



**BARAJLARDA RUSUBAT BİRİKİMİ VE SU KALİTESİ DEĞİŞİMİ:
KAVŞAKKAYA BARAJI**

Ahmet YILDIRIM

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE BİLİMLERİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2025

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ahmet YILDIRIM

25/09/2025

BARAJLARDA RUSUBAT BİRİKİMİ VE SU KALİTESİ DEĞİŞİMİ:**KAVŞAKKAYA BARAJI**

(Yüksek Lisans Tezi)

Ahmet YILDIRIM

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2025

ÖZET

Bu tez çalışması, Ankara ili Çubuk ilçesi sınırlarında yer alan Kavşakkaya Barajı'nda biriken sedimentin (rusubat) su kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla yürütülmüştür. Yaklaşık 400 000 kişilik bir nüfusa içme, kullanma ve endüstriyel amaçlı su temin eden Kavşakkaya Barajı, bölge için stratejik öneme sahiptir. Ancak baraj, çevresel faktörler ve özellikle yoğun erozyon nedeniyle zamanla ciddi sediment birikimine maruz kalmaktadır. Bu birikim, yalnızca depolama hacmini azaltmakla kalmayıp, su kalitesini kimyasal ve biyolojik yönden de olumsuz etkilemektedir. Tez kapsamında, baraj gölünden dört mevsimi kapsayan dönemlerde sabit noktalardan yüzey suyu ve dip sediment örneklerinden k pH, çözünmüş oksijen, su sıcaklığı, iletkenlik, bulanıklık gibi fiziksel özelliklerin yanı sıra; sülfat, klorür, silikat, siyanür ve çeşitli ağır metallerin (Al, Mn, Fe, Pb, Zn, Cd) analizleri yapılmıştır. Ayrıca sedimentin hacimsel ve mekânsal dağılımı, drone destekli fotogrametri, çok bimli batimetri, SBP cihazları ve GNSS konumlandırma sistemleriyle haritalanmış, Fledermaus 3D yazılımı ile üç boyutlu olarak modellenmiştir. Rezervuar alanında toplam hacim kaybının, barajın inşa edildiği tarihten bu yana toplam olarak yaklaşık 776 868 metreküp olduğu, bunun da yıllık yaklaşık 55,491 metreküpe denk geldiği tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışma ile maksimum işletme kotu için göl hacminde 3 237 510 m³, minimum işletme kotu için göl hacminde 1256943,10 m³, kullanılabilir su hacminde ise 1980566,90 m³ kayıp olduğu belirlenmiştir. Bulgular, özellikle bazı metallerin yüksek konsantrasyonlarda bulunduğunu ve sedimentin mevsimsel su kalitesi değişimlerinde belirleyici rol oynadığını göstermiştir. Bu veriler, barajın geçmiş yıllara göre kullanılabilir hacminde belirgin azalma olduğunu ortaya koymuştur. Bulgular, Türkiye genelindeki benzer barajlar için de yol gösterici niteliktedir. Artan nüfus, sanayileşme ve iklim değişikliği nedeniyle, barajlarda sediment birikimi ve su kalitesi düzenli olarak izlenmeli; sürdürülebilir baraj yönetim stratejileri geliştirilmelidir.

Bilim Kodu : 90330
Anahtar Kelimeler : Sediment, su kalitesi, Kavşakkaya Barajı, ağır metaller, ötrofikasyon.
Sayfa Adedi : 75
Danışman : Prof. Dr. Aysel Çağlan GÜNAL

SEDIMENT ACCUMULATION AND WATER QUALITY CHANGES IN
RESERVOIRS: KAVŞAKKAYA DAM

(M. Sc. Thesis)

Ahmet YILDIRIM

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL ENVIRONMENTAL SCIENCES

September 2025

ABSTRACT

This thesis was conducted to investigate the effects of sediment (sediment) accumulated in the Kavşakkaya Dam, located within the borders of the Çubuk district of Ankara province, on water quality. Kavşakkaya Dam, which provides water for drinking, domestic, and industrial purposes to a population of approximately 400 000 has strategic importance for the region. However, due to environmental factors and especially intense erosion, the dam is subject to significant sediment accumulation over time. This accumulation not only reduces the storage volume but also negatively affects water quality in chemical and biological aspects. Within the scope of the thesis, physical properties such as pH, dissolved oxygen, water temperature, conductivity, and turbidity, as well as analyses of sulfate, chloride, silicate, cyanide, and various heavy metals (Al, Mn, Fe, Pb, Zn, Cd) were conducted in surface water and bottom sediment samples taken from the dam lake at fixed points during periods covering four seasons. In addition, the volumetric and spatial distribution of sediment was mapped using drone-assisted photogrammetry, multi-beam bathymetry, SBP devices, and GNSS positioning systems, and modeled in three dimensions using Fledermaus 3D software. It was determined that the total volume loss in the reservoir area since the dam's construction is approximately 776 868 cubic meters, equivalent to approximately 55.491 cubic meters per year. This study determined that the lake volume lost was 3237510.00 m³ for the maximum operating level, 1256943.10 m³ for the minimum operating level, and 1980566.90 m³ of usable water volume. The findings indicated that some metals were present in particularly high concentrations and that sediment plays a decisive role in seasonal water quality changes. These data revealed a significant decrease in the dam's usable volume compared to previous years. The findings also provide guidance for similar dams across Türkiye. Due to increasing population, industrialization, and climate change, sediment accumulation and water quality in dams must be regularly monitored, and sustainable dam management strategies must be developed.

Science Code : 90330

Key Words : Sediment, water quality, Kavşakkaya Dam, heavy metals, eutrophication.

Page Number : 75

Supervisor : Prof. Dr. Aysel Çağlan GÜNAL

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında bilgi, birikim ve deneyimleriyle bana yol gösteren, akademik rehberlikleri ve özverili destekleriyle sürecin her aşamasında yanımda olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Aysel Çağlan GÜNAL'a en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Kendisi, araştırma konusunun belirlenmesinden başlayarak verilerin toplanması, yorumlanması ve tez metninin oluşturulmasına kadar olan tüm süreçte titiz bir akademik rehberlik sunmuş, bilimsel bakış açımı geliştirmeme büyük katkı sağlamıştır. Gerek sabrı gerekse yapıcı eleştirileriyle çalışmamın bilimsel niteliğini artırmış ve bana akademik anlamda yeni ufuklar açmıştır. Aynı şekilde, akademik birikimiyle her zaman ilham kaynağı olan, bilimsel değerlendirmeleriyle tezime önemli katkılar sunan saygıdeğer Dr. Melike Huri YAVUZ'a da teşekkür borçluyum. Kendisi, özellikle metodolojik yaklaşımlar ve analiz teknikleri konusunda sunduğu önerilerle çalışmamın derinliğini ve geçerliliğini artırmıştır. Bu süreçte olan özverili yaklaşımı benim için örnek teşkil eden Sayın İlhan Şerif ÖZSEZGİN'e, Bu tez çalışmasının bilimsel bir nitelik kazanmasında emeği geçen hocalarıma, desteklerini esirgemeyen tüm kurum, kuruluş, saha çalışmalarında yardımcı olan ekip arkadaşlarıma ve sürecin her anında yanımda olan sevgili eşim Asiyenur Sarıhan YILDIRIM'a ve aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1. Baraj Gölleri.....	5
2.1.1. Baraj göllerinin çeşitleri.....	6
2.1.2. Baraj yapımı ve özellikleri	6
2.1.3. Sediment kirliliği ve özellikleri.....	9
2.1.4. Sediment yönetimi ve rehabilitasyon yaklaşımları	12
2.1.5. Su ve sediman kalite parametreleri	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM	19
3.1. Çalışma Alanı.....	19
3.2. Arazi Çalışmaları	19
3.3. Deneysel Çalışmalar.....	22
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	29
4.1. Kavşakkaya Barajı Haritalandırma Çalışmaları.....	29

	Sayfa
4.2. Derinlik Ölçümleri	30
4.3. Su Analiz Sonuçları.....	41
4.4. Sediment Analiz Sonuçları.....	46
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR	57
EKLER.....	65
EK-1. Laboratuvar fotoğrafları	66
ÖZGEÇMİŞ.....	75

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Kavşakkaya barajı özellikleri	20
Çizelge 3.2. Yer kontrol noktaları koordinat bilgileri	23
Çizelge 4.1. Kavşakkaya baraj gölü mevcut durumu ve öncül veriler karşılaştırması..	30
Çizelge 4.2. Kavşakkaya barajı su analizi sonuçları.....	45
Çizelge 4.3. Alüminyum, çözülmüş demir ve silisyum ölçümleri	45
Çizelge 4.4. Kavşakkaya barajı dip çamuru analiz sonucu.....	47

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Sedimentler ve nehir suları arasındaki kirlenme mekanizması	10
Şekil 3.1. Ses hızı profili.....	24
Şekil 3.2. Akustik derinlik ölçümü şematik gösterimi.....	25
Şekil 4.1. Tez çalışma sahası ve çevresinin genel jeoloji haritası	32
Şekil 4.2. Tez çalışma sahası ve çevresinde gözlenen stratigrafik birimler.....	33
Şekil 4.3. Sismik veri toplamada kullanılan sismik sistem konfigürasyonu.....	34
Şekil 4.4. Kırıntılı göl çökellerinin göl ortamındaki dizilimi	37
Şekil 4.5. Tez çalışma sahası genel stratigrafik özelliklerini gösteren sismik kesitler .	40
Şekil 4.6. Alüminyum ve demir seviyeleri sınır değerleri	46

