canik Dağları, Sakarat Dağı ve Köse Dağları gibi Doğu ve Batı Karadeniz'deki dağ dizilerine göre daha düşüktür. Yine de Kızılırmak ve Yeşilirmak Nehirleri kıyı ile şehir arasında bağlantı sağlamaktadır. Bu koşullar nedeniyle, Orta Karadeniz Bölgesi'nin iç bölgeleri az da olsa denizel etkiye maruz kalmaktadır. Bu durum dikkate alındığında, Yukarı Yeşilirmak Havzası, Nemli Karadeniz ve Karasal İç Anadolu İklimleri arasında değişen geçiş iklimi özelliğine sahiptir.

Sahanın iklim özelliklerini belirlemek için havza içindeki meteoroloji istasyonunun verilerinden yararlanılmıştır. Bu meteoroloji istasyonu en az otuz yıldır düzenli olarak rasat vermektedir. Araştırma alanı Karadeniz Bölgesi'nde olduğu için bütünüyle Karadeniz nemli iklimine dahil olmamaktadır. Canik Dağları, Sakarat Dağı ve Köse Dağları gibi yüksek bloklar tarafından deniz ikliminin, iç bölgelere ulaşmasının kısıtlanması, bu iklimsel farklılıklarda rol oynamaktadır.

4.4.2. İklimi Etkileyen Faktörler

Yerkürenin şekli, hareketleri ve genel atmosfer dolaşımı, iklimin iki ana etkisinden biri olan küresel faktörlerdendir. Mevsimlerin tipik özellikleri, küresel faktörler tarafından belirlenmektedir. Rossby dalgalanmaları, hava kütleleri, cepheler ve siklonik faaliyetler tüm dünyada etkilidir (Erinç, 1984; Şahin, 2005). Global basınç kuşakları ve global basınç kuşaklarının kendi aralarındaki hava hareketleri, Ülkemizin iklimini önemli derecede etkilemektedir. Diğer bir deyişle, global faktörler matematiksel lokasyondan kaynaklanmaktadır. Türkiye, 36 ila 42 derece kuzey enlemleri arasında bulunmakta ve genel tanımlamaya göre orta-ılıman kuşakta bulunmaktadır. Kış mevsiminde güneye doğru genişleyen polar hava kütleleri ve yaz mevsiminde daha kuzeye doğru hareket eden tropikal hava kütleleri etkili olmaktadır (Sağdıç, 2015). Türkiye, küresel basınç kuşaklarının merkez alanları dışında yer almaktadır. Bununla birlikte, bu kuşakların genişlemesi ve iki farklı özellikteki kuşaklar arasındaki hava hareketleri etkisiyle iklimi etkilenmektedir (Atalay, 2011). Araştırmanın kapsamı göz önüne alındığında, küresel faktörlerin Türkiye üzerindeki etkilerinin benzerlikler gösterdiği söylenebilir. Balkanlardan veya Sibirya'dan gelen hava kütleleri kış aylarında değişmeli şekilde araştırma alanında etkili olmaktadır.

4.4.3. Nemlilik ve Yağış

Sıcaklık sonrası düşen yağış, atmosferde bulunan su buharının katı olarak ve/veya sıvı olarak yeryüzüne düşmesiyle oluşur. Yağış kelimesi düşünüldüğünde akla ilk olarak yağmur geliyor olsa da kar, dolu ve çiy de yağış kategorisi içinde kabul edilmektedir (Erol, 2014; Türkeş, 2017; Deniz, 2018).

Çalışma alanına ait yağış verileri Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3. Zile Meteoroloji İstasyonu Uzun Dönem Aylık Ortalama Yağış Değerleri (mm) (MGM, 2023).

İst.	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Yıllık
Zile	34,01	45,29	44,65	40,95	33,04	48,47	53,89	62,74	42,23	10,07	7,1	18,23	440,67

Tablo 4. Zile İli Mevsimlere Göre Ortalama Yağış Değerleri (mm) (MGM, 2023).

İst.	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Zile	97,54	118,64	165,1	59,4

Yağış miktarları üzerine yapılan incelemelerde, genel bir kural olarak yükseltinin artmasıyla birlikte yağış miktarının da arttığı belirlenmiştir (Erol, 2014). Ancak, bu durum bölgedeki yüksek kesimlerde farklılık göstermekte olup, bu alanlarda yağışın genellikle kar formunda olması, yağmur olmaması durumunu ortaya çıkarmaktadır.

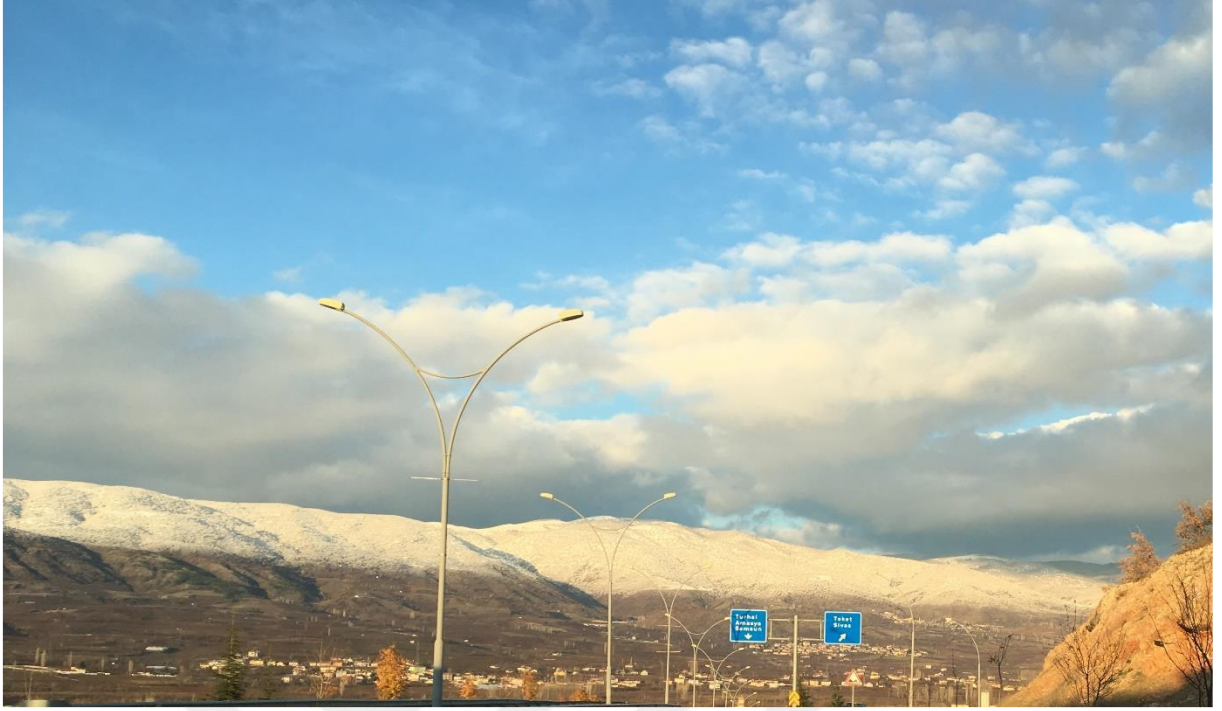
Araştırmacılar, yağışı etkileyen faktörler arasında yükseltiyi ele aldıklarında, yükseltinin artmasıyla birlikte yağışın arttığı, ancak belirli bir yükseklikten sonra azaldığı tespit edilmiştir. P. Schreiber'in çalışmaları, genel olarak kabul gören yükselti arttıkça her 100 metrede yağışın 54 mm arttığı sonucuna ulaşmıştır. Ancak, bu sonuca ulaşan diğer araştırmacılar da bulunmaktadır; Conrad'un araştırmalarına göre yağış 100 metrede 52 mm artarken, Huber'in çalışmalarına göre bu değer 100 metrede 68.6 mm'ye ulaşmıştır (Duman, 2022).

Önceden belirtildiği gibi, araştırma sahasındaki istasyonlar genel olarak bölgenin alçak irtifalarında konumlanmıştır. Hatta, ortalama yükseltisi 1195 metre olan araştırma sahası içerisinde, iklim çalışmalarında kullanılabilecek bir istasyon ortalama yükseltinin üzerinde bulunmamaktadır. Eldeki verilere göre, bu istasyonlar Kasım'dan Nisan'a kadar kar örtüsü kaydı tutmaktadır (Tablo 5). Ayrıca, arazi gözlemleri de bu sonucu destekler niteliktedir ve çeşitli zamanlarda yüksek kesimlerde kar yağışı gözlemlenirken alçak irtifalı bölgelere yağmur yağdığı gözlemlenmiştir.

Şekil 30, yükseltiye göre kar yağışının nasıl değiştiğini açıkça göstermektedir. Aralık ayında fotoğraflanan görüntüde, dağın yüksek kesimleri karla kaplıyken düşük kesimleri karla kaplı değildir. Yamaçtaki kar kütesinin alt sınırı 900-1000 metre civarındadır ve düşük kesimlerde kar yağışı görülmemiştir. Bu seviyenin altındaki bölgelerde ve Kazova'da kar yağışı gözlenmezken, seviyenin üstündeki bölgelerde yağış mevcuttur.

Tablo 5. Aylık Ortalama Kar Örtülü Gün Sayısı (Duman, 2022).

İst.	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
Zile	0	3,75	5,71	9,05	8,81	2,63	2	0	0	0	0	0



Şekil 30. Kar Yağışının Yükseltiye Göre Değişimi (Bakış Yönü: Kuzeydoğu) (Duman, 2022).

Havadaki su buharının yoğunluğunu belirten bir terim olan nem, genellikle nispi nem olarak adlandırılır ve bu oranlar oransal olarak ifade edilir (Erinç, 1984). İncelenen meteoroloji istasyonlarının nem seviyelerine dair veriler göz önüne alındığında, yıllık nem oranının en yüksek değere Zile istasyonunda ulaştığı gözlemlenmektedir (Tablo 6).

Tablo 6. Meteoroloji İstasyonlarının Ortalama Nem Değerleri (%) (Duman, 2022).

İst.	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Yıllık
Zile	68,6	74,7	79,4	77,1	72	66,1	63,7	65,8	64,3	60,6	60,6	62,1	67,9

4.4.4. Basınç ve Rüzgar

Basınç terimi, klimatolojide atmosferin yeryüzüne olan etkilerini ifade eder. Bir bölgenin basınç durumu, çeşitli coğrafi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterir ve hava akımlarını etkileyerek önemli bir rol oynar. Genellikle hava akımları, yüksek basınçlı alanlardan alçak basınçlı alanlara doğru hareket eder ve bu hareketin hızı, basınç farklılıkları tarafından belirlenir (Tablo 7) (Türkeş, 2017; Erol, 2014).

Tablo 7. Zile istasyonu Aylık ortalama, Minimum ve Maksimum Basınç Değerleri (Duman, 2022).

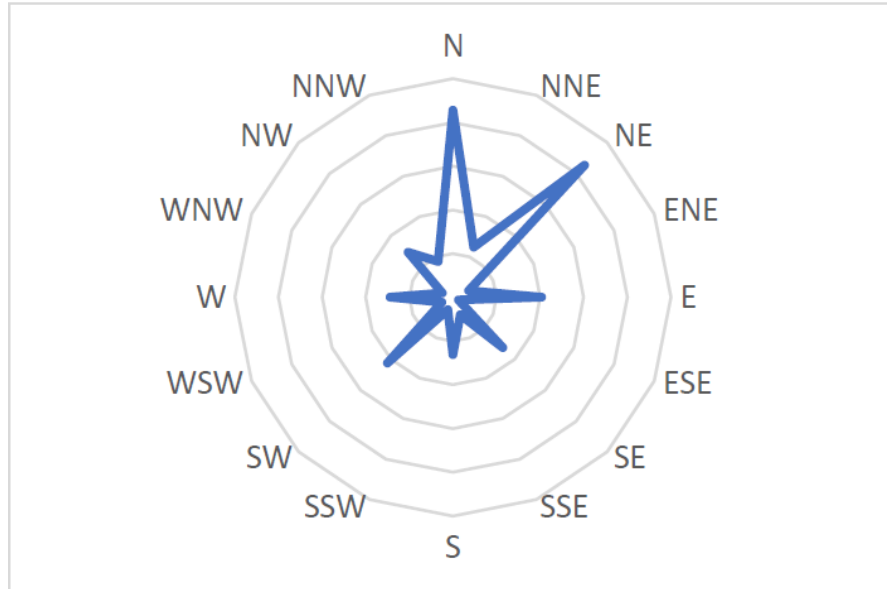
Parametre	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
Aylık Ortalama Hava Basıncı (hPa)	956,4	955,1	953,1	951,7	951,9	951,4	950	950,5	952,9	956,2	957,7	958,1	953,8
Aylık Maksimum Hava Basıncı (hPa)	972	973	971,3	968,6	963,2	963,3	959,2	959,2	963,9	969,5	971	974,1	974,1
Aylık Minimum Hava Basıncı (hPa)	927,4	934,4	932,4	929,3	937,9	938,1	937	937,7	939,2	941	934,4	934,6	927,4

Hava akımlarının bir yerden başka bir yöne doğru hareketine rüzgar denir. Bu hava akımının hızı, süresi ve yönü değişkenlik gösterir ve her zaman standart bir şekilde gerçekleşmez. Rüzgarın yönü, hızı ve sıklığı gibi özellikler, hem basınç merkezlerinin özelliklerinden hem de fiziksel coğrafya özelliklerinden etkilenir (Tablo 8).

Tablo 8. Zile İstasyonu Rüzgar Esme Yönleri (Duman, 2022).

Parametre	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
N	2840	3037	4059	3358	3799	3775	4393	4370	4450	3611	2687	2413	42792
NNE	667	808	967	999	1016	1255	1740	1491	1178	1076	610	640	12447
NE	1950	2008	2830	3130	3699	4879	7069	6180	4423	2934	1878	1693	42673
ENE	247	192	282	240	351	378	699	509	306	274	179	293	3950
E	1348	1248	1615	1700	1758	2051	2330	1935	1797	1863	1456	1186	20287
ESE	192	109	183	131	83	89	83	46	88	92	136	188	1420
SE	1814	1727	1896	1404	1437	1249	888	921	963	1069	1184	1674	16226
SSE	595	634	479	357	238	180	129	132	237	225	489	594	4289
S	1818	1687	1711	1332	1004	777	515	456	635	824	1170	1186	13115
SSW	340	285	346	350	255	173	137	144	265	250	247	275	3067
SW	2445	2327	2567	2532	2105	1318	853	835	1177	1504	1652	1917	21232
WSW	253	224	258	287	274	160	228	200	200	210	247	260	2801
W	1406	1550	1293	1522	1046	1015	748	1010	1009	1042	1224	1528	14393
WNW	229	271	236	212	243	209	182	231	281	206	196	185	2681
NW	831	982	1411	1166	1375	1486	1591	1426	1546	967	844	924	14549
NNW	528	653	907	663	965	829	931	909	764	810	482	439	8880

Çalışma alanının rüzgar özelliklerinin belirlenmesinde Zile istasyonunun kayıtları incelenmiştir. İstasyonun yıllık rüzgar esme değerleri ile oluşturulan rüzgar gülü incelendiğinde on iki ay boyunca baskın rüzgar yönünün kuzey ve kuzeydoğu olduğu görülmektedir (Şekil 31).



Şekil 31. Zile istasyonuna ait verilerle oluşturulan rüzgar gülü (Duman, 2022).

4.4.5. Kuraklık Analizleri

Buharlaşmanın, yağıştan daha fazla olması, su kaynaklarının azalmasına, suyu temin etme süreçlerinin zarar görmesine ya da bitkilerin su problemi çekmesine neden olan duruma "kuraklık" adı verilir. Kuraklık, yüksek sıcaklıklar ve yoğun buharlaşma ile sınırlı olmayıp, bağıl nemin yüksek olduğu soğuk çöller gibi yağışın az olduğu bölgelerde de ortaya çıkabilmektedir. Orta enlemlerdeki karasal antisiklonlar ve alçak hava hareketleri de kuraklık oluşturan faktörler arasında sayılabilmektedir (Atalay, 2011; Erol, 2014; Duman, 2022).

Diğer doğal felaketlerle karşılaştırıldığında, kuraklık dünya genelinde en etkili olanıdır. Kuraklık afeti, özellikle doğrudan ölümlere sebep olmak yerine uzun vadede dolaylı olarak zarar vermesi nedeniyle, deprem, heyelan ve taşkın gibi anında fark edilemeyen bir felakettir. Kuraklık durumu, yağış miktarının belirgin şekilde düşük olduğu bir durumu ifade etmektedir (Kadıoğlu, 2008; Mengü ve diğ., 2011).

Kuraklık kavramı, kategorize edilmesi gereken kavramsal veya uygulamalı bir anlam taşımaktadır. Kavramsal tanımlar, gerçek zamanlı kuraklık durumunu göstermek amacıyla kullanılmaktadır. Örneğin, yağışsız dönem veya uzun süreli kuru hava dönemi gibi tanımlar, mevcut koşulları belirtmek için kullanılmaktadır. Diğer yandan, uygulamaya yönelik tanımlar; kuraklıkla ilgili çeşitli analizlerin yapılmasını ve bazı nicel verilerin uygulamalı bir şekilde değerlendirilmesini içermektedir. Örneğin, toprak nem oranını hesaplamak için günlük yağış ve buharlaşma değerlerini dikkate almak, bu tür uygulamalı bir tanıma örnek olacaktır. Uygulamalı olarak kuraklık koşullarını incelemek, kuraklığın olası etkilerini tahmin etmede yardımcı olacaktır (Wilhite ve Glantz, 1985).

Kuraklık durumunu değerlendirmek için bir dizi analiz yöntemi kullanılabilir.

4.4.5.1. Standart Yağış İndeksi (SPI)

McKee ve diğerlerinin (1993) geliştirdiği Standart Yağış İndeksi (SPI), kuraklık araştırmalarında yaygın bir biçimde kullanılan bir yöntemdir (Şimşek ve Çakmak 2020). Bu yöntem, günlük yağış değerlerinin ortalamaya göre farkının standart sapmaya bölünmesi yoluyla elde edilen sonuçlara dayanarak değerlendirilir. SPI, günlük toplam yağış değerlerine göre farklı aralıklarda hesaplamalar yaparak kuraklık durumunu belirlemek amacıyla kullanılır (Salehnia ve diğ., 2017).

$$SPI = \frac{X_i - X_i^{ort}}{\sigma}$$

Yukarıdaki denklemde, X_i , i ayındaki yağışı (mm), X_i^{ort} i ayındaki ortalama yağışı (mm) ve σ ise yine i ayındaki yağışın standart sapmasını göstermektedir.

Araştırma bölgesindeki meteoroloji istasyonundan elde edilen günlük yağış verileri kullanılarak, SPI indeksi üç aylık kaydırmalı aralıklar üzerinden hesaplamalar için temel alınmıştır. Bu indeks, kuraklık durumlarını objektif bir şekilde tanımlamak ve izlemek için etkili bir araç sağlamaktadır. Yöntem, yağış rejimindeki anormallikleri değerlendirmek ve kuraklık olaylarını sınıflandırmak için geniş bir uygulama alanına sahiptir (Tablo 9).

Tablo 9. SPI Değer ve Sınıfları.

Değer	Sınıf
2 ve daha fazla	Aşırı nemli
1,5 ile 1,99 arası	Çok nemli
1 ile 1,49 arası	Hafif nemli
-0,99 ile 0,99 arası	Normal
-1,49 ile -1 arası	Hafif Kurak
-1,99 ile -1,5 arası	Çok Kurak
-2 ve daha az	Aşırı Kurak

Tablo 10. Zile İstasyonu 3 Aylık SPI Tablosu (Duman, 2022).