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Kavşakkaya barajı.....	19
Resim 3.2. Sığ sismik ölçümleri	21
Resim 3.3. Fotogrametri ölçümleri	21
Resim 3.4. HemisphereVector VS330	22
Resim 3.5. Fotogrametrik yöntem ile fotoğraf çekim metodu.....	23
Resim 3.6. Survey ve veri işlem ekranları	26
Resim 3.7. Stratabox SBP sistemi prosesör ve 10 Khz transducer ile montaj şekli	27
Resim 4.1. Terra solid yazılı ve kavşakkaya barajı ortofoto görünümü	29
Resim 4.2. Üç Boyutlu profil görüntüsü örneği.....	31
Resim 4.3. Sığ sismik verilerin toplandığı hatları gösteren lokasyon haritası.....	35
Resim 4.4. Kavşakkaya barajı.....	36
Resim 4.5. B Birikim (rusubat) kalınlık haritası.....	49
Resim 4.6. Baraj yapısı önünden alınan profilde rusubat birikiminin görünümü.....	50
Resim 4.7. Su Alma yapısına dik alınan profilde rusubat birikiminin görünümü	50
Resim 4.8. Çalışma sahasının 3 boyutlu modeli	51

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler Açıklamalar

CO₂	Karbondiyoksit
E⁰	Termodinamik Voltaj
i₀	Değişim Akımı Yoğunluğu
η	Aşırı Potansiyel
Al	Alüminyum
As	Arsenik
Ba	Baryum
Cd	Kadmiyum
Cd	Kadmiyum
Co	Kobalt
Cr	Krom
Cu	Bakır
Fe	Demir
Hg	Cıva
Mn	Mangan
Ni	Nikel
Pb	Kurşun
Pb	Kurşun
Si	Silisyum
Ti	Titanyum
Zn	Çinko

Kısaltmalar Açıklamalar

CTD	Conductivity, temperature, depth
ÇBİ	Çok Bimli İskandil
DSİ	Devlet Su İşleri

Kısaltmalar	Açıklamalar
DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü
m	metre
MÖ	Millattan önce
PAHs	Polycyclic aromatic hydrocarbon
PCB	Polychlorinated Biphenyls
TUDKA	Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı
U.S.	United States



1. GİRİŞ

Tüm canlılar, yaşamlarını sürdürebilmek ve çeşitli fizyolojik ihtiyaçlarını karşılayabilmek için dünyada sınırlı miktarda bulunan doğal tatlı su kaynaklarına bağımlıdır. Ancak sosyoekonomik gelişmeler, kentleşme, endüstriyel faaliyetlerin yaygınlaşması ve nüfus artışıyla birlikte tarımsal üretimin artması, su kaynaklarına olan talebin artmasına yol açmaktadır (Jurdi ve diğerleri, 2002).

Hidroelektrik enerji üretimi, içme, sulama ve endüstriyel amaçlı su temini, sel baskınlarından korunma ve balıkçılık gibi çeşitli kullanımlar için inşa edilen yapay baraj göllerinin yalnızca hidrolojik özelliklerinin değil, aynı zamanda ekolojik yapısı ve limnolojik karakteristiklerinin de işlevselliği açısından incelenmesi günümüzde büyük önem taşımaktadır. Tatlı su kaynaklarının sınırlı olması ve artan kirlilik baskıları göz önüne alındığında, özellikle içme suyu temininde kullanılan baraj göllerinde su kalitesinin ve içme suyu standartlarına uygunluğunun sağlanması kritik hale gelmiştir. Bu bağlamda, baraj yönetimi ve su kalitesine ilişkin problemlerin nedenlerinin detaylı bir şekilde anlaşılması; daha ekonomik, sürdürülebilir ve doğal süreçlere dayanan, çevre dostu ekoteknolojik yönetim planlarının geliştirilmesi için düzenli takip programlarıyla baraj ekosisteminin işleyişinin kapsamlı biçimde izlenmesi gerekmektedir (Kumcu, 2012; Şimşek, 2011).

Küresel iklim değişikliği ve bozulan yağış rejimleri, dünyanın belirli bölgelerinde erozyon riskini önemli ölçüde artırmıştır. Artan erozyon sonucunda, akarsular tarafından taşınan sediment miktarı yükselmekte ve bu durum barajlar için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Özellikle, yoğun yağışlar ve taşkınlar akarsu yataklarında sediment taşınımını artırarak, baraj rezervuarlarında tortu birikimine yol açmaktadır. Türkiye, topografik ve iklimsel özellikleri ile yanlış arazi kullanımı gibi faktörler nedeniyle, dünya ortalamasının yaklaşık dört katı ve Avrupa ortalamasının ise on yedi katı kadar toprağın akarsular tarafından taşındığı bir ülke konumundadır. Bu yüksek erozyon ve sediment taşınımı, ülkemizdeki barajlar açısından önemli bir risk teşkil etmektedir. Nitekim, günümüzde yirmiye yakın baraj veya gölette aşırı tortu birikimi nedeniyle ciddi kapasite kayıpları yaşanmış; bazı barajlar ise işlevlerini büyük ölçüde yitirmiş ya da kaybetme aşamasına gelmiştir (Çeliker ve Anaç, 2003).

Su ekosistemlerine aşırı besin deşarjı su kalitesinin bozulmasına neden olur ve zamanla ötrofikasyon sürecini başlatır. Bu sürecin gelişimsel dinamikleri doğrudan su kütlesinin morfometrik özellikleri ve hidrolojik rejimiyle ilişkilidir. Suyun tutulma süresi (hidrolik tutulma süresi) ile termal tabakalaşma olgusu, göllerde ve rezervuarlarda ötrofikasyonun ana belirleyicileri olarak öne çıkar. Düşük hidrodinamik hareketliliğe sahip su kütleleri (doğal göller, baraj gölleri, koylar ve düşük akışlı nehirler) bu sürece özellikle eğilimlidir. Bu sistemlerde besin maddelerinin birikmesi, fitoplankton patlamalarına yol açarak çözünmüş oksijen tükenmesine ve bentik bölgenin anoksik koşullara dönüşmesine neden olur (Ansari ve diğerleri, 2011).

Ötrofikasyonun ileri evrelerinde, aerobik flora ve fauna anaerobik organizmalarla yer değiştirir. Sedimantasyon hızındaki artışla, su sütununda organik madde birikimi hızlanır ve bu da özellikle sığ su kütlelerinde bataklıklaşma sürecini hızlandırır (Zaldivar ve diğerleri, 2008). Derin göllerde, uzun vadede lithoral zon genişlemesi ve linnetik zon daralması gibi morfometrik değişiklikler gözlenir. Baraj gölleri gibi antropojenik su sistemlerinde, ötrofikasyon kontrolü doğrudan besin yükü yönetimi ve termoklin stabilitesinin korunmasıyla ilgilidir. Ötrofikasyonun başladığı sistemlerde restorasyon çabaları, tortu tutma ve hipolimnion havalandırması gibi mühendislik müdahaleleri gerektirir, ancak bu uygulamaların ekonomik ömrü siltasyon nedeniyle sınırlı kalır (Naselli-Flores, 2011).

Son yıllarda ülkemizdeki yüzeysel su kaynaklarının (akarsular ve göller) su kalitesi değerlerindeki değişimler, bilimsel çalışmalar kapsamında belirli parametreler dikkate alınarak incelenmektedir. Daha kapsamlı parametre setlerinin değerlendirildiği çalışmalar genellikle uygulama tez çalışmaları çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Ancak bu tür izleme çalışmalarının uzun zaman dilimlerinde sonuç vermesi ve incelenen değişken sayısının çokluğu araştırmanın önemli sınırlayıcı faktörleri olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durum, özellikle ülkemizdeki göller üzerinde yapılan çalışmalarda birçok parametrenin aynı anda değerlendirilmesini engellemekte ve göllerin tüm özelliklerini yansıtan bütünsel bir izleme metodolojisi geliştirmeyi zorlaştırmaktadır.

Ülkemiz açısından değerlendirildiğinde su kaynaklarımızın mevcut durumunun kapsamlı bir şekilde belirlenmesi ve buna bağlı olarak koruma ve planlama önlemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, Akın ve diğerleri (2008) tarafından 2005-2008 yılları arasında Gökçekaya Baraj Gölü'nde yürütülen ve ülkemizde ilk sayılabilecek izleme çalışmasında, su

kalitesi tüm derinlikte izlenmiş ve su kalitesinin göstergesi olabilecek alg türleri tespit edilmiştir. Söz konusu çalışma, bölge için su kalitesi açısından +ilk ve tek araştırmadır. Ancak bu çalışmada sediment analizinin yer almaması, potansiyel kirlilik risklerinin göz ardı edilmesi açısından önemli bir eksiklik olarak değerlendirilmektedir.

Bu nedenle mevcut sedimentin besin düzeylerinin belirlenmesi zorunludur. Özellikle besin kirliliği yüklerinin taban çamurunda birikme eğilimi göstermesi ve bu maddelerin suda çözünmemesi, besin maddelerinin uzun süre çevrede bozulmadan kalmasına neden olmaktadır.

Bu çalışma Kavşakkaya Baraj Gölü'nün su kalite değişiminin barajda biriken sediment miktarı değişimi ile etkisi incelenmiştir. 4 mevsim boyunca aynı lokasyondan alınan su ve çamur numuneleri analizleri ile su kalite parametre değişimleri izlenmiştir.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Baraj Gölleri

Baraj yapımı insanlık tarihinde 5000 yıldan daha eskiye dayanır (örneğin, Mısır'daki taşkın koruması için Sadd el-Kafara barajı), ancak dünyadaki mevcut barajların çoğu, ekonomik kalkınmanın bir sonucu veya temeli olarak İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra inşa edilmiştir. Bugün, dünya çapında yaklaşık 6000 mevcut veya planlanan büyük hidroelektrik baraj (>15 m yükseklik) bulunmaktadır (Zarfl ve diğerleri, 2015) ve sayısız sayıda küçük baraj bulunmaktadır.