Yıl	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1989			-1,1	-0,85	-0,53	-0,24	-1,02	-0,23	0,32	0,41	1,2	0,94
1990	0,82	-0,93	-1,7	0,29	1,57	1,97	1,55	0,61	0,51	-0,12	-0,3	-0,44
1991	-0,48	0,02	-0,34	1,22	1,77	1,48	0,71	-1,08	-1,35	0,2	0,2	0,4
1992	-0,37	-0,68	-1,71	-1,52	-1,06	0,77	1,35	1,49	-0,49	-0,21	0,4	0,95
1993	1	0,9	-0,11	-1,09	-0,43	0,69	1,02	0,9	-0,74	-1,17	-0,26	-0,09
1994	0,23	0,24	0,42	0,04	-1,28	-2,11	-2,45	-0,75	-0,34	-0,01	0,05	0,42
1995	0,21	-0,31	-0,66	2,09	1,54	1,45	0,25	0,83	0,99	0,32	1,08	0,55
1996	1,47	1,95	2,31	1,3	-2,04	-1,99	-1,27	1,26	2,09	0,94	-0,76	-1,22
1997	-2,89	-2,17	-1,72	-1,04	-0,62	0,48	0,45	0,55	-0,6	1,41	0,91	1
1998	0,15	0,47	0,39	-0,11	0,84	0,16	0,43	-1,17	-1,48	-0,21	0,12	0,49
1999	0,45	0,45	0,47	0,18	-0,56	-0,78	-0,28	0,94	1,61	1,01	-0,01	-0,44
2000	0,05	1,11	1,16	1,16	2,1	1,75	1,49	-0,74	-0,48	-0,28	-1,26	-0,93
2001	-1,59	-0,74	-1,08	-0,91	0,34	-0,12	0,1	-1,62	-0,72	-0,99	-0,29	0,39
2002	1,03	0,8	-0,09	0,01	0,09	0,27	-0,49	0,25	1,18	0,61	0,26	-0,28
2003	-0,27	-0,13	-0,05	0,56	-0,5	-0,56	-1,78	-0,78	0,38	0,65	0,24	0,24
2004	0,19	0,53	0,22	0,02	-0,63	0,05	0,09	0,95	-0,17	-0,97	-0,02	-0,1
2005	0,07	-0,66	0,71	0,98	1,14	-0,51	-0,51	-1,53	0,11	0,56	0,54	0,04
2006	-0,32	-0,38	0,32	0,38	-0,1	-1,07	-1,53	-2,25	0,73	0,93	0,59	-0,34
2007	-1,12	-1,08	-0,63	-0,17	-0,43	1,29	1,39	1,95	0,93	0,81	1,16	0,86
2008	0,82	0,45	0,33	0,08	-0,84	-0,99	-1,12	-1,5	0,39	0,97	0,96	0,81
2009	0,88	1,51	2,01	1,89	1,16	0,44	1,27	0,78	1,1	-0,52	0,72	0,66
2010	1,14	0,72	0,47	0,46	0,08	0,88	0,56	0,72	-1,4	1,89	1,09	1,71
2011	0,71	1,37	1,12	1,11	1,1	0,18	0,59	0,45	0,62	-0,64	-0,9	-0,84
2012	-0,48	0,07	-0,13	-1,11	-0,98	-0,98	0,22	0,1	0,66	-0,2	0,62	0,87
2013	0,72	-0,06	-0,66	-0,48	-1,05	-0,14	-0,46	0,49	-2,73	-3,36	-4,02	-3,98
2014	-2,63	-2,77	-1,05	-1,53	-0,75	-0,82	-0,5	-0,29	0,41	0,18	0,6	0,08
2015	0,23	-0,4	0,46	0,54	0,37	-0,45	-0,34	0,25	0,1	-0,05	-0,77	-0,87
2016	0,13	0,49	1,31	-0,81	-0,65	-1	-0,42	-0,24	-0,69	-1,8	-1,24	-0,76
2017	-0,22	-0,6	-0,9	-1,34	0,03	-0,06	-0,01	-0,33	-0,74	-0,23	0,1	0,42
2018	0,44	-0,03	0,22	-1,36	0,29	-0,04	0,77	0,06	-0,05	0,42	-0,06	0,22

İlk olarak, Zile istasyonuna ait üç ay periyotlu kaydırmalı Standart Yağış İndeksi (SPI) analizi (Tablo 10) incelendiğinde, Ekim 2013'te başlayan ve Şubat 2014'e kadar devam eden altı aylık dönemin, en uzun süren ve en şiddetli kuraklık yaşanan dönem olduğu belirlenmiştir. Bu altı aylık dönem, üç aylık kaydırmalı hesaplamada en uzun süren şiddetli kuraklık dönemidir ve SPI indis değerleri bu süre zarfında en yüksek seviyelere ulaşmıştır. Bu dönemden önce, iki aylık ve bir aylık periyotlarda da aşırı kuraklık durumları yaşanmıştır. Ancak, sadece söz konusu altı aylık dönemde SPI indis değerleri -3'ün altına düşmüş, hatta -4 seviyelerini görmüştür. Zile istasyonunda aşırı nemli bir aylık süreçlerde az da olsa, gözlemlenmiştir.

4.4.5.2. Normalin Yüzdesi İndeksi (PNI)

Normalin Yüzdesi İndeksi (PNI – Percent of Normal Index), klimatolojik çalışmalarda yaygın olarak kullanılan bir yöntem olup, Willeke ve diğerleri tarafından (1994) belirlenmiştir. Bu indeks, belirli bir zaman dilimindeki yağış miktarını ortalama yağış miktarına böler ve elde edilen değeri yüzdelik olarak ifade eder (Duman, 2022). PNI yöntemi ile ulaşılan veriler, Tablo 11'e göre sınıflandırılmaktadır.

$$PNI = \frac{X_i}{X_i^{ort}} \times 100$$

Yukarıdaki denklemde yer alan PNI; normalin yüzdesi indeksi, X_i ; aktüel yağış miktarını ve X_i^{ort} ortalama yağış miktarını göstermektedir.

Tablo 11. PNI değerleri ve karşılıkları.

Değer	Sınıf
>100	Nemli
80-100	Normal
70-80	Hafif Kurak
55-70	Kurak
40-55	Şiddetli Kurak
<40	Aşırı Kurak

Tablo 12. Zile İstasyonu PNI değerleri tablosu (Duman, 2022).

Yıl	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Yıllık
1989	86,5	48,4	44,2	125,2	76,7	59	6	249,9	108	84,1	285,3	72,9	60,6	87,5	106,6	152,4	99,4
1990	62,6	37,3	36,4	217,2	178,2	145,6	141,8	13,7	158,1	54,8	46,7	91,9	46,1	181,9	120,5	65,1	105,3
1991	66,6	132,6	62,6	201,5	190,9	53,3	10,3	0	51,9	141,8	80,9	121,6	83,6	157,2	26,7	112,7	113
1992	18,2	63,3	59,6	62,7	82,4	264,9	132,4	8,7	30,3	106,8	147,3	198,3	45,7	125,3	58,7	154	105
1993	113	94,4	67,5	57,1	120,6	200,8	0	108,2	51,9	3,7	130,7	97,3	91,4	121,8	47,6	82,8	96,1
1994	81,7	141,9	117,6	50,1	38,3	29,4	8,5	217,6	32,1	77,5	118,3	138	111,5	39,7	65,9	113,7	83,1
1995	51	48,6	114,8	296,1	56,5	138,7	243,5	32,3	167,9	95,3	228,2	38,8	73,3	155,8	162,2	122,9	123,4
1996	293,1	291,8	53,4	104,2	3,6	26,5	451,2	608	9,9	122,8	1,1	0	206,4	42,2	287,4	35,3	107,5
1997	28	64,5	48,2	99	88,7	168,3	41,9	7,5	84,6	307,7	56,9	139,8	45,5	113,5	53,4	157,6	101,3
1998	100,1	102,9	126,2	59,7	172	44,9	23,9	0	34,6	106,2	104,2	142,8	110,3	101,6	23,4	118,5	102,4
1999	101,6	93,9	140,6	73,3	46,1	106,1	227,3	300,9	188,9	121,7	17,9	67,2	113,5	71	226,5	64,9	94,2
2000	190,6	196,8	56,9	156,3	264,1	45,9	0	147,9	57,4	55,1	0,5	82	144,1	170,6	59	45,1	118,9
2001	13,1	112,3	69,4	53,1	176,9	8,1	2,6	131,8	40,1	13,8	123,7	178	61,1	91,5	48,4	111,9	84,9
2002	161,9	35,9	65,5	170,9	68,8	82,7	121,3	177,8	224,7	72,3	81,6	64,2	92	105,4	180,6	72,8	98,6
2003	86,1	120,5	80,6	139	41,5	58,8	13,7	49,7	211,2	113,7	50,5	145,3	93,7	77,6	110,7	102,2	91,8
2004	106,2	99,2	104,3	91,4	54,1	170,9	81,2	182,8	17,9	13,8	164,9	53,7	103,6	97,6	75,4	82,4	93,3
2005	65,5	88,5	208,5	78,3	123,7	12,7	64,9	33,6	141,4	138	104,7	36,6	123,5	79,2	92,4	89,9	96
2006	83,5	122,1	119,8	87,6	81,6	6,5	39,3	0	278,5	136,6	64,1	21,7	107,4	63,2	138,3	69,6	83,8
2007	48	103,5	77,3	100	79,4	309,6	6,8	346,9	168,6	89,3	249,9	86,4	74	148,1	155,8	146	126,8
2008	83,9	187,2	70,3	64,3	86,5	33,9	15,4	0	237,1	162,4	125,5	143,3	107,8	65,2	111,8	142,3	102,8
2009	161,4	227	186,4	83,5	137,8	106,1	362,3	0	120,4	39,3	220,7	113,6	188,7	111,8	172,2	131	144,2
2010	154	112,3	73,6	143	84,1	182,6	62,4	0	11,7	442,3	13,8	263,9	113,4	129,6	25,6	224,6	142,9
2011	120,5	99,5	197,6	91,8	117,4	91,3	218,7	97	80,3	27	39,9	73,6	142,4	102,1	129,1	48,2	100,9
2012	91,1	131,8	58,7	37,3	107,9	35,4	32,3	57,2	33,3	94,7	192,1	143	90,8	65,6	133	147	101
2013	66,2	58,2	92	97,8	32,2	172,1	6,8	5	3,7	0	0	0	73,3	91	5	1,3	53,9
2014	34,2	18,1	123,5	35,7	76,4	100,9	10,3	5	240,8	51,1	146,8	69,9	61,9	69,9	113	92,2	77,3
2015	91,6	68,4	169,5	93	76,1	74,6	158,9	164,1	7,4	97	22,2	32,9	113,2	81,1	91,8	47,3	81,8
2016	231,7	70,1	134	29,7	79,5	85,6	75,2	9,9	50,6	1,1	46,2	96,4	151,4	65,1	49,5	51,3	84,8
2017	96,8	2,8	84,5	92,2	112,7	66,5	102,5	34,8	13,6	106,2	109,2	125,2	66,2	93,6	47,3	114,1	87,6
2018	111,3	26	156,4	9,2	145,5	118,1	47,8	9,9	143,2	124	26,3	158,1	103,7	94,3	82,4	101	97,9

Zile istasyonuna ait Percent of Normal Index (PNI) değerlerini içeren tablo incelendiğinde, aylık bazda kuraklık durumunun özellikle yaz aylarında baskın olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca, Eylül ayı da kuraklığın belirgin bir şekilde görüldüğü bir ay olarak öne çıkmaktadır. Mevsimsel analizlerde, yaz mevsiminde yıllara göre en yüksek kurak dönemlerin geçmekte olduğu görülmektedir. Yıllık değerlendirmelerde ise genellikle nemli ve normal koşulların belirli periyotlarla geçişli olarak yaşandığı gözlenmektedir. Ancak, 2013 senesi şiddetli kuraklıkla karakterize edilirken, 2014 ise hafif kuraklık şeklinde değerlendirilmiştir (Tablo 12).

4.5. ÇALIŞMA ALANININ HİDROGRAFİK ÖZELLİKLERİ

4.5.1. Yeraltı Suyu

Havzaya ait hidrografik özelliklerin oluşumunda, yeraltısularının durumunu detaylı bir şekilde incelemek büyük bir öneme sahiptir. Yer altı sularının varlığı ve miktarı, havzanın yapısal öğelerine bağlı olarak şekillenmiştir. Yukarı Yeşilırmak Havzası, litolojik ve jeomorfolojik açılardan çeşitli yapısal birimlere ev sahipliği yapmıştır. Litolojik birimlerin geçirgenlik durumu, morfolojik birimlerin eğim ve yükseklik gibi özellikleri, yer altı sularının beslenmesinde etkili olan faktörler arasında yer almıştır.