Baraj gölleri, akarsuların önüne inşa edilen baraj yapıları sayesinde suyun birikmesiyle oluşan yapay su kütleleridir. Bu göller su depolama, taşkın kontrolü, enerji üretimi, sulama ve rekreasyonel aktiviteler gibi çeşitli amaçlar için kullanılır. Baraj gölleri, suyun doğal akışını kontrol ederek çevresel ve ekonomik faydalar sağlar. Suyun toplandığı kısma memba, barajın ön kısmı mansap bölgesi olarak adlandırılır. Baraj tasarımı sırasında sırasıyla jeolojik çalışmalar, kullanım özellikleri ile ilgili stabilizasyon, gerilme ve deformasyon, sızma, dinamik, ölçüm tesisleri ve derivasyon tesisleri ile ilgili analizler yapılır. Kullanılacak dolgu malzemesinin türüne karar verildikten sonra yapılan analizlere göre tez çalışmalar oluşturulur.

Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü verilerine göre, Türkiye'de kişi başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarı 2000 yılında 1652 m³, 2009 yılında 1544 m³, 2020 yılında ise 1346 m³ olarak gerçekleşmiştir. Bu dönemde kişi başına düşen temiz su miktarında azalma görülürken, toplam yıllık su miktarında artış yaşanmaktadır. Sanayi, tarım ve enerji üretimi gibi sektörlerin su tüketimleri de dikkate alındığında ülkemizin yıllık su ihtiyacının yaklaşık 57 000 000 000 m³'e ulaştığı tahmin edilmektedir (DSİ, 2022).

Türkiye'nin su potansiyeli açısından zengin bir ülke olarak değerlendirilebilmesi için kişi başına düşen su miktarının yıllık 1 700 m³'ün üzerinde olması gerekmektedir. Ancak, ülkemizin teknik ve ekonomik koşullar altında kullanılabilir su potansiyeli dikkate alındığında, 2024 yılı kişi başına düşen su miktarı yaklaşık 1 297 m³/yıl seviyesindedir. Bu durum, Türkiye'nin su potansiyeli bakımından zengin ülkeler arasında yer almadığı su stresi

olan ülkelerden olduğunu göstermektedir. Nüfus artışı ve iklim değişikliğinin etkileri göz önüne alındığında, önümüzdeki 20 yıl içinde Türkiye'nin su kısıtı yaşayan ülkeler arasında bulunması muhtemeldir. Bu nedenle, su kaynaklarının tasarruflu ve optimum şekilde kullanılması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, su kaynaklarının çok amaçlı değerlendirilmesi ve verimli kullanımı amacıyla depolamalı tesislerin inşa edilmesi ve su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi gerekmektedir (DSİ, 2024).

2.1.1. Baraj göllerinin çeşitleri

Türkiye, zengin bir akarsu ağına sahip olup, ülke topraklarının büyük bir bölümünü kaplayan yüksek ve geniş dağlar, akarsuların dar ve derin vadilerde akmasına neden olmuştur. Bu jeomorfolojik özellikler, baraj yapımına elverişli koşullar oluşturmıştır. Baraj inşasını teşvik eden başlıca faktörler arasında içme ve sulama suyu temini, elektrik enerjisi üretimi ve taşkın kontrolü yer almaktadır. Ayrıca, su ürünleri üretimi gibi diğer ihtiyaçlar da akarsular üzerinde çok sayıda barajın inşa edilmesini sağlamıştır (Avşin ve Gazioğlu, 2024).

Türkiye genelinde 140'tan fazla baraj bulunmaktadır. Fırat Nehri üzerinde yer alan Atatürk, Keban ve Karakaya barajları, ülkenin en büyük barajları arasında yer almaktadır. Dicle Nehri üzerindeki en önemli baraj ise Devegeçidi Barajı'dır (Bucak, 2023). Ülkenin en uzun akarsuyu olan Kızılırmak üzerinde Hirfanlı, Kesikköprü, Kapulukaya ve Altinkaya barajları bulunmaktadır. Yeşilırmak Nehri üzerinde Almus, Hasan Uğurlu ve Suat Uğurlu barajları yer alırken, Sakarya Nehri üzerinde Hasan Polatkan Barajı önemli bir konuma sahiptir (Can ve Yılmaz, 2023). Ege Bölgesi'nin başlıca barajları arasında Gediz Nehri üzerindeki Demirköprü ile Büyük Menderes Nehri üzerindeki Adıgüzel ve Kemer barajları bulunmaktadır. Çukurova bölgesi için büyük öneme sahip Seyhan ve Ceyhan nehirleri üzerinde ise sırasıyla Seyhan ve Aslantaş barajları inşa edilmiştir (Kozan, 2020).

2.1.2. Baraj yapımı ve özellikleri

Baraj inşaatlarının başlamasıyla birlikte ortaya çıkan değişimler iki temel boyutta değerlendirilebilir. Birincisi, insan yaşam alanları üzerinde gözlemlenen mekânsal değişikliklerdir; bu durum yerleşim alanlarının yer değiştirmesine ve kültürel mirasın kaybına neden olmaktadır. İkincisi ise fiziksel çevrede meydana gelen dönüşümlerdir. Bu kapsamda,

flora ve faunanın tahrip edilmesi veya göç etmek zorunda kalması, tarım alanlarının azalması ve çeşitli çevresel kirlilik türlerinin ortaya çıkması gibi olumsuz etkiler söz konusudur.

Beşerî ortamda meydana gelen değişimler

Bir akarsu üzerinde baraj inşası, yerleşim alanlarının mekânsal düzeninde önemli değişikliklere yol açmaktadır. Özellikle barajın kurulacağı ve baraj gölünün oluşturulacağı bölgelerin boşaltılması zorunluluğu, mevcut yerleşimlerin tamamen tahliye edilmesini gerektirmektedir. Türkiye’de bu duruma örnek olarak, Atatürk Barajı’nın yapımı nedeniyle yer değiştirmek zorunda kalan Samsat ilçesi (Adıyaman) ile Birecik Barajı inşası sonucunda taşınan Halfeti ilçesi (Şanlıurfa) gösterilebilir. Bu yer değiştirmeler, baraj tez çalışmalarının sosyal ve mekânsal etkilerinin somut örnekleri olarak değerlendirilmektedir.

Samsat, tarihi bir yerleşim yeri olup, M.Ö. 6000 yıllarında Orta Asya'dan gelen Hititler'den önceki kavimler tarafından kurulduğu belirtilmektedir. Atatürk Barajı yapımı kapsamında yapılan hazırlıklar sırasında eski Samsat 1988 yılında tamamen boşaltılmış ve mevcut yerleşim yerinin yaklaşık 10 km kuzeyinde yeni bir yerleşim alanı oluşturulmuştur. Öte yandan tarihi öneme sahip Rumkale ve Halfeti yerleşim yerlerinin ise M.Ö. 855 yılında Asur Kralı III. Salmanassar tarafından ele geçirildiğine dair kayıtlar bulunmaktadır. 2000 yılında Birecik Barajı'nın su tutmaya başlamasıyla bu iki yerleşim yeri baraj gölünün etkisi altına girmiştir. Özellikle Halfeti'nin büyük bir bölümü sular altında kalmış ve bu nedenle yerleşim yeri eski yerinden yaklaşık 8 km doğuda yeni bir alana taşınmak zorunda kalmıştır (Bakırcı, 1997: 369–381).

Türkiye’de baraj yapımı nedeniyle yerleşim alanlarının sular altında kalmasına ilişkin önemli örneklerden biri Keban Barajı’dır. Keban Barajı’nın yapımı sonucunda 59 köy, 26 mezra ve 6 köy tamamen; 104 köy, 24 mezra, 2 köy ve 11 mahalle olmak üzere toplam yaklaşık 39 300 hektarlık bir alan baraj gölünün suları altında kalmıştır (Çotur, 1990: 50). Benzer şekilde Çoruh Nehri havzasında yapılması planlanan barajlar nedeniyle Yusufeli ilçe merkezi olmak üzere 7 köy tamamen, 22 köy büyük oranda ve 32 köy kısmen etkilenmiştir. Bu durum Çoruh havzasında yaklaşık 8 412 kişinin eş zamanlı göç ve yeniden yerleşimini gerektirecek, bu da önemli sosyal ve mekansal sorunlara yol açacaktır (Sever, 2005: 249). Ayrıca Kızılırmak Nehri üzerinde kurulan Derbent Barajı yerleşim yerlerinin sular altında kalmasına örnektir. Samsun ili Bafra ilçesi sınırlarında 1991 yılında işletmeye alınan bu

baraj nedeniyle 200 ev, 17 km² tarım arazisi ve M.Ö. 4000'li yıllara dayanan tarihi öneme sahip İkiztepe antik kenti sular altında kalmıştır.

Doğal ortamda meydana gelen değişimler

Günümüzde baraj yapımı, hidroelektrik enerji üretimi, taşkın ve taşkın kontrolü, sulama gibi çok amaçlı tez çalışmalar şeklinde yapılmaktadır. Bu tez çalışmalar kapsamında inşa edilen bina, yol, servis yolu, tünel gibi altyapılar için yapılan her türlü kazı faaliyetleri, bitki örtüsünün tahrip olmasına, yamaç stabilitesinin bozulmasına, kütle hareketlerinin hızlanmasına ve çeşitli aşınma süreçlerinin gelişmesine yol açmaktadır. Özellikle katılaştırmış kayalar üzerinde meydana gelen aşınma faaliyetleri bu süreçlerle daha da şiddetlenmekte ve aşınma sonucu oluşan moloz örtüsünün kalınlaşmasına neden olmaktadır (Turoğlu ve Özdemir, 2005: 133).

Baraj göllerinin neden olduğu tahribat en çok karasal ortamda yaşayan bitki örtüsünü ve canlıları etkilemektedir. Gölün kapladığı alanla orantılı olarak flora ve fauna üzerindeki tahribat da artmaktadır. Oluşturdukları eşsiz mikroklima koşulları sayesinde akarsu yatakları, özellikle nadir ağaç türleri, endemik bitkiler ve bazı hayvan türleri için önemli yaşam alanlarıdır. Baraj gölünün kaplayacağı alanlar birçok canlının doğal yaşam alanını oluşturmakta olup, barajın yapılmasıyla birlikte akarsu kenarlarındaki canlı yaşamı ya tamamen yok olmakta ya da yaşam alanlarından göç etmek zorunda kalmaktadır (Sönmez, 2012). Örneğin Çoruh Nehri üzerinde yapılması planlanan barajlar nedeniyle bu bölgede yaşayan Maral Geyiği (*Cervus elaphus*), Karaca (*Capreolus capreolus*), Boz Ayı (*Ursus arctos*), Porsuk (*Meles meles*) ve Su Samuru (*Lutra lutra*) gibi türler baraj sularının oluşturduğu tehditlerle karşı karşıya kalacaktır. Bu durum biyolojik çeşitlilik ve ekosistem dengesi açısından ciddi riskler taşımaktadır (Sever, 2005: 181).

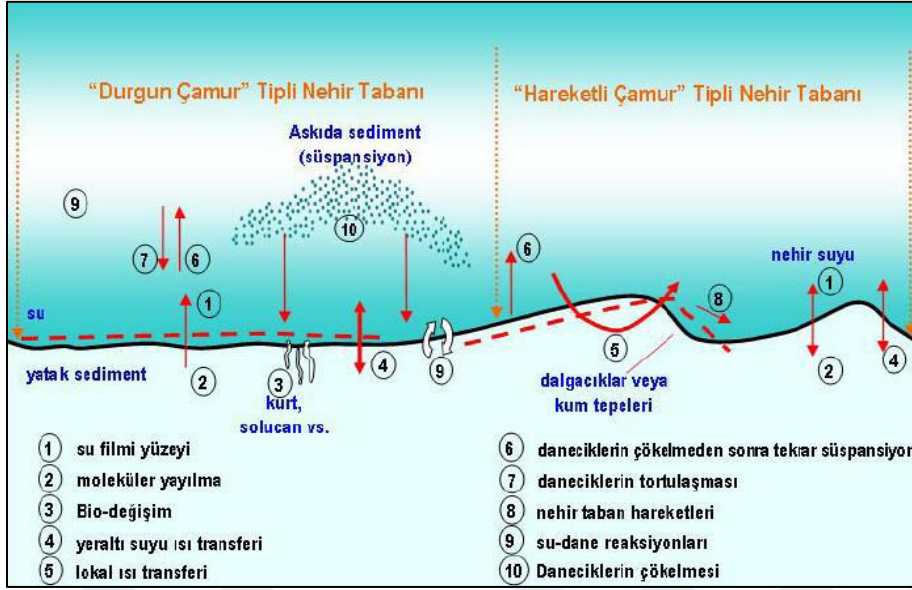
Baraj yapımı sonucu sular altında kalacak olan bu verimli alüvyonlu alanlar, tarımsal faaliyetlerin yoğun olarak yapıldığı bölgeler olarak öne çıkmaktadır. Alüvyonlu ovalardaki toprakların organik maddece zengin ve suya doymuş olması, sulama imkânlarının bolluğu ile birleşince tarımsal ürün çeşitliliğinin artmasını sağlamaktadır (Sönmez, 2012). Kurak ve yarı kurak iklim koşullarının hüküm sürdüğü bölgelerde suya olan yüksek talep, bu alanların önemini daha da artırmakta ve vadi tabanları nüfusun yoğun olarak yerleştiği tek yaşam alanları haline gelmektedir. Bu nedenle bu sahalarda gerçekleştirilen tez çalışmalar, kısa

vadede bölge genelinde enerji üretimi ve sulama gibi avantajlar sunsa da yerel ölçekte tarım alanlarının kaybına yol açmakta ve burada yaşayan toplumun ekonomik yapısını kökten değiştirmektedir. Ayrıca, barajların ekonomik ömrü genellikle siltasyon nedeniyle 60 ila 100 yıl arasında değişmektedir (Strahler ve Strahler, 2003: 557).

2.1.3. Sediment kirliliği ve özellikleri

Göl ve nehir tabanı tortuları, tarımsal alanlardan çeşitli endüstriyel ve evsel atıkların deşarjı sonucu organik ve inorganik kirlilikle karşı karşıya kalmakta olup, bu durum bölgesel ekosistem sağlığı ve yaşam kalitesi üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. Son yıllarda, kirlenmiş tortuların jeoteknik ve kimyasal özelliklerinin ayrıntılı olarak incelenmesi ve bu kirliliğin giderilmesi için çözüm yöntemlerinin geliştirilmesi gerekliliği artmıştır. Tortulların mekanik özellikleri açısından yapılan araştırmalar; yoğunluk, mukavemet ve geçirgenlik gibi parametrelerin düşük, su içeriği, boşluk oranı ve sıkıştırılabilirlik gibi özelliklerinin ise yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Bu durum, tortuların yapılarında tabanların doğal yapısına göre daha fazla organik ve inorganik bileşen bulunduğunu ve dolayısıyla kirlilik birikimi açısından önemli bir depolama işlevi üstlendiğini göstermektedir.

Bu bağlamda, tortuların hem fiziksel hem de kimyasal karakterizasyonu, su ekosistemlerinin sürdürülebilir yönetimi ve restorasyonu için kritik öneme sahiptir. Tortullarda biriken ağır metaller ve diğer kirleticiler, su kalitesini ve biyolojik çeşitliliği olumsuz yönde etkileyerek ekosistem hizmetlerinin bozulmasına yol açmaktadır. Türkiye'de yapılan çalışmalarda baraj ve göl tortularında Fr, Ni, Cu, Cr, Pb, Cd gibi ağır metallerin varlığı tespit edilmiş ve bu kirleticilerin hem doğal jeokimyasal süreçler hem de antropojenik faaliyetler sonucu oluştuğu belirlenmiştir (Burdige ve diğerleri, 2004).



Şekil 2.1. Sedimentler ve nehir suları arasındaki kirlenme mekanizması

Sedimentler, sucul sistemlerde biriken inorganik ve organik partiküllerden oluşur ve madde döngüsünün temel bir bileşenini oluştururlar. Sedimentler ve nehir suları arasındaki kirlenme mekanizması Şekil 2.1’de verilmiştir. Akarsular, göller ve barajlar gibi ortamlarda bu sedimentler, çözünmüş veya askıdaki maddelerin taşınması, tutulması ve yeniden serbest bırakılması gibi işlevler üstlenir. Ancak, özellikle baraj gölleri gibi durağan sularda bu sedimentler kirlenici birikiminin merkezine dönüşebilir (Förstner ve Salomons, 2008).

Baraj sistemlerinde akış rejiminin durağan hale gelmesi, partikül maddelerin kolayca çökmesine ve kirlenici madde yoğunlaşmasına yol açar. Zamanla bu dip çökeller, çevresel koşullardaki değişimle birlikte ikincil kirlenici kaynaklara dönüşebilir. Bu özellikleriyle sedimentler hem pasif bir depolayıcı hem de aktif bir kirlenici rolü oynar (Eggleton ve Thomas, 2004).

- Kirlenici kaynaklar: Sediment kirliliği, başlıca dört temel kaynaktan beslenir: endüstriyel ve kentsel deşarjlar, tarımsal yüzey akışı, doğal jeolojik süreçler ve atmosferik çökme.

- Endüstriyel ve kentsel kaynaklar: Endüstriyel tesislerden gelen ağır metaller Kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), cıva (Hg), krom (Cr), arsenik (As), çinko (Zn) nikel, (Ni)) ve organik kirlenitciler (örneğin Poliaromatik hidrokarbonlar (PAHs) ve poliklorlu bifeniller (PCB)) diment partiküllerine bağlanarak dip çökellerde birikir (Liu ve diğerleri, 2021). Kentsel

kaynaklı kanalizasyon taşkınları, yağmur suyu akışı ve evsel atıklar da önemli besin maddesi (azot, fosfor) yükleri taşır (Zhang, 2022).

- Tarımsal kaynaklar: Tarım faaliyetlerinden gelen fosfat, nitrat ve pestisitler, erozyonla taşınarak sedimentte birikir. Bu maddeler, özellikle ötrofikasyonu tetikleyerek alg patlamaları ve oksijen tüketimi gibi ciddi sorunlara yol açar (Gunkel ve diğerleri, 2007).
- Doğal kaynaklar: Bazı kirleticiler, jeolojik kökenli olup doğal olarak sulara taşınır. Örneğin arsenik, demir ve mangan gibi metaller doğal mineral yataklarından yüzey sularına ulaşarak sedimentte birikebilir (Förstner ve Wittmann, 1981).

Sedimentlerin fiziksel ve kimyasal yapıları, kirleticilerin bağlanma, taşınma ve yeniden serbest kalma süreçlerinde belirleyici rol oynar. İnce taneli sedimentler (kil, silt), daha fazla yüzey alanına sahip olduklarından ağır metaller ve organik bileşikler yüksek düzeyde adsorbe ederler (Santschi ve diğerleri, 2001). Sedimentin pH değeri ve redoks durumu, özellikle metal çözünürlüğü üzerinde belirleyicidir. Düşük pH ve indirgen ortamlarda ağır metaller daha mobil hale gelir (Luoma ve Rainbow, 2008). Yüksek organik madde, özellikle hidrofobik kirleticilerin (örneğin pestisitler, PCB'ler) daha fazla bağlanmasına neden olur, bu da onların çözünmüş faza geçişini sınırlandırır ancak sedimentte kalıcılığını artırır.

Kirletici türleri

Sedimentlerde yaygın olarak gözlemlenen başlıca kirleticiler:

- Ağır metaller: Pb, Cd, Zn, Cr, Ni metaller, toksisiteleri nedeniyle çevresel risk oluştururlar. Bu metaller canlı bünyesinde birikerek biyomagnifikasyon yaratabilir (Linnik and Zubenko, 2000)
- Organik kirleticiler: PAHs ve PCBs, kalıcı organik kirleticilerdir. Sedimentte uzun süreli varlık gösterebilir ve lipofilik yapıları sayesinde canlı dokularda depolanabilirler (Morel ve diğerleri, 1998).