Karaalioğlu'nun (1977) DSİ tarafından gerçekleştirilen "Tokat-Kazova ve Turhal Ovası'nın Hidrojeolojik Raporu" isimli çalışması, araştırma sahasının hidrojeolojik yapısına dair önemli bilgiler sunmaktadır. Zile Ovası'nda ve Gözova'da alüvyon birimleri, serbest akifer olarak yer almış ve saha içerisindeki en zengin yeraltısuyu kaynağını oluşturmuştur (Karaalioğlu, 1977). Alüvyon biriminin, yeraltısuyu açısından zenginliği vurgulanmıştır. Ayrıca, bölgede bulunan Üst Jura-Alt Kretase kalkerli birimleri, çatlaklı ve geçirgen yapıları nedeniyle yeraltısuyu bakımından zengin bir potansiyele sahiptir.

4.5.2. Yüzey Suları

4.5.2.1. Akarsular

Yukarı Yeşilırmak Havzası'nda hakim akarsu, Yeşilırmak'tır. Bu havza dahilinde bulunan diğer tüm akarsular, Yeşilırmak Irmağı'nın kollarını oluşturur ve sularını Karadeniz'e ulaştırmak üzere Yeşilırmak aracılığıyla drenaj yaparlar. Havzanın ana akarsuyu olan Yeşilırmak Nehri, öncelikle Tozanlı, Kelkit ve Çekerek Çayları'nın birleşmesiyle meydana gelmiştir. Zaman içinde Tozanlı Çayı, ana hat olarak tanımlanmış ve nehir Yeşilırmak ismini almıştır (Ertek, 2016). Yeşilırmak Nehri, Türkiye'nin en uzun akarsularından biridir ve 519 km'lik uzunluğu ile 36.114 km²'lik bir havzaya drenaj yapmaktadır. Irmak, Sivas şehrinin kuzeydoğusundaki

Kösedağ'dan kaynaklanır ve Samsun'un Çarşamba ilçesinde Karadeniz'e ulaşır. Köseadağ'dan Almus Barajı'na kadar olan bölüm, dar bir vadiden geçerek Nehir'in ana kolu oluşturulur (Şekil 32).



Şekil 32. Yeşilırmak (Gümeleönü-Almus Barajı Arası) (Duman, 2022).

4.5.2.2. Göller ve Barajlar

Yukarı Yeşilırmak Havzası'nın tek doğal gölü Kazova'da bulunan Kaz Gölü'dür (Şekil 33). Bu göl, havzanın coğrafi yapısı ve tektonik oluşumlar nedeniyle meydana gelmiştir. Kazova'nın güneybatı kesimi, zamanla daha fazla çökme yaşamış ve bu durum, bölgede su birikimine sebep olmuştur. Yeşilırmak Nehri, hem Katmerkaya Boğazı'nın oluşmasına neden olmuş hem de Kazova'da göl oluşumunu tetiklemiştir. Katmerkaya Boğazı'nın açılmasıyla göl, oluşan su alanından boşalmış, ancak nehir yatağının daha alçak olan güneybatı kesimi sulak bir habitat olarak kalmıştır. Kaz Gölü, zaman içinde suların çekilmesiyle şekillenmiştir, günümüzde genellikle 1-3 metre derinliğindedir ve bataklık alanlarla kaplıdır. Bu bataklık alanı, geçmişte daha geniş olmasına rağmen, doğal kuruma süreci ve tarım amaçlı bataklık kurutma yöntemleri nedeniyle önemli ölçüde küçülmüştür. Kaz Gölü günümüzde 201 hektarlık sulak alan ve 74 hektarlık kuru alanla, aynı zamanda Yaban Hayatı Geliştirme Sahası statüsündedir (Hanılçe,

2018). Bu göl, bölgenin ekosistemine önemli katkılar sağlamaktadır, özellikle de çeşitli kuş türlerine ev sahipliği yapmasıyla bilinmektedir.



Şekil 33. Kaz Gölü (Bakış Yönü: Kuzey) (Duman, 2022).

Almus Barajı, 1966 yılında tamamlanan ve çalışma sahasında yer alan en kritik su kütlesidir. Barajın toprak doldurmalı setinin yüksekliği 78 metre kret uzunluğu ise 380 metredir (Şekil 34). Barajın inşa edildiği konumda akarsu talveg kotu 730 metredir. Baraj Gölü'nün deniz seviyesinden yüksekliği 785 metre olup, göl rezervuarı 32 km²'lik bir alanı kaplamaktadır. Almus Barajı, sulama ve enerji üretimi (HES) amacıyla inşa edilmiş önemli bir su yapısıdır. Özellikle Yeşilırmak Nehri'nin yüksek debisinin olduğu ilkbahar aylarında taşkın riskini azaltma göreviyle kritik bir rol oynamaktadır. Baraj, yaklaşık 22.000 hektarlık tarım alanının sulanmasına katkı sağlamış ve özellikle Gözova tarım arazilerinin verimli bir şekilde kullanılmasını desteklemiştir. Bunun yanı sıra, barajın 27 MW'lık bir elektrik üretim kapasitesi bulunmaktadır.



Şekil 34. Almus Barajı (Bakış Yönü: Kuzeydoğu).

Almus Barajı ile birlikte bölgedeki diğer önemli su depolama yapılarından biri olan Ataköy Barajı, 0,50 km²'lik bir alana ve 26 metre yüksekliğe sahiptir (Şekil 35). Barajın mansabında bulunan Almus Barajı ile birbirine bağlantılıdır. Enerji üretimi amacıyla 1977 yılında inşa edilen Ataköy Barajı, aynı anda iki elektrik santralinin faaliyet göstermesine olanak tanıyan önemli bir su yapısıdır. Barajın konumunda bulunan 5 MW'lık Hidroelektrik Santral (HES) ve Niksar ilçesindeki Köklüce HES, barajdan su temin ederek elektrik üretimine katkı sağlamaktadır. Köklüce HES, toplamda 90 MW'lık elektrik üretebilme kapasitesine sahiptir (Aşçıoğlu ve Uzuner, 1973; Ertek, 2016). Bu su yapıları, araştırma bölgesindeki su kaynaklarının yönetimi ve enerji üretimi açısından kilit öneme sahiptir.

Almus ve Ataköy Barajları ile birlikte araştırma bölgesinde birçok sulama göleti bulunmaktadır.



Şekil 35. Ataköy Barajı (Bakış Yönü: Güneybatı) (Duman, 2022).

4.6. PLAXIS 2D MODELLEME VE ANALİZLERİ

İlk olarak, 1987 yılında Hollanda'nın Delfth Teknik Üniversitesi tarafından geliştirilen bir bilgisayar programı, yumuşak zeminler üzerindeki nehir dolgularının sonlu elemanlar yöntemiyle kolayca analiz edilmesini amaçlamıştır. Bu yazılım, geoteknik mühendisliğinde deformasyon ve stabilite problemlerinin sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilebilmesi için özel olarak tasarlanmıştır. Program daha sonra, geoteknik mühendisliğinin diğer uygulama alanlarını da içerecek şekilde genişletilmiştir. Karmaşık yapılar içeren geoteknik uygulamaların analizi için önemli özelliklerle donatılmıştır. Ayrıca, yazılım lineer elastik modelin ötesinde, zeminlerin lineer olmayan gerilme-deformasyon davranışını dikkate alan ve farklı zemin tipleri için özel olarak geliştirilmiş zemin modellerini içermektedir (Filiz, 2019).

Yeraltı barajının sonlu elemanlar analiz programı ile modellenmesi için Plaxis 2D yazılımı kullanılmış olup analiz adımları aşağıda yazılmıştır.

- Arazinin mevcut başlangıç durumu
- Jetgrout kolonları ile geçirimsizlik perdelerinin imal edilmesi
- Jetgrout kolonları arasındaki zemin ortamının çimento enjeksiyonu ile iyileştirilmesi
- Baraj önündeki yeraltı su seviyesinin düşürülmesi

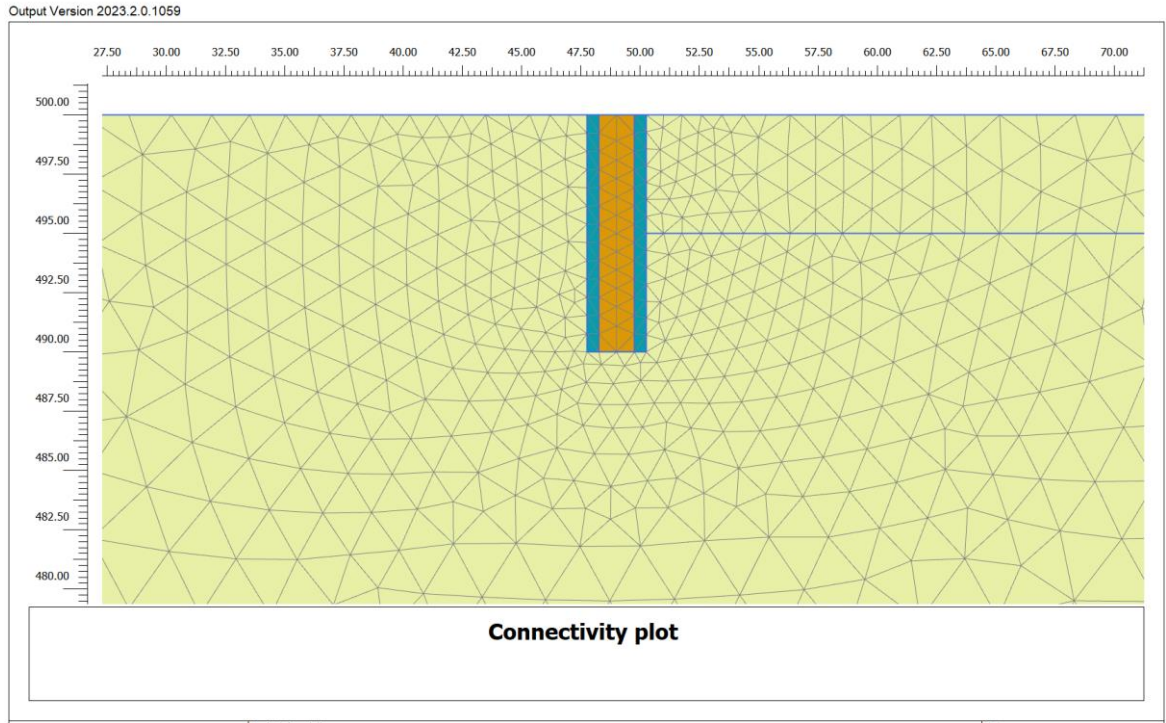
Tasarımda yeraltı barajının gerisinde 5 metre yüksekliğinde su tutulması amaçlanmıştır. Bu durumda barajın ön kısmında yeraltı su seviyesi 5 metre düşürülecektir. Yeraltı suyunun 5 metre düşürülmesi ve suyun akımına göre barajın altından sızacak suyun 5 metreden daha yükseğe çıkmaması için geçirimsizlik perdesini oluşturacak jetgrout kolonlarının yüksekliği belirlenmiştir. Sahada jetgrout kolonlarının 50 cm çapında imal edileceği öngörülmüştür.

Sonlu elemanlar analizlerinde modellenecek alüvyon birim, jetgrout kolonları ve kolonların arasında iyileştirilmiş zemin özellikleri Tablo 13'te verilmiştir.

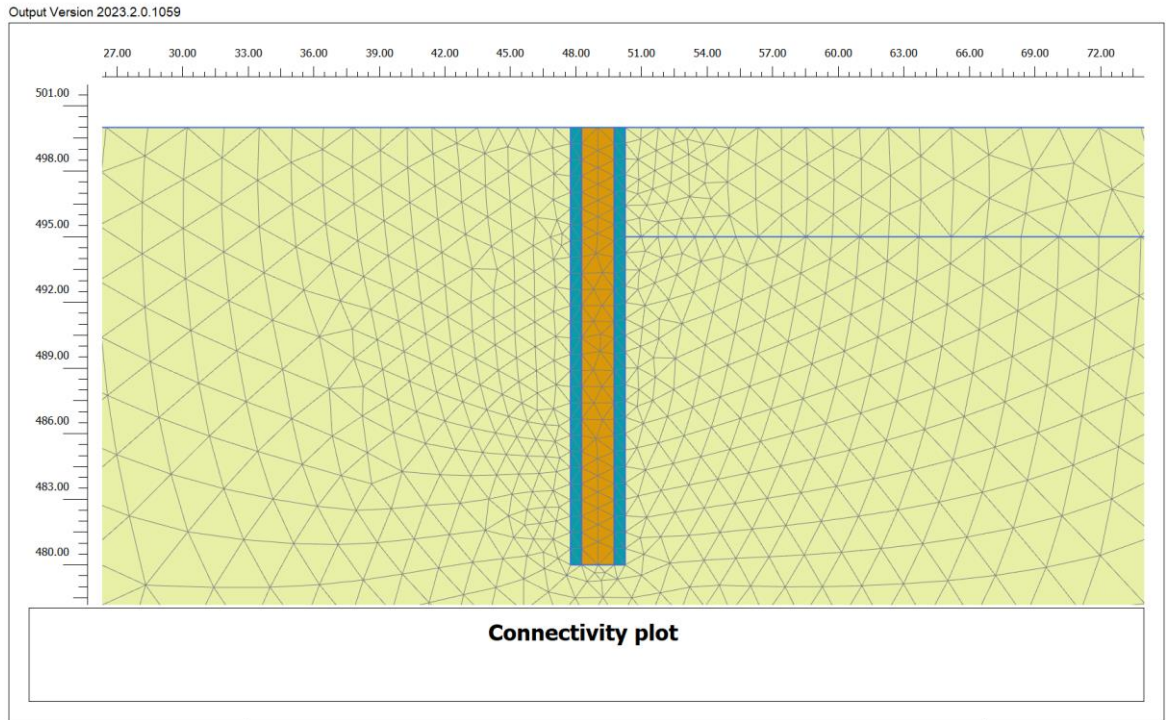
Tablo 13. Sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan zemin parametreleri (AFAD Türkiye Deprem Parametreleri)

ZEMİN PARAMETRELERİ			
Parametre	Alüvyon	Enjeksiyonla İyileştirilmiş Zemin	Jetgrout Kolonları (D=50cm)
Bünye Modeli	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Lineer Elastik
Malzeme Tipi	Drenajlı	Geçirimsiz	Geçirimsiz
Birim Hacim Ağırlık, γ (kN/m ³)	17.0	18.0	24.0
Doygun B.H.A, γ (kN/m ³)	18.0	18.0	24.9
Elastisite Modülü, E (kPa)	15.0E3	80.0E3	28.0E6
Permeabilite, k (m/gün)	0.60	-	-
Poisson Oranı, ν'	0.30	0.20	0.2
Efektif kohezyon, c' (kPa)	5	15	-
Kayma mukavemeti açısı, ϕ' (°)	20	30	-
Genişleme açısı, ψ (°)	-	-	-

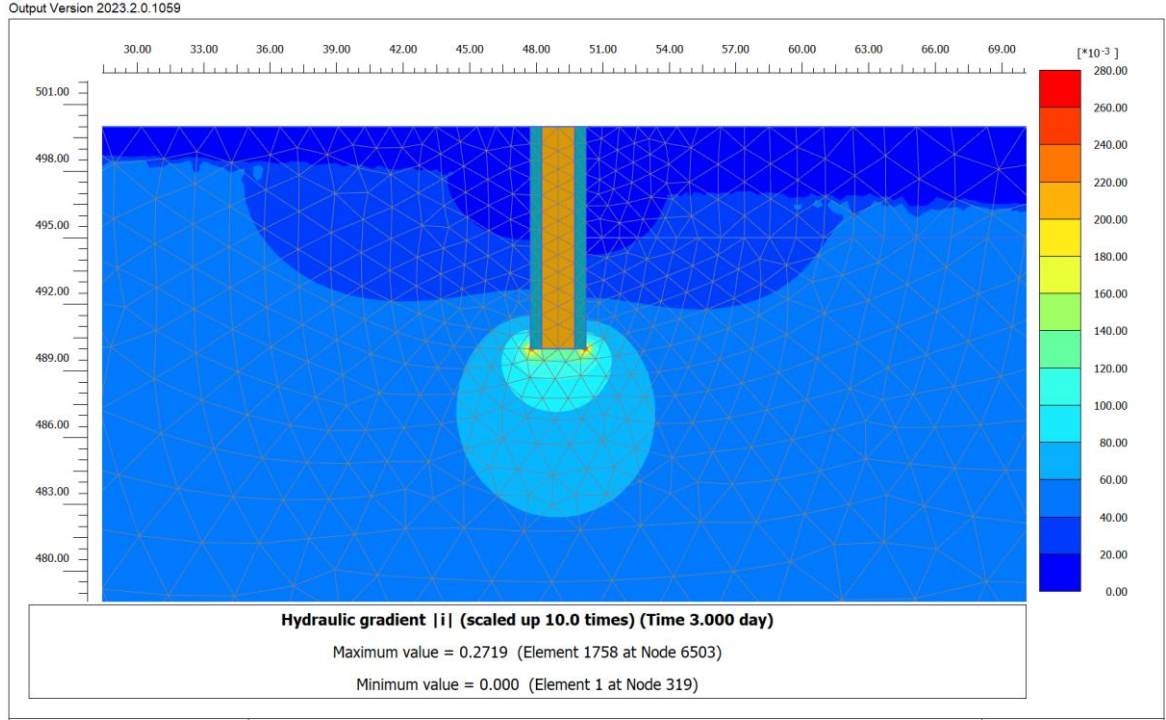
Oluşturulan sonlu eleman analiz modelinde ilk deneme olarak 10 metre boyunda jetgrout kolonları modellenmiş ve su seviyesinin 5 metre düşürülmesi öngörüldüğünde 10 metrelik geçirimsiz perdelerin yeterli olup olmayacağı kontrol edilmiştir. 10 metrelik geçirimsiz perde boyunun yeterli olmadığı görülmüş ve jetgrout kolonları 20 metre olarak tekrar çözümlenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır (Şekil 36-37-38-39-40-41).



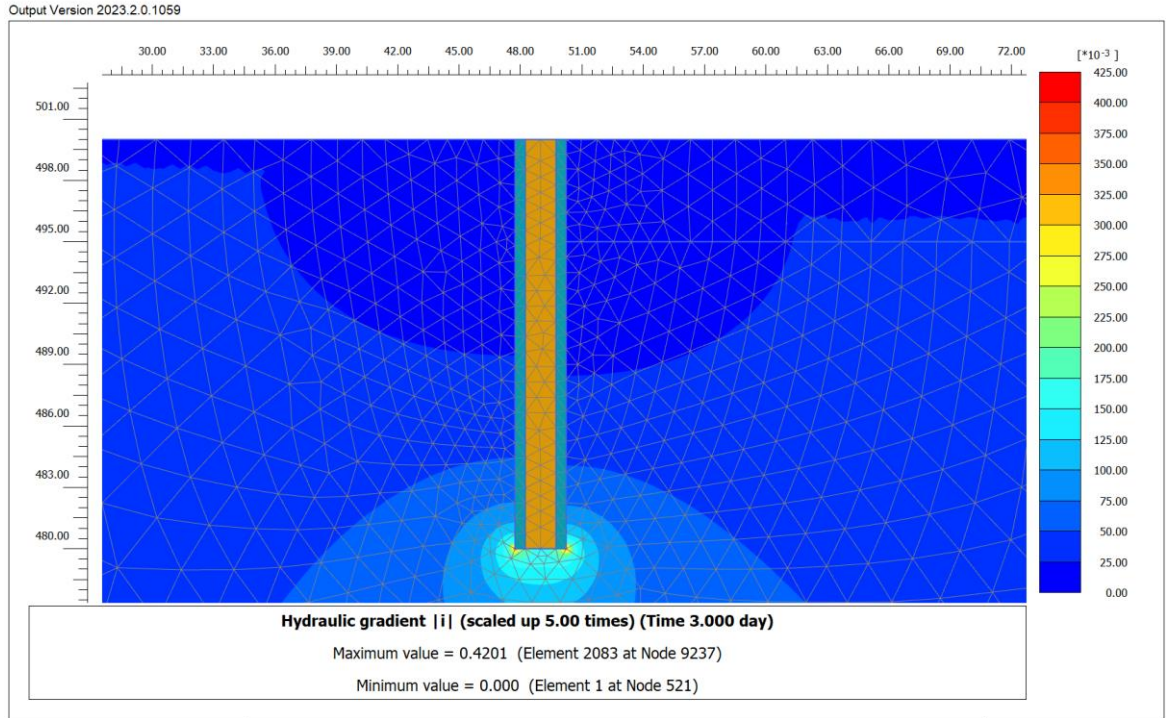
Şekil 36. 10 metrelik jetgrout kolonları ile oluşturulacak geçirimsiz perde için analiz modeli.