Mikroplastikler ve endişe verici kirleticiler: Mikroplastikler hem fiziksel tehdit oluşturur hem de ağır metaller ve organik kirleticiler için taşıyıcı görevi görür. Ayrıca farmasötik ürün

kalıntıları gibi yeni nesil kirleticiler de sedimente bağlanarak potansiyel tehlike arz eder (Rochman ve diğerleri, 2013).

Biyojeokimyasal davranış ve taşınım

- Adsorpsiyon–desorpsiyon: Kirleticiler, sediment yüzeylerine adsorbe olduktan sonra çevresel faktörlerle yeniden çözünmüş hale gelebilir. pH, redoks potansiyeli, sıcaklık ve iyon konsantrasyonu bu dengeyi etkiler (Santschi ve diğerleri, 2001).

- Sediment–su arayüzü etkileşimleri: Bu geçiş zonunda difüzyon, moleküler taşınım ve biyolojik karıştırma (biyoirrigasyon) gibi süreçler kirleticilerin mobilitesini etkiler. Özellikle metilciva gibi toksik türlerin oluşumu bu bölgede olur (Morel ve diğerleri, 1998).

Mikrobiyal aktivite: Sediment içerisindeki bakteriler, bazı metallerin redüksiyonuyla onları immobilize edebilir ya da bazı organik bileşikler parçalayarak etkisiz hale getirebilir (Lovley, 1993).

Kirletici yüklü sedimentler bentik organizmaları olumsuz etkiler, biyolojik çeşitliliği azaltır ve trofik ağlarda bozulmaya yol açar (Eggleton ve Thomas, 2004). Sedimentlerde biriken metaller ve organik kirleticiler, su ürünleri tüketimi yoluyla insanlara geçebilir. Metilciva ve PCB gibi maddeler nörotoksik ve karsinogeniktir (World Health Organization, 2011).

İzleme ve değerlendirme yöntemleri

Core Sampling ve Grab Sampling ile örnek alınır (Mudroch ve MacKnight, 1994). AAS, ICP-MS, XRF gibi yöntemlerle ağır metal analizi yapılır.

Değerlendirme için kullanılan başlıca indeksler:

- Jeoakkümülyasyon İndeksi (Igeo) – Müller (1969)
- Ekolojik Risk İndeksi (ERI) – Hakanson, (1980)
- Sediment Kalite Kılavuzları (SQG) – NOAA (1999)

2.1.4. Sediment yönetimi ve rehabilitasyon yaklaşımları

- Dredging (Dip Tarama): Kirliliğin fiziksel olarak ortamdan uzaklaştırılmasıdır. Ancak yeniden süspansiyon ve habitat bozulması riski taşır (Palermo ve diğerleri, 1998).

Biyoremediasyon: Mikroorganizmalar yardımıyla organik ve bazı inorganik kirlleticilerin parçalanması sağlanır (Lovley, 2001).

- Kimyasal Stabilizasyon: Fosfat, bentonit, kireç gibi maddelerle kirleticilerin sedimentte sabitlenmesi sağlanır (Tessier ve diğerleri, 1979).

2.1.5. Su ve sediman kalite parametreleri

Ötrifikasyon

Yüzey su kütleleri taşkın koruma, hidroelektrik enerji üretimi, yüzme alanları, balıkçılık, rekreasyon, doğal yaşam alanı sağlama, içme suyu temini, tarımsal ve ekonomik amaçlar gibi çok çeşitli işlevleri yerine getirir (Kazi ve diğerleri, 2009; Saha ve diğerleri, 2021; Varol ve diğerleri, 2012). Ancak özellikle tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan, fosfor ve azot bileşikleri açısından zengin olan büyük miktarda organik madde akışı, bu işlevlerin bozulmasına yol açan ötrofikasyon sürecini tetikleyebilir (Kupiec ve diğerleri, 2021; Su ve diğerleri, 2022; Sun ve diğerleri, 2022). Ötrofikasyon, rezervuarın verimliliğini artırmasına rağmen, siyanobakteriler, diatomlar ve yeşil algler gibi istenmeyen organizmaların aşırı çoğalmasına neden olur ve bu durum su patlamaları şeklinde kendini gösterir (Lürling ve Mucci, 2020; Paerl ve Otten, 2013). Bu organizmalar fotosentez için oksijen tüketir ve biyokütlelerini hızla artırır, böylece su kalitesini ve ekosistem dengesini olumsuz etkiler (Qin ve diğerleri, 2013).

Aşırı alg ve fitoplankton büyümesi, özellikle çözünmüş oksijen ve ışık koşullarında su kalitesinde önemli bozulmalara yol açar. Bu durum rezervuarların temel işlevlerini yerine getirmesini engeller (Ballah ve diğerleri, 2019). Ötrofikasyona uğramış su kütlelerinde, siyanobakterilerin metabolik ürünlerinin suya salınması nedeniyle toksik etkiler ortaya çıkabilir (Glibert, 2017). Yapılan çalışmalar, alg patlamalarını sınırlayan başlıca faktörlerin fosfor ve azot bileşikleri olduğunu göstermiştir. Ancak bu besin maddelerinin sınırlayıcı rolü mevsimsel değişikliklere, coğrafi bölgeye ve su rezervuarlarının özel özelliklerine bağlı olarak farklılık göstermektedir (Huang ve diğerleri, 2019; Mao ve diğerleri, 2015). Genel olarak, ilkbahar döneminde ötrofikasyon sürecinde fosfor sınırlayıcı besin elementi iken,

sıcaklık ve meteorolojik koşulların etkisiyle yaz ve sonbahar aylarında azotun sınırlayıcı faktör olduğu belirlenmiştir (Schindler ve diğerleri, 2008; Xu ve diğerleri, 2010). Su kütlelerindeki fosforun başlıca kaynağı tortulardan salınımıdır (Młynarczyk ve diğerleri, 2013). Azotun önemli bir kısmı ise denitrifikasyon süreçleriyle düzenlenmektedir (Ding ve diğerleri, 2018).

İki binden fazla su kütlesi üzerinde yapılan kapsamlı bir çalışma, bu su kütlelerinin %63,1'inin ötrofik durumda olduğunu ve bu durumun özellikle Doğu Asya, Kuzey Afrika ve Orta Kuzey ve Güneydoğu Kuzey Amerika bölgelerinde yoğunlaştığını buldu (Wang ve diğerleri, 2018). Ötrofikasyon, özellikle tatlı su ekosistemlerinde önemli bir çevre sorunudur ve sıklığı, yoğunluğu ve coğrafi kapsamı her yıl küresel ölçekte artmaktadır (Huang ve diğerleri, 2019). Bu nedenle, dünya genelinde su kütlelerinde gözlenen belirgin ötrofikasyon fenomeni, bilimsel araştırmaların odak noktalarından biri haline gelmiştir. Örneğin; Çin'deki Erhai Gölü ve Üç Boğaz Rezervuarı (Lin ve diğerleri, 2021; Wu ve diğerleri, 2017), İspanya'daki İngiliz Gölü (Nieto ve diğerleri, 2019), Etiyopya'daki Tana Gölü (Ayele ve Atlabachew, 2021), İtalya'daki Cedrina Gölü (Padedda ve diğerleri, 2017), Meksika'daki Cointzio rezervuarı (Doan ve diğerleri, 2015), Yeni Zelanda'daki Taupo Gölü (Payen ve Ledgard, 2017), ABD'deki Erie Gölü (Bullerjahn ve diğerleri, 2016), Paraguay'daki Ypacaraí Gölü (López Moreira ve diğerleri, 2018), Türkiye'deki Keban rezervuarı (Varol, 2020) ve Sri Lanka'daki Anavilundawa (Gunaratne ve diğerleri, 2015) bunlardan bazılarıdır.

İklim değişikliği, kuraklık ve seller gibi hidrolojik aşırı olayların sıklığını artırarak su sıcaklığı ve nem koşullarını değiştiriyor ve bu da ötrofikasyon sürecini yoğunlaştırabiliyor. Özellikle, daha yüksek sıcaklıklar ve sürekli düşük su seviyeleri, organik maddelerin suya hızla taşınmasını kolaylaştırıyor ve ötrofikasyondan sorumlu alglerin gelişimini destekliyor (Hrdinka ve diğerleri, 2012; Puchlik ve diğerleri, 2021; Watanabe ve diğerleri, 2017). Rezervuarlarda meydana gelen ötrofikasyon, algler tarafından üretilen karbondioksit (CO₂) ve metan (CH₄) gibi sera gazlarının atmosfere salınmasını artırarak daha geniş ölçekte hava sıcaklığındaki artışın hızlanmasına katkıda bulunabilir (Benassi ve diğerleri, 2021).

Ötrofikasyon türleri

Doğal ötrofikasyon binlerce yıldır devam eden bir süreçtir ve su kütlelerine besin maddelerinin birikmesi, akışı ve eklenmesi olarak tanımlanır; bu da üretim ve topluluk tiplerinde birincil bileşimsel değişikliklere yol açar (Knight, 2021). Fırtına suları tarafından taşınan besin maddelerinin göller, haliçler ve yavaş akan akarsular gibi alıcı su kütlelerine ulaşması, bu ortamlarda nitrat ve fosfat konsantrasyonlarında artışa yol açar. Böylece genç su kütleleri (genellikle düşük besin konsantrasyonuna sahip oligotrofik su kütleleri) ve eski su kütleleri (genellikle yüksek besin konsantrasyonuna sahip ötrofik su kütleleri) besin maddeleri açısından zenginleşir ve sırasıyla düşük ve yüksek seviyelerde biyolojik aktivite meydana gelir (Sonarghare ve diğerleri, 2020).

Bazı doğal su kütleleri belirli on yıllar boyunca kendi kendini arıtma kapasitelerini kaybetmektedir. Bu durum, su kütlelerinin tortularında taşkın ve akış yoluyla biriken büyük miktarda katıların, nitrat ve fosfat gibi besin elementlerinin ve havzanın dolmasının adsorpsiyon kapasitesinin artmasına yol açmaktadır. Böylece bu tortularda biriken besin maddeleri ile su bitkileri arasında ötrofikasyon sürecini hızlandıran bir etkileşim meydana gelmekte, bu da su kalitesinin daha da bozulmasına ve ötrofikasyonla ilişkili süreçlerin ayrışmasına yol açmaktadır.