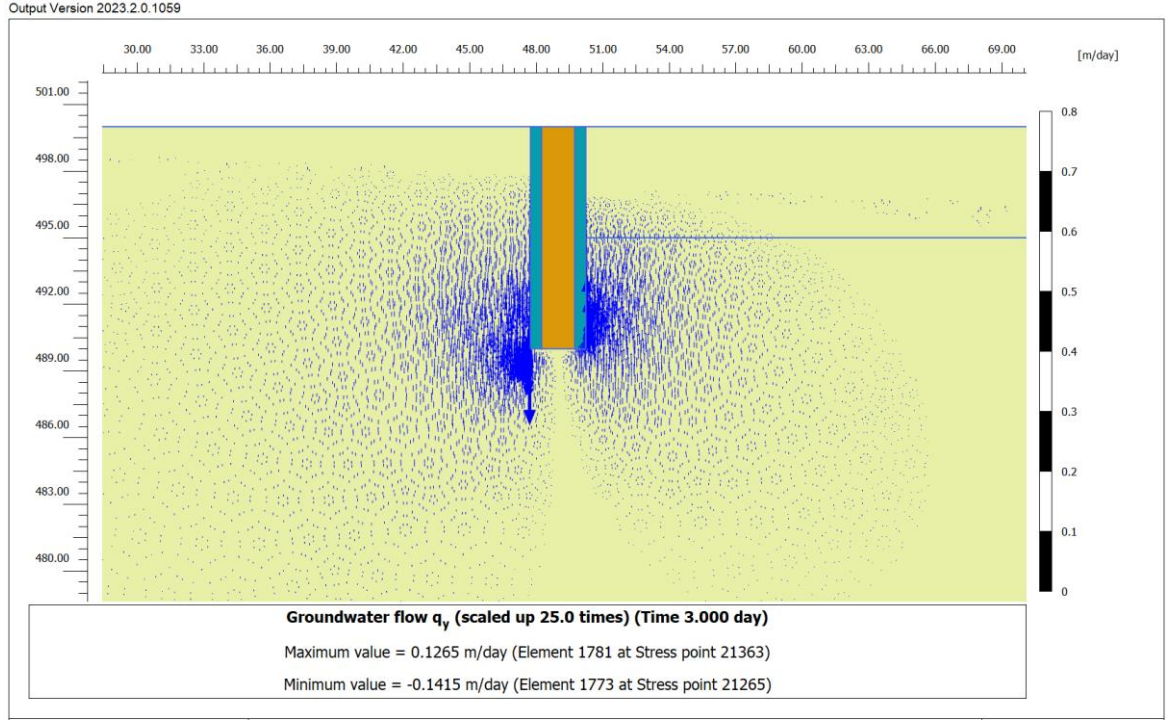
Şekil 37. 20 metrelik jetgrout kolonları ile oluşturulacak geçirimsiz perde için analiz modeli.



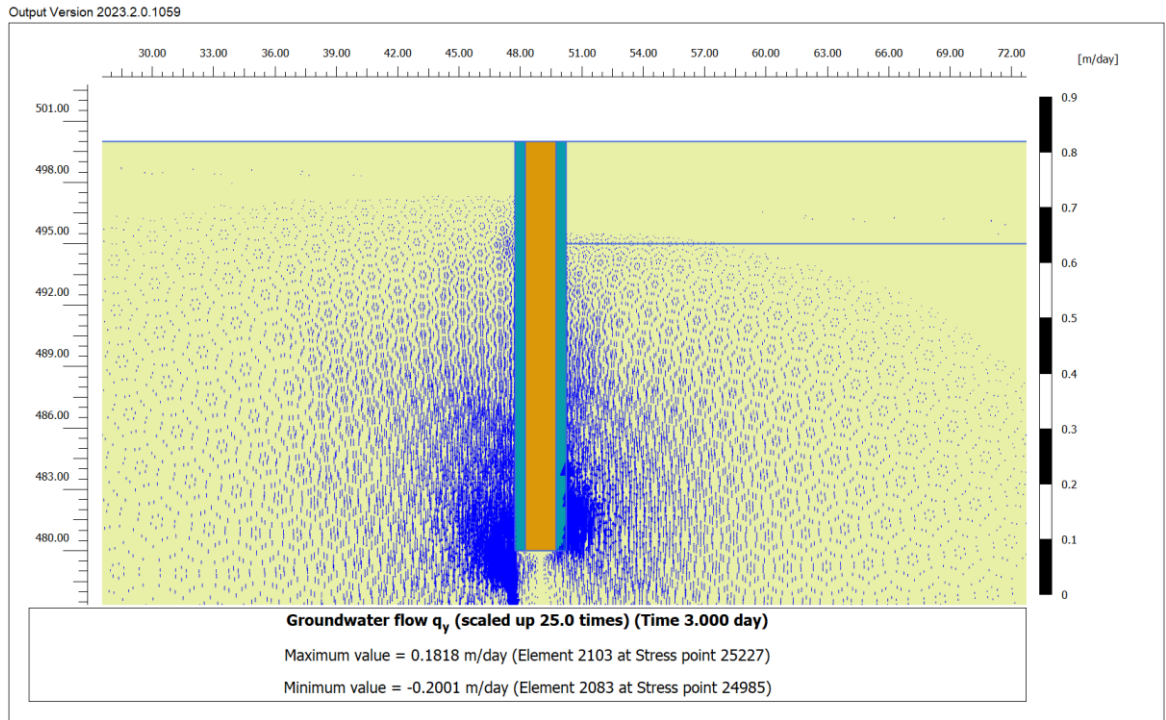
Şekil 38. Önerilen yeraltı barajları önündeki su seviyesinin 5 metre düşürülmesi için 10 metrelik geçirimsizlik perdesi inşa edilmesi durumunda hidrolik eğim değişimi.



Şekil 39. Önerilen yeraltı barajları önündeki su seviyesinin 5 metre düşürülmesi için 20 metrelik geçirimsizlik perdesi inşa edilmesi durumunda hidrolik eğim değişimi.



Şekil 40. Önerilen yeraltı barajları önündeki su seviyesinin 5 metre düşürülmesi için 10 metrelik geçirimsizlik perdesi inşa edilmesi durumunda düşey yönde su akışı.



Şekil 41. Önerilen yeraltı barajları önündeki su seviyesinin 5 metre düşürülmesi için 20 metrelik geçirimsizlik perdesi inşa edilmesi durumunda düşey yönde su akışı.

Yukarıdaki şekillerde verilen sonuçlar incelendiğinde, geçirimsizlik perdesinin 10 metre boyunda yapılarak barajın önündeki su seviyesinin yüzeyden itibaren 5 metre düşürülmek istenmesi durumunda, geçirgen yapıya sahip alüvyon zemin içinde meydana gelecek düşey ve yukarı yöndeki su akışı nedeniyle su seviyesi planlanandan yaklaşık 2 metre yukarı kadar yükselmektedir.

Planlanan yeraltı barajı 5 km² bir alanda kurulacak olursa, %20'lik porozite oranı ile hesaplandığında;

Alüvyon zeminin hacmi (V):

$$V = \text{Alan} \times \text{Geçirimsizlik Perdesi Boyu}$$

$$V = 5,000,000m^2 \times 10m = 50,000,000m^3$$

Doluluk oranı (ϕ) olarak poroziteyi kullanarak:

$$\phi = 1 - \text{Porozite} = 1 - 0.20 = 0.80$$

Tahmini Depolama Kapasitesi:

$$\text{Tahmini Depolama Kapasitesi} = V \times \phi$$

$$\text{Tahmini Depolama Kapasitesi} = 50,000,000m^3 \times 0.80 = 40,000,000m^3$$

Dolayısıyla, 10 metrelik bir geçirimsizlik perdesi için tahmini su depolama miktarı yaklaşık 40,000,000 metreküp olacaktır.

Akım çizgilerinin uzatılması için geçirimsizlik perdesinin 20 metre boyunda yapılması durumunda ise, barajın ön kısmında su seviyesi istenilen seviyenin 40-50 cm üstüne çıkmaktadır. Bu şekilde hesaplandığında;

Alüvyon zeminin hacmi (V):

$$V = \text{Alan} \times \text{GeçirimsizlikPerdesiBoy}$$

$$V = 5,000,000m^2 \times 20m = 100,000,000m^3$$

Doluluk oranı (φ) olarak poroziteyi kullanarak:

$$\varphi = 1 - \text{Porozite} = 1 - 0.20 = 0.80$$

Tahmini Depolama Kapasitesi:

$$\text{Tahmini Depolama Kapasitesi} = V \times \varphi$$

$$\text{Tahmini Depolama Kapasitesi} = 100,000,000m^3 \times 0.80 = 80,000,000m^3$$

Dolayısıyla, 20 metrelik bir geçirimsizlik perdesi için tahmini su depolama miktarı yaklaşık 80,000,000 metreküp olacaktır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada araştırma alanı olarak belirlenmiş Yukarı Yeşilırmak Havzası'nın Zile bölümünün jeolojik, hidrolojik ve hidroklimatolojik özellikleri dikkate alınarak yeraltı barajı inşasına uygunluklarının ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu sebeple ilk olarak gerek araştırma sahasının jeolojik özellikleri gerekse de araştırma konusunu içeren literatür taranmış ve faydalanılmıştır. Gerekli görülen konularda kullanılmak üzere ilgili veriler ilgili kurumlardan temin edilmiştir. Daha sonra çalışmanın konusuna yönelik gereken analizler ve tetkikler yapılmış ve değerlendirilmiştir.

Araştırma sahasının genel özelliklerini belirlemek amacıyla jeoloji ve jeomorfoloji özelliklerinin yanı sıra, beşeri coğrafya özellikleri, çeşitli kaynaklardan, önceki çalışma verilerinden ve havzaya ait arazi çalışmalarından yararlanılarak detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Bu coğrafi özelliklerin hidrojeolojik ve hidroklimatolojik durum üzerindeki etkileri elde edilen bilgilerle değerlendirilmiştir. Yukarı Yeşilırmak Havzası, Kuzay Anadolu Fayı'nın hemen güneyinde konumlanmaktadır ve levha tektoniğine bağlı olarak kırıklı ve arızalı bir yapıya sahiptir. Havzaya ait litolojik yapıda en mühim birim Tokat Masifi'dir ve buna ek olarak kuvaterner yaşlı birimler bulunmaktadır. Havzanın en düşük kotu 396 metre, en yüksek kotu 2705 metredir. Havzanın ortalama yüksekliği 1195 metre ile Türkiye ortalamasının üzerindedir. Havzada genellikle zonal topraklar bulunmaktadır ve orman örtüsü geniş bir alanı kaplamaktadır.

Havzanın nüfusu yıllar içinde önemli değişiklik göstermemiştir. ADNKS açıkladığı verilere göre havza nüfusu 385 bin civarındadır. Ekonomik sebepler sonucunda artan göçler sebebiyle havza nüfusunun artış hızı düşüktür. Nüfusun büyük bir bölümü havzanın batı kesimlerinde, alçak kesimlerinde ve ova çevresinde yoğunlaşmıştır. Kır nüfusuna göre şehir nüfusu fazladır ve kır/şehir oranı % 35'ten düşüktür. Ziraat, havzadaki ekonomik faaliyetlerin öncüsüdür; batıdaki ovalarda yoğun tarım faaliyetleri gözlemlenirken, orta-yüksek yüksekliğe sahip bölgelerde de tarım ve hayvancılık yapılmaktadır. Sanayi yeteri kadar gelişmemiş olduğundan, havzada çoğunlukla tarıma yönelik sanayi tesisleri bulunmaktadır. Orman alanları havzanın en önemli arazi örtüsünü oluşturur ve alanlar yıllar bazında bir artış görülmüştür. Ayrıca, tarım alanlarının kapladığı alan genişlemekte ve sulanabilir tarım arazilerinin sayısı da yıllar içinde artış göstermektedir.

Havzaya ait su bilançosu, akım değerleri ve akış değerlerinin hesaplanması için farklı yöntemlere başvurulmuştur. Yapılan analizler sonucunda, Thortwaite yöntemi gibi doğruluk düzeyi yüksek metodlar kullanılarak havzanın akış ve akım değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar haritalandırılarak görsel bir şekilde sunulmuştur.

Havzanın su kaynağı olan yağış, hidrografik özellikler üzerinde doğrudan etkide bulunmaktadır. Yapılan analizler, yağış değerlerinde gelecekte olası bir azalma olasılığını ortaya koymuştur. Aynı şekilde, iklim elemanlarından sıcaklık da havzanın su coğrafyasına etki etmektedir. Analizlerde kullanılan buharlaşma değerleri, doğrudan sıcaklık değişimine bağlı olarak şekillenmektedir. Bunların dışında, havzanın yapısal unsurları ve beşeri gelişmeler de hidroklimatolojik durumu etkileyerek şekillendirmektedir.

Meteorik sular, Yukarı Yeşilirmak Havzası'nın su potansiyelini oluşturur ve uzun yıllık meteorolojik gözlemlere göre havzanın meteorik su kaynağı 4.5 milyar metreküp olarak belirlenmiştir. Ancak, bu miktarın büyük bir kısmı buharlaşmaktadır. Meteorolojik veriler, havzanın yağış değerlerinin azalmakta olduğunu göstermektedir. Havzanın tek su kaynağı yağış olduğu için, bu durumda mevcut su potansiyeli düşecektir. Ayrıca, yapılan araştırmalar havzanın sıcaklık değerlerinin arttığını göstermektedir ki bu durumda da buharlaşma nedeniyle daha fazla su kaybı olmaktadır.

Kirlilik, mevcut su potansiyelini tehdit eden önemli bir faktördür. Akiferlerin ve su kaynaklarının kirlenmesi, bu kaynakların kullanımını zorlaştırabilir ve su sorunlarına yol açabilir. Havza nüfusunun büyük bir kısmını oluşturan Tokat, Turhal, Zile ve Pazar belediyelerinin ortak katı atık tesisi, atıkların çevreye ve su kaynaklarına zarar vermesini önleme konusunda kritik bir rol oynamaktadır. Modern teknikler, atıklardan çıkan kirleticilerin yeraltı suyu veya su kaynaklarına karışmasını engellemektedir.

Ancak, mevcut su kaynaklarının kirlenmesine neden olan diğer faktörleri de ele almak önemlidir. Özellikle sıvı atıkların dönüştürülmesi veya arıtılması için tesis eksikliği, havzanın su kaynaklarını olumsuz etkileyebilir. Ataköy Barajı ve Köklüce HES yapıları, Yukarı Yeşilirmak Havzası'nın su potansiyeline önemli bir etki yapmaktadır. Bu tesislerin su transferi, havzanın ana su kaynağı olan yukarı çığırını kayıplara neden olacak şekilde etkilemektedir.

Bu durumda, mevcut su kaynaklarının azalması ve havzanın gelecekte daha fazla suya ihtiyaç duyması durumunda, tesislerin su kullanımının düzenlenmesi veya hatta işletmeden

kaldırılması önemli olacaktır. Su kaynaklarını korumak ve sürdürülebilir bir su yönetimi sağlamak için tesislerin su kullanımının dikkatlice yönetilmesi gerekecektir.

Gelecekte düşünüldüğünde, havzanın su potansiyelinin önemli ölçüde azalması beklenmektedir. Bu durum, daha sonraki dönemlerde su kaynaklarının yetersiz olabileceğine işaret etmektedir. Tarım faaliyetlerinin bölgede büyük bir öneme sahip olduğu göz önüne alındığında, olası bir su kıtlığı durumunda tarımsal verimliliğin düşebileceği ve bölgenin sosyoekonomik durumunun olumsuz etkilenebileceği açıktır.

Bu durumu göz önünde bulundurarak, havzanın su kaynaklarını korumak için çeşitli önlemler alınması gerekmektedir. Öncelikle, bölgede sıkça kullanılan vahşi sulama alışkanlığının önüne geçilmeli ve tarımsal sulama için kullanılan su miktarı daha verimli hale getirilmelidir. Modern tekniklerin yaygınlaştırılması bu bağlamda önemlidir. Tarımsal sulama ve diğer amaçlar için, bölgede bulunan depolama yapılarının sayısının artırılması önemlidir. Bu, mevcut akiferlerin yanı sıra normal baraj ve bentlerin de değerlendirilmesini gerektirir. Normal barajlar, havzanın su potansiyelini koruma konusunda katkıda bulursa da su yüzeyinden buharlaşma nedeniyle hala su kaybına neden olur. Bu nedenle, inşa edilen yeraltı barajlarının havza dahilinde olan alüvyon akiferlerini koruması değerlendirilmelidir. Suyun yer altında tutularak toplanmasına olanak sağlayan yeraltı barajları bu sayede buharlaşma kaybını azaltır. Ayrıca, arazi kullanımını etkilemediği için daha ekonomik bir çözümdür.

Yeraltı ve yerüstü barajlarının karşılaştırıldığı zaman, her birinin belirli avantajlara sahip olduğu görülmektedir. Ancak, kuraklıkla başa çıkmak amacıyla son yıllarda tercih edilen yeraltı barajları, düşük maliyeti, inşa sürecinde zaman tasarrufu, buharlaşmanın ve su kaybının minimum seviyede olması, ayrıca doğal afetlerden az etkilenmesi gibi unsurlarla öne çıkmaktadır.

Çalışma kapsamında seçilmiş potansiyel yeraltı barajlarının inşa alanları Harita 8’te görülmektedir.

Harita 8’de görüldüğü üzere, bölgenin yukarısında ve aşağısında olmak üzere iki lokasyon belirlenmiş ve bu lokasyonlarda yeraltı barajı yapmanın uygun olup olmadığı incelenmiştir.

Arazinin topoğrafyası incelendiğinde bölgenin eğimli olduğu görülmektedir. Yukarı bölge için verilen kesitte vadi tabanı yaklaşık +500 metrede, aşağı bölge için verilen kesitte vadi tabanı yaklaşık +740 metrede bulunmaktadır. Zemin profili alüvyon birimlerden oluşmaktadır ve alüvyon tabaka kalınlığı yukarı bölgede 250-300 metre, aşağı bölgede 160-450 metre arasında değişiklik göstermektedir.

Yeraltı barajlarının inşa edilmesi için seçilen lokasyonlarda akarsuların bulunması ve yeraltı suyunun yüzeyde olduğunun kabul edilmesi nedeniyle kazı yapılması, geçirimsiz dolgu ve/veya kil gövde inşası gibi yöntemlerin uygulanması mümkün görünmemektedir. Bu nedenle, bu tez çalışması kapsamında yeraltı barajlarının inşa yöntemi olarak birbirine teğet jetgrout kolonları ile çift sıra geçirimsiz perde imalatı yapılması ve jetgrout kolonları arasında kalan zemin bölgesinin çimento enjeksiyonu ile iyileştirilerek geçirimsiz ortam oluşturulması uygun görülmüştür.

Yeraltı barajlarının inşa edileceği bölgelerde su geçirgenliği yüksek olan alüvyon birimlerin kalınlığı çok fazla olduğundan geçirimsiz kaya tabakasına kadar geçirimsizlik perdesinin imal edilmesi söz konusu olamayacaktır. Buna bağlı olarak, baraj önündeki yeraltı su seviyesinin belirlenen bir kota kadar düşürülmesi ve barajın gerisinde su tutulması amaçlanmıştır.

Plaxis analizlerinden edinilen veriler, söz konusu yeraltı suyu barajının jetgrout kolonları ve arasında geçirimsiz çimento enjeksiyonu ile iyileştirilmiş zon oluşturulmak suretiyle inşa edilmesi durumunda öngörülen yeraltı suyunu tutacak şekilde yapılabileceğini göstermektedir.

Yeraltı barajının önünde yeraltı su seviyesinin düşürülmesi planlanan derinliğe bağlı olarak imal edilecek geçirimsizlik perdelerinin derinliği değişiklik gösterecektir.

Elde edilen sonuçlar, yeraltı barajlarının potansiyel yer seçimi sürecinde önemli bir adım oluşturmuştur. Ancak, yapılan analizlerin ve hesaplamaların ötesinde, bu çalışmanın bazı önemli önerilere de yol açtığı görülmektedir.

Yeraltı barajlarının potansiyel yer seçimi sürecinde, toprak ve hidrojeolojik analizlerin daha derinlemesine yapılması gerekmektedir. Bu analizler, yeraltı suyu seviyesinin düşürülmesi planlanan derinliğe bağlı olarak imal edilecek geçirimsizlik perdelerinin uygun derinliğinin

belirlenmesine yardımcı olacaktır. Ayrıca, yapılan iyileştirme çalışmalarının etkinliği ve uzun vadeli sürdürülebilirliği de daha fazla araştırılmalı ve değerlendirilmelidir.

Yapılan iyileştirme çalışmalarının etkinliğinin yanı sıra, çevresel ve sosyal etkiler de değerlendirilmelidir. Potansiyel yer seçimi sürecinde çevresel etkiler ve toplumun yerel ihtiyaçları da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu, proje sürdürülebilirliği açısından önemlidir.

Yeraltı barajları, suyun depolanması ve yönetilmesi açısından kritik bir role sahiptir. Günümüzde artan su talebi, iklim değişikliği ve su kaynaklarının azalması gibi faktörler, su kaynaklarının sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir.

Ayrıca, yeraltı barajlarının potansiyel yer seçimi sürecinde çevresel etkilerin ve yerel toplumun ihtiyaçlarının dikkate alınması gerekmektedir. Yeraltı barajlarının inşası ve işletilmesi sırasında doğal yaşam alanlarının korunması, su kalitesinin ve ekosistemlerin sürdürülebilirliği, yerel toplumun su kaynaklarına erişiminin sağlanması gibi konular önemlidir.

Yeraltı barajlarının uzun vadeli sürdürülebilirliği ve olası risklerin yönetimi de göz önünde bulundurulmalıdır. Yapılan yer seçimi ve inşaat çalışmaları sırasında olası çevresel ve jeolojik risklerin belirlenmesi, uygun önlemlerin alınması ve risklerin etkilerinin azaltılması önemlidir. Ayrıca, yeraltı barajlarının işletilmesi sırasında suyun kalitesinin ve miktarının sürekli olarak izlenmesi ve yönetilmesi gerekmektedir.

Son olarak, yeraltı barajlarının potansiyel yer seçimi sürecinde, gelecekteki iklim değişikliklerinin dikkate alınması önemlidir. İklim değişikliği, su kaynaklarının miktarı ve dağılımı üzerinde önemli etkilere sahip olabilir. Bu nedenle, yeraltı barajlarının potansiyel yer seçimi sürecinde iklim değişikliği senaryolarının değerlendirilmesi ve projelerin buna göre tasarlanması gerekmektedir. Bu, su kaynaklarının gelecekteki değişen koşullara uyum sağlamasını ve sürdürülebilir bir su yönetimi stratejisinin oluşturulmasını sağlayacaktır.