Kültürel ötrofikasyon, antropojenik ötrofikasyon olarak da adlandırılır, fosfat ve nitrat gibi besin maddelerinin insan faaliyetleri sonucunda toprak yüzeyinden göller ve nehirler gibi su kütlelerine taşınmasıyla oluşan bir süreçtir. Tarımsal gübre kullanımı, deterjan tüketimi, arıtılmamış kanalizasyon deşarjları ve su ürünleri yetiştiriciliği atıklarının su ortamına salınması gibi antropojenik kaynaklar, su kütlelerindeki besin yükünü önemli ölçüde artırır. Bu besin girdileri, su kütlelerindeki nitrat ve fosfat konsantrasyonlarını suyun kendi kendini temizleme kapasitesinin üzerine sürekli olarak çıkararak kültürel ötrofikasyona neden olur. Sonuç olarak, ötrofikasyonun doğal seviyenin üzerine çıkması, su ekosistemlerinde istenmeyen ve ekolojik dengeyi bozan değişikliklere yol açar (Sonarghare ve diğerleri, 2020; Knight, 2021).

Ötrofikasyonun nedenleri

Mevsimsel yağış ve fırtına olayları, taşkınların oluşumunda ana faktörler olarak kabul edilir ve karasal alanlardan alıcı su kütlelerine ek besin maddelerinin taşınmasında büyük rol oynar. Ayrıca, göllerin doğal yaşlanma süreci, su ekosistemlerinde organik maddenin birikmesine ve tortulaşmasına yol açar ve bu da siyanobakteri çiçeklenmeleri olan fitoplanktonların yüksek büyüme oranlarını destekler.

İnsan nüfusunun tarımsal üretimde nitrat ve fosfatlı gübrelere aşırı bağımlılığı, su kütlelerinin tarım alanlarından yüzey akışı yoluyla besin maddeleriyle zenginleşmesine neden olmuştur (Knight, 2021; Zhang, 2022; Yang, 2022). Bu durum, tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan nitrat ve fosfatların birikiminin ötrofikasyon sürecinin ana faktörü haline gelmesine yol açmaktadır. Tarımsal akışla taşınan nitrat ve fosfatlı gübrelerin, özellikle sümbül gibi türler olmak üzere su bitkilerinin yoğun şekilde çoğalmasına ve yosun patlamalarına neden olduğu bildirilmektedir (Knight, 2021; Qi ve diğerleri, 2022). Ayrıca, hayvan yemi ve hayvan gübrelerinin tarım alanlarından yüzey akışıyla taşınması, fosfor madenciliği ve nitratlı gübrenin endüstriyel üretimi, su kütlelerindeki besin maddelerinin seviyelerinin artmasına katkıda bulunarak ötrofikasyonun hızlanmasına yol açmaktadır. Bu süreçler, su ekosistemlerindeki besin maddesi yükünün artmasıyla ekolojik dengenin bozulmasına yol açmaktadır.

Su ürünleri yetiştiriciliği ve yoğunlaştırılmış hayvan yemi üretiminden kaynaklanan atık suların, çevreye deşarj edilen atık sularda nitrat ve fosfat oluşumuna önemli katkılarda bulunduğu belirtilmektedir. Bu atık sularda nitrat ve fosfat bulunan yoğunlaştırılmış hayvan yemleri ile organik gübre olarak kullanılan hayvan dışkılarındaki besin maddeleri, yağmurlar sırasında seller yoluyla su kütlelerine taşınan besin maddelerinin birincil kaynakları olarak kabul edilmektedir (Knight, 2021). Ayrıca, yoğunlaştırılmış hayvan yemi endüstriyel üretiminden kaynaklanan atık suların doğrudan su ortamına deşarj edilmesi, su kütlelerinde ötrofikasyon sürecinin hızlanmasına ve buna bağlı ekolojik sorunların ortaya çıkmasına önemli katkılarda bulunmaktadır. Bu durum, su ürünleri yetiştiriciliği ve hayvan yemi üretiminden kaynaklanan atık yönetiminin çevresel etkilerinin dikkate alınması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Ötrofikasyonun sonuçları

Ötrofikasyonun sonuçları, su bitkilerinde (yeşil algler, diatomlar ve siyanobakteriler gibi fitoplankton grupları, mavi-yeşil algler olarak da adlandırılır) biyokütle üretiminin artmasıyla başlayarak, su kütlelerinin içme suyu temini, rekreasyonel faaliyetler ve su ekosistemlerinin sürdürülebilirliği için uygunsuz şekilde kullanılmasına ve toksik etkilerle zehirlenmelere kadar geniş bir yelpazede ortaya çıkmaktadır (Costa ve diğerleri, 2018).

Ötrofikasyon süreci suyun yeşilimsi bir renk tonuyla bulanıklaşmasına neden olur, güneş ışığının su sütununa nüfuz etmesini azaltır, bu da su altı su bitkilerinin fotosentez oranında bir azalmaya yol açar. Ek olarak, alglerin ölümü ve ayrışması sonucu organik madde miktarındaki artış, su ortamındaki çözünmüş oksijen seviyelerinde bir azalmaya yol açar ve bu oksijen eksikliği, su kütlelerinin yüzey altı alanlarında yaşayan su organizmalarının ölümüne yol açar (Sonarghare ve diğerleri, 2020; Rathore ve diğerleri, 2016; Kim ve diğerleri, 2020; Hwang, 2020).

Ötrofik su kütlelerinin temel özelliği, toksin üretimine yol açan siyanobakterilerin (mavi-yeşil algler) baskın hale gelmesiyle su ekosisteminde ölü bölgelerin oluşmasıdır (Rathore ve diğerleri, 2016). Ötrofikasyonun neden olduğu alg patlamaları ve hipoksi koşulları, su canlılarının biyolojik çeşitliliğinde ciddi kayıplara neden olur. Alg patlamaları, alglerin renklerine bağlı olarak bazen "kırmızı" veya "kahverengi gelgitler" olarak adlandırılır ve kırmızı gelgitlerden sorumlu organizmalar siyanobakterilerdir. Ayrıca siyanobakterilerin kötü tat ve insan ve yaban hayatı sağlığı için potansiyel tehlike oluşturan toksinler gibi zararlı bileşikler ürettiği bilinmektedir. Bu durum, ötrofikasyonun ekosistem sağlığı ve su kalitesi üzerindeki olumsuz etkilerini artırır (Sonarghare ve diğerleri, 2020; Rathore ve diğerleri, 2016; Park ve diğerleri, 2020; Hwang, 2020; Le Moal ve diğerleri, 2019; Wan ve diğerleri, 2020).

Alg patlamalarından kaynaklanan düşük çözünmüş oksijen seviyeleri balık popülasyonlarında azalmaya neden olur, bu da deniz aslanları ve balıkçılar gibi su kuşları gibi memeliler için önemli besin kaynaklarının kaybına yol açar. Sonuç olarak, besin zincirinde balığa bağımlı olan kıyı kuşlarının ve deniz memelilerinin hayatta kalma şansları azalır ve bu türlerin ölüm oranlarında artış olur (Sonarghare ve diğerleri, 2020; Kim ve diğerleri, 2020). Ayrıca, aşırı yosun birikiminin sulama sistemlerinde, su borularında ve türbinlerde tıkanıklıklara yol açtığı, su kütlelerinin işlevselliğini olumsuz yönde etkilediği,

bunun da ulaşım ve elektrik üretiminde aksaklıklara yol açtığı bildirilmiştir. Ayrıca, ötrofikasyon süreci, deniz çayırı yatakları gibi bentik bitki topluluklarının fotosentez için ihtiyaç duyduğu güneş ışığının su sütununa nüfuz etmesini önleyerek zamanla deniz çayırı yataklarının yok olmasına neden olur (Sonarghare ve diğerleri, 2020; Kim ve diğerleri, 2020; Almanassra ve diğerleri, 2021).

Ağır metaller

Dünya genelinde su ve tortu kalitesindeki bozulmanın başlıca nedenleri arasında, artan insan nüfusu ve ekonomik gelişmeye bağlı olarak besin maddelerinin artması, bunun sonucunda sucul ortamlarda ötrofikasyon ve ağır metal kirliliğinin oluşması yer almaktadır (Krishna ve diğerleri, 2009; Li ve diğerleri, 2008; Venkatramanan ve diğerleri, 2012, 2015). Volkanik aktiviteler, kaya erozyonu, atmosferik kirlilik ve bitkisel kaynaklar ağır metallerin doğal kaynakları arasında yer almasına rağmen, özellikle madencilik ve mineral işleme süreçleri olmak üzere antropojenik aktiviteler ağır metallerin biyojeokimyasal döngüleri üzerinde baskın bir etkiye sahiptir (Hongyi ve diğerleri, 2009; Nriagu, 1989). Ağır metal kirliliği besin zinciri ve biyolojik çeşitlilik üzerinde olumsuz etkilere sahiptir, ciddi insan sağlığı sorunlarına neden olur ve çevre kalitesini önemli ölçüde azaltır. Son araştırmalar ağır metal kirliliğinin mekansal dağılımının jeolojik ana materyallerin ve antropojenik kaynakların coğrafi heterojenliğini yansıttığını göstermektedir. Bu bağlamda ağır metallerin çevresel yayılımının ve etkilerinin değerlendirilmesi sürdürülebilir çevre yönetimi için kritik öneme sahiptir.

Sanayileşme ve plansız kentleşme, doğal çevrenin yapısında önemli değişikliklere yol açmıştır. Günümüzde endüstriyel faaliyetlerden, tarımsal uygulamalardan ve kentsel atıklardan kaynaklanan kirleticilerin salınımı çevre sorunlarını daha da kötüleştirmiş olup, bu durum insan sağlığı ve yaşam kalitesi için ciddi tehditler oluşturmaktadır. Atık sular nehirler, kanallar ve yüzey akarsuları yoluyla yüzey su kütlelerine ulaşmakta ve bu su kütlelerinde kirleticileri biriktirmektedir. Bu süreçte yüzey sedimanları da kirlenmekte ve ağır metal birikimi gibi çevresel riskler ortaya çıkmaktadır. Sedimanlardaki ağır metal kirliliği, kontaminasyon faktörü (CF), jeo-birikim indeksi (I_{geo}) ve kirlilik yükü indeksi (PLI) gibi parametreler kullanılarak değerlendirilmekte ve bu yöntemler nehir ve deniz sedimanlarında yaygın olarak uygulanmaktadır. Bu endeksler, kirlilik düzeyinin nicel olarak belirlenmesini ve çevresel risklerin analizini mümkün kılmaktadır (Buccolieri ve diğerleri, 2006).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı

Kavşakkaya barajı Ankara ili Çubuk ilçesine 30 km uzaklıkta Özlüce mahallesi sınırlarında bulunmaktadır (Resim 3.1).



Resim 3.1. Kavşakkaya barajı

Barajda yapılan tüm çalışmalar ASKİ Genel Müdürlüğü Barajlar ve Ana İsale Hatları Dairesi Başkanlığı ile Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı destekleri ile yapılmıştır. Baraj rusubat birikim ölçümleri için yapılan haritalandırma çalışmaları barajın kış döneminde yapılmıştır.

Su kalitesi ve sediment kalitesi ölçümleri ve kimyasal analizleri ise dört dönem boyunca izlenmiştir. Su kalitesi parametreleri ölçülürken bazı mikrokirletici parametreleri de ölçümlenmiştir.

3.2. Arazi Çalışmaları

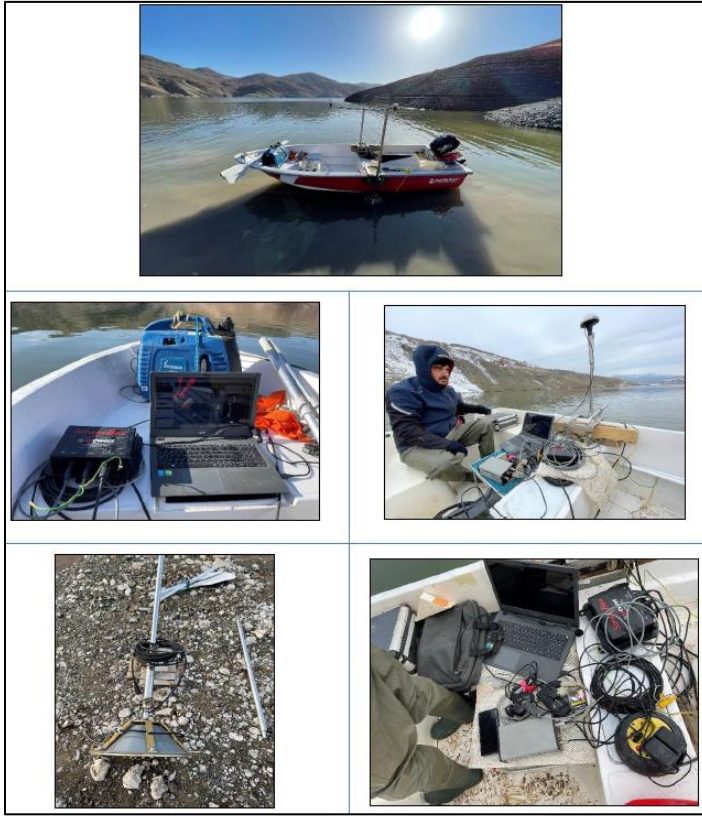
Arazi çalışmaları süresince arazide drone ve tekne ile ölçümler yapılmıştır. Kavşakkaya Barajı eksen yeri gerek topoğrafik durumu ve gerekse göl hacmi ile su potansiyeli yönünden uygun görülmüştür. Kavşakkaya Barajının, Ankara'nın 400 000 nüfuslu bir bölümünün içme-kullanma ve endüstri suyu ihtiyacını karşılaması planlanmıştır.

Kavşakkaya Barajı ve Derivasyonunun genel özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kavşakkaya barajı özellikleri

YAPI	ÖZELLİKLER	
BARAJ	Tipi Talveg Konu Talvegten Yüksekliği Kret Kotu Kret Uzunluğu Kret Genişliği Gövde Hacmi Maksimum Su Seviyesi Minimum İşletme Seviyesi Maksimum Göl Hacmi Minimum Göl Hacmi Aktif Göl Hacmi	Kıl çekirdekli kaya dolgu 1054,00 m 70,00 m 1124,00 m 576,00 m 10 m 4 731 140 m ³ 1120,00 m 1072,00 m 82,25 hm ³ 5,22 hm ³ 77,03 hm ³
ÇEVİRME TÜNELİ	Yeri Uzunluğu İç Çapı Proje Kapasitesi Q ₂₅	Sol yaka 437,00 m 3,0 m 111 m ³ / sec.
DOLUSAVAK	Yeri Tipi Dolusavak Kret Kotu Yaklaşım Kanalı Kotu Kret Genişliği	Sağ yakada, gövde yanında Yandan alışı 1120,00 m 1116,00 m 40 m
İSALE HATTI	Yeri Uzunluğu Tipi Çapı	Sağ yaka 24 062 m Beton kaplı çelik boru; gömülü 1 300 mm

Çalışma esnasında sığ sismik ölçümleri ve fotogrametrik ölçümler yapılmıştır (Resim 3.2, Resim 3.3, Resim 3.4).



Resim 3.2. Sığ sismik ölçümleri



Resim 3.3. Fotogrametri ölçümleri

Çalışma esnasında tüm veriler WGS 84 datumunda ve TM 33 projeksiyonunda toplanmıştır. Tüm haritalar ve 3 Boyutlu modeller aynı jeodezik parametrelerle oluşturulmuştur. Çok bimli İskandil ve Sığ Sismik ölçümlerinde hassas konumlandırma ve teknenin doğrultusunu (cayro-CBI) belirlemek amacı ile Hemisphere Vector VS330 GPS sistemi kullanılmıştır. Ayrıca yatay kontrol noktası olarak HGK ve TKGM tarafından işletilen TUSAGA aktif (Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı-Aktif) / CORS-TR kullanılmıştır.



Resim 3.4. HemisphereVector VS330

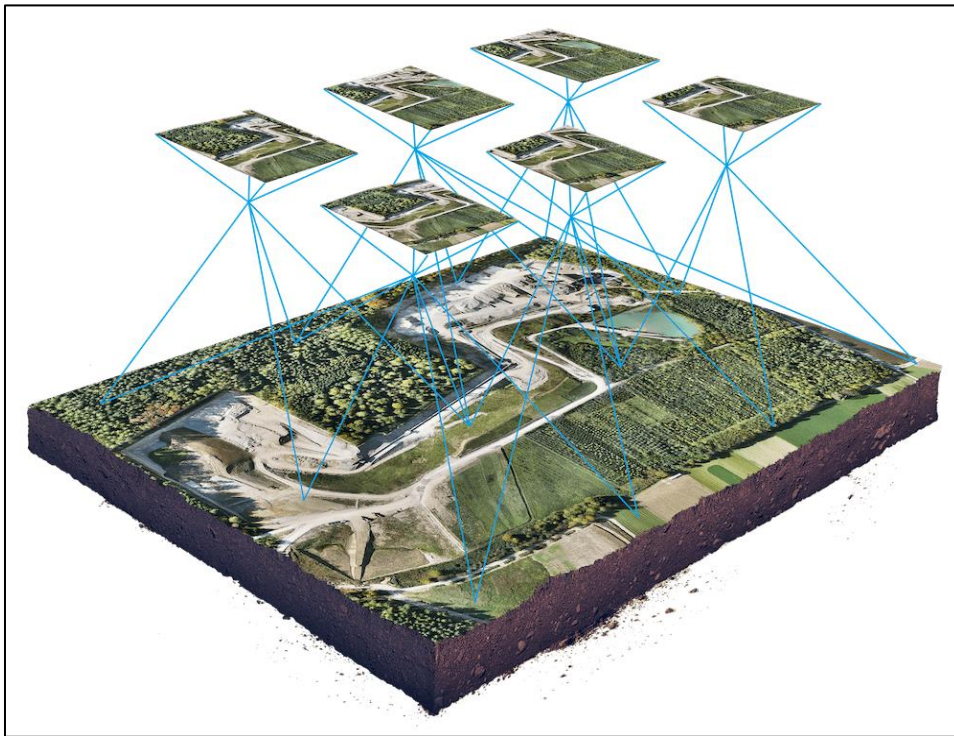
ÇBİ ölçümlerinde teknenin Roll (yalpa), pitch (bat-çık) ve heave (düşey yönde yükseklik değişimi) hareketlerindeki değişimi hesaplamak için CDL Minisense3 hareket sensörü kullanılmıştır. Bu sensör Çok Bimli İskandil ile entegre bir sistem olup konumlandırma verilerini senkronize bir şekilde toplayarak zamanlama hatalarını elemine edilmiştir.

3.3. Deneysel Çalışmalar

Kavşakkaya Barajı tez çalışma sahasında DJI MATRICE 300RTK insansız hava aracı ile fotogrametrik yöntem kullanılarak halihazır ortofoto ve nokta bulutu üretimi amaçlanmıştır. Çalışmalar boyunca yüksek hassasiyetli konum bilgisi elde edebilmek amacıyla yatay kontrol noktası olarak HGK ve TKGM tarafından işletilen TUSAGA Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı Aktif) / CORS-TR kullanılmıştır. Saha genelinde 9 adet yer kontrol noktası (Çizelge 3.2) hesaplamaya dahil edilmiştir. Uçuş yaklaşık 400m yükseklikten yapılarak 5 GSD'lik fotoğraflar çekilmiştir (Resim 3.5).