Bu önerilerin dikkate alınması, yeraltı barajlarının inşası ve işletilmesi sürecinde daha etkili kararlar alınmasına ve daha sürdürülebilir projelerin geliştirilmesine yardımcı olabilir. Bu noktalara dikkat edilerek, yeraltı barajlarının çevresel açıdan daha uyumlu ve sürdürülebilir hale getirilmesi mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

- Aktimur, H., Tekirli, M. ve Yurdakul, M., 1990, *Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Tokat D-22 Paftası*. Ankara: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü.
- Aktimur, H., Yurdakul, M., Ürgün, B., Ateş, Ş. ve Teoman, Ş., 1990, *Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Tokat D-23 Paftası*. Ankara: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü.
- Akyazı, M. ve Tunç, M., 1992, Zile (Tokat) Yöresinin Stratigrafisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, s 35-46.
- Apaydın, A., 2014, *Yer Seçiminden İşletmeye Yeraltı Barajları Kitabı*. DSİ Genel Müdürlüğü Destek Hizmetleri Daire Başkanlığı Basım ve Foto-Film İşl. Müd.
- Apaydın, A., Demirci Aktaş, S. ve Kaya, S., 2008, Orta Anadolu'da Kuraklıkla Mücadelede Yeraltı barajları. *Kuraklık ve Su Yönetimi Toplantısı DSG Genel Müdürlüğü*. Ankara.
- Apaydın, A., Demirci Aktaş, S. ve Kaya, S., 2009, Yeraltında su depolama : Yeraltı barajları. *Mavi Gezegen, Popüler Yerbilim Dergisi, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası yayını*(14), 44-53.
- Aşçıoğlu, E. ve Uzuner, N., 1973, *Yukarı Yeşilırmak Projesi Mühendislik Jeolojisi Planlama Raporu*. Samsun: Devlet Su işleri Genel Müdürlüğü.
- Atalay, İ., 2007, *Türkiye Jeomorfolojisi*. İzmir: Basım Matbaacılık.
- Atalay, İ., 2011, *Türkiye Coğrafyası ve Jeopolitiği*. İzmir: Meta Basım ve Matbaacılık.
- Atalay, İ., 2011, *Türkiye İklim Atlası*. İstanbul: İnkılap Kitabevi.
- Beschorner, N., 1992, Water and Instability in the Middle East. *Adelphi Paper*(273), 62-64.
- Blumental, M., 1950, *Orta ve Aşağı Yeşilırmak Bölgelerinin Jeolojisi (Tokat, Amasya, Havza, Erbaa, Niksar)*. Ankara: MTA.
- Butts, K. H., 1997, The Strategic Importance of Water. *The Us Army War College Quarterly: Parameters*, 1.
- Corson, W., 1990, *The Global Ecology Handbook*. Boston.
- Croce, P., Flora, A. and Madoni, G., 2014, *Jet Grouting Technology, Design and Control*. CRC Press: Taylor & Francis Group.
- Deniz, Z., 2018, Genel Klimatoloji. B. Gönençgil içinde, *Genel Fiziki Coğrafya* (s. 203-257). Ankara: Nobel Akademik.
- Devlet Su İşleri Vakfı., 2011, *Su Dünyası*. Ankara: Devlet Su İşleri Vakfı.

- DSİ Genel Müdürlüğü, 2022, TRT Haber: <https://www.trthaber.com/haber/turkiye/dsi-95-yer-alti-barajinin-yapimini-tamamladi-722838.html> (Erişim Tarihi: 10.11.2023)
- Duman, E., 2022, *Yukarı Yeşilirmak Havzası'nın Hidroklimatolojisi*. İstanbul: Doktora, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı.
- Erinç, S., 1984, *Klimatoloji ve Metodları*. İstanbul: Gür-Ay Matbaası.
- Erol, O., 2014, *Genel Klimatoloji*. İstanbul: Çantay Kitabevi.
- Ertek, A., 2016, Türkiye'nin Hidrografik Özellikleri. M. H. Kanat içinde, *Türkiye Coğrafyası ve Jeopolitiği* (s. 71-114). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Filiz, A., 2019, *Alüviyal Ortamda Bodrumlu Bir Yapının Sayısal Analizinde Geoteknik Malzeme Modeline Bağlı Hassaslık Ve Parametre Değişimi Analizi*. Sakarya: Yüksek Lisans, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Foster, F. and Tuinhof, A., 2004, Subsurface Dams To Augment Groundwater Storage On Basement Terrain For Human Subsistence. *World Bank Sustainable Gaundwater Managment Lessons From Practice*, 1-8.
- Foster, F., Azevedo, G. and Baltar, A., 2002, Subsurface dams to augment groundwater storage in Basement Terrain for Human Subsistence-Brazilian Experience. *World bank, GWMATE Case Profile Collection*, 5.
- Gleick, P., 1993, *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources*. New York: Oxford University Press.
- Hanılçe, M., 2018, Osmanlı Devleti'nin Bataklık Kurutma Uygulamalarında Bir Bakış: Tokat Kaz Gölü Örneği(1870-1892). *Türk Dünyası Araştırmaları*, 49-88.
- Hoberson, G., 1976, Oil Firms get into Iceberg-Moving Business. *The Christian Science Monitor*, s 1.
- İzbrak, R., 1983, *Türkiye Jeomorfolojisi*. Ankara: Yazar.
- Kadioğlu, M., 2008, Kuraklık Kırını Risk Yönetimi. & E. M. Kadioğlu içinde, *Afet Zararlarını Azaltmanın Temel İlkeleri*, s. 277-300, Ankara: JICA Türkiye Ofisi Yayınları.
- Karaalioglu, B., 1977, *Tokat-Kazova ve Turhal Ovaları Hidrojeolojik Etüt Raporu*. Ankara: DSİ.
- Kaya, S., 2020, *Doğru Akım Özdirenç Yöntemi İle Yeraltı Barajlarında Yer Seçimi Uygulaması*. Ankara: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Lowi, M., 1996, Water Disputes in the Middle East. *Enviromental Change and Security Project Report*, s 6, Washington: The Woodrow Wilson Center.
- Lutgens, F., Tarbuck, E., Tasa, D. ve Helvacı, C., 2017, *Genel Jeoloji Temel İlkeleri*. İstanbul: Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık.
- McCaffrey, S., 1986, Water Politics and International Law. s 97-99.

- McKee, T., Doesken, N. and Kleist, J., 1993, The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. *8th. Conference on Applied Climatology*, s 179-184, Anaheim.
- Mengü, G., Anaç, S. ve Özçakal, E., 2011, Kuraklık Yönetim Stratejileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, s 170-180.
- Nilsson, A., 1988, Groundwater dams for small-scale water supply. *Intermediate Technology Publications Ltd. London*, s 69.
- Özçağlar, A., 1988, Kazova'nın Coğrafyası. *Doktora, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*.
- Özçağlar, A., 1989, Zile-Turhal Yöresinin Morfografik Özellikleri. *Coğrafya Araştırmaları Dergisi*, s 185-195.
- Postel, S., 1993, The Politics of Water. *World Watch*, Temmuz-Ağustos, s 11.
- Rogers, P. and Lydon, P., 1994, *Water in the Arab World: Perspectives and Prognosis*. Cambridge, Mass.: Harvard University.
- Sağdıç, M., 2015, Türkiye'nin İklimi. *Türkiye Coğrafyası ve Jeopolitiği*.
- Salehnia, N., Alizadeh, A., Sanaeinejad, H., Bannayan, M., Zarrin, A. and Hoogenboom, G., 2017, Estimation of meteorological drought indices based on AgMERRA precipitation data and station-observed precipitation data. *Journal of Arid Land*, s 797-809.
- Santos, J. P. and Frangipani, A., 1978, Barragens Submersas-Uma Alternativa Para Nordeste Brasileira. in *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, s 119-126. Sao Paulo.
- Sevin, M. ve Uğuz, M., 2014, *Türkiye Jeoloji Haritaları Çorum H-35 Paftası*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Sümengen, M., 2013a, *Türkiye Jeoloji Haritaları Tokat H-36 Paftası*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Sümengen, M., 2013b, *Türkiye Jeoloji Haritaları Tokat H-38 Paftası*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Şahin, C., 1998, Erbaa-Niksar Havzası ve Yakın Çevresinin Jeomorfolojik Etüdü. *Doktora, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*.
- Şahin, C., 2005, *Türkiye Fiziki Coğrafyası*. Ankara: Gündüz Eğitim ve Yayıncılık.
- Tokat İl Tarım Orman Müdürlüğü, 2018, Kasım 2, <https://tokat.tarimorman.gov.tr/Haber/454/Tokata-Uc-Yeni-Buyuk-Ova-Daha-Ilave-Edildi> (Erişim Tarihi: 10.11.2023)
- Türkeş, M., 2017, *Genel Klimatoloji*. İstanbul: Kriter Yayınevi.
- Üstintaş, A. ve İnceöz, M., 1999, Zile(Tokat) batısında Uzunköy çevresinin stratigrafisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, s 69-83.

- Wilhite, D. and Glantz, M., 1985, Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Drought Mitigation Center Faculty Publications*, s 110-121.
- Willeke, G., Hosking, J. and Gutman, N., 1994 *The National Drought Atlas*. U. S. Army Corps of Engineers. Institute for Water Resources Report.
- Ya'ar, I., 1994, Water Disputes As Factors in the Middle East Conflicts. *Seaford House Papers, selected papers of the Royal College of Defense Studies*, s 48.
- Yolcubal, H. G., 2013, *Turhal, Pazar, Zile (Tokat) Yöresinin Üst Mesozoyik Stratigrafisi*. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Zeitoun, M., 2006, *Power and Water in the Middle East: The Hidden Politics of the Palestinian-Israeli Water Conflict*. Beyrut: I.B. Tauris.



İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

MEHMET ERMAN TOPÇU YÜKSEK LİSANS TEZİ revize

ORJİNALLİK RAPORU

% 14	% 6	% 0	% 11
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	Submitted to Marmara University Öğrenci Ödevi	% 10
2	cdniys.tarimorman.gov.tr İnternet Kaynağı	% 2
3	www.tarimorman.gov.tr İnternet Kaynağı	% 1
4	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	<% 1
5	dspace.ankara.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
6	lisansustu.atlas.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
7	cdn.iuc.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
8	acikerisim.omu.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
9	acikerisim.karabuk.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	<% 1

ETİK KURUL İZİN YAZISI

Uyarı: Canlı denekler üzerinde yapılan tüm araştırmalar için Etik Kurul Belgesi alınması zorunludur.

- ☐ Etik Kurul izni gerekmektedir.
- ☒ Etik Kurul izni gerekmemektedir.

Mehmet Erman TOPÇU
(İmza)



PATENT HAKKI İZNİ

Patent hakkı izni gerektiren herhangi bir çalışma yapılmamıştır.