Çizelge 3.2. Yer kontrol noktaları koordinat bilgileri

Nokta Adı	X	Y	Kot
YKN-1	493574.600	4463804.620	1207.030
YKN-2	494393.750	4463512.340	1125.300
YKN-3	493443.500	4467513.820	1138.650
YKN-4	493821.350	4468394.630	1123.740
YKN-5	494146.050	4469014.630	1121.610
YKN-6	493900.440	4469215.910	1122.020
YKN-7	493805.480	4466520.600	1090.820
YKN-8	493690.410	4466542.710	1091.360
YKN-9	494131.160	4465674.900	1150.740



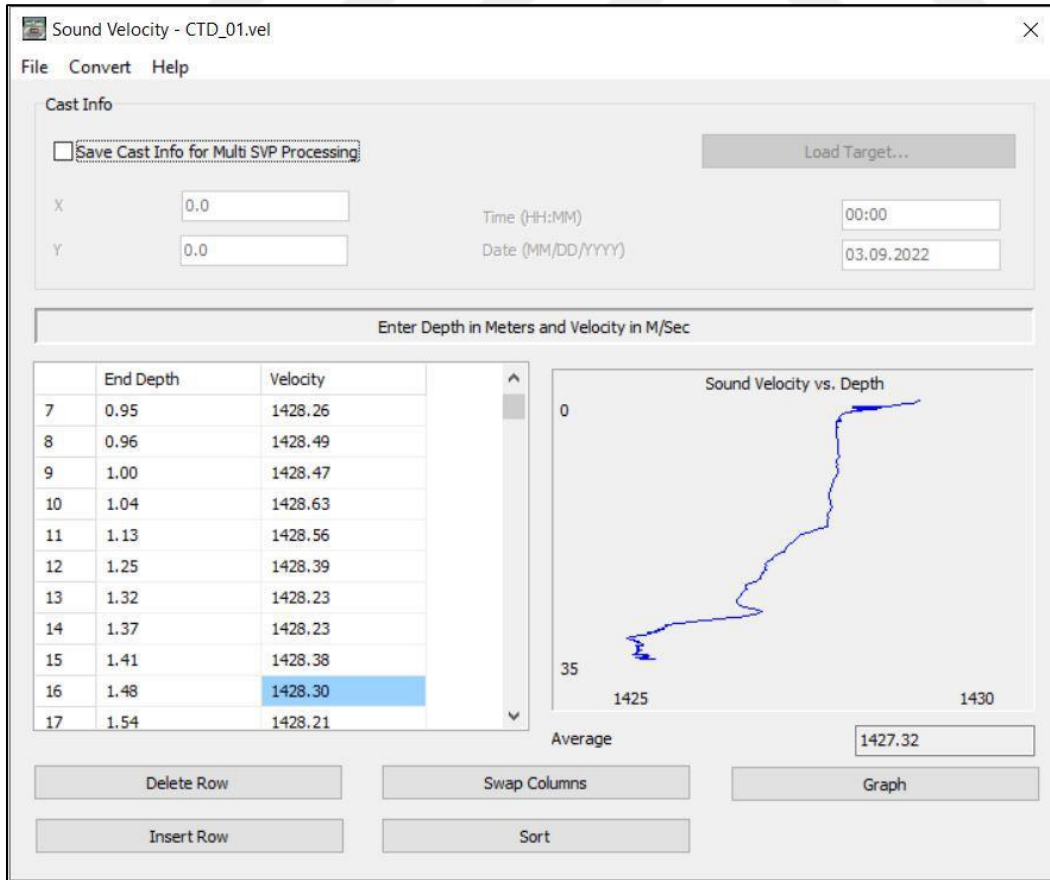
Resim 3.5. Fotogrametrik yöntem ile fotoğraf çekim metodu

Kavşakkaya Baraj Gölü çalışmaları boyunca yüksek hassasiyetli konum bilgisi elde edebilmek amacıyla yatay kontrol noktası olarak HGM ve TKGM tarafından işletilen TUSAGA Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı Aktif) / CORS-TR kullanılmıştır.

Yüksek çözünürlüklü hidrografik ölçümler boyunca su seviyesinin değişimlerinin izlenerek tez çalışmasında belirlenen düşey kontrol noktasına (datuma) (TUDKA Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı) bağlanması gereklidir. Çalışmanın tüm aşamalarında baraj gölü su seviyesi değişimleri kaydedilmiş ve toplanan tüm verilere su seviyesi düzeltilmesi

uygulanarak elde edilen tüm derinlik değerleri TUDKA datumuna bağlanmıştır. Gün içerisindeki su seviyesi değişimi çok fazla gözlemlenmemekle birlikte farklı günlerde yağış sebebi ile su seviyesi yükselmeleri gözlemlenmiştir.

Çok Bimli İskandil (ÇBİ) ölçüm sistemleri akustik yöntemleri temel olarak çalışmaktadırlar. Bu nedenle ölçüme başlanmadan önce ve ölçüm boyunca sesin su içerisindeki hızının sisteme tanıtılması gerekli en önemli parametrelerden biridir. Ses hızı ölçümleri iletkenlik, sıcaklık ve derinliği (CTD) cihazı kullanılarak tüm su kolonuna boyunca, her ölçüm öncesinde yapılmış ve profil olarak elde edilen değerler ölçüm cihazına girilmiştir. Ayrıca ölçüm esnasında yüzey ses hızının belirlenmesi amacı ile ÇBİ iskandil ekipmanına entegre olarak ses hızı ölçer cihazı bulunmaktadır. Ses hızı ölçümü ve düzeltilmesi ÇBİ sistemleri için büyük önem taşımaktadır. Bundan dolayı çalışma esnasında hem su kolonu boyunca alınan CTD profili hem de gerçek zamanlı ses hızı sensörünün ölçüm değerleri kullanılmıştır. Gerçek zamanlı ve profil olarak toplanan ses hızı grafiklerinin hidrografik yazılıma girdi olarak oluşturulduğu veri seti Şekil 3.1’de sunulmuştur.



Şekil 3.1. Ses hızı profili

Çok Bimli İskandil (ÇBİ) cihazının aldığı ölçümün doğruluğunu tespit etmek amacıyla metrajlanmış bir halat ucuna Bar Check Levhası bağlanmıştır ve transduserin hizasında suya indirilmiştir. Levhanın indirildiği derinlik ile ÇBİ ile ölçülen derinlik değerinin uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

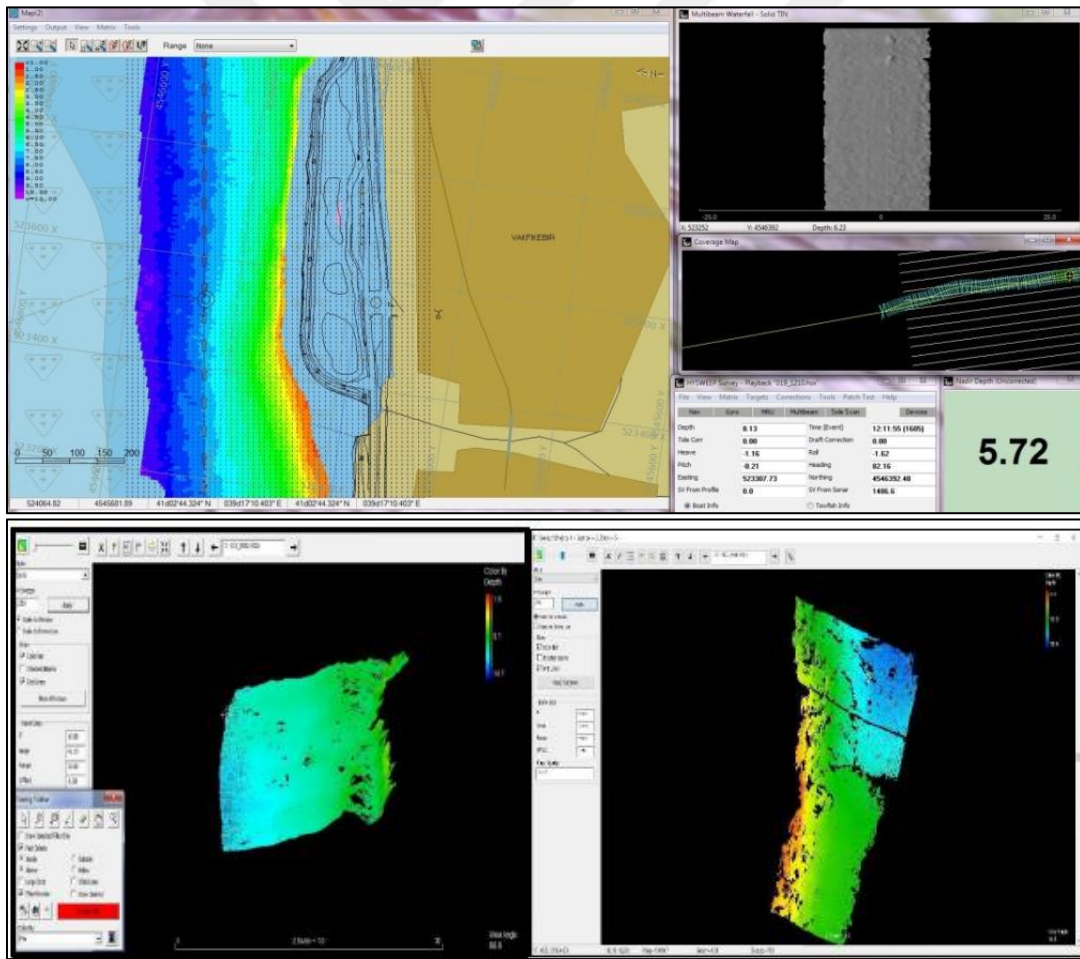
Elektromanyetik dalgalar havada ve boşlukta mükemmel yayılım göstermesine rağmen, sıvıların içerisine penetrasyonu ve sıvı ortamdaki yayılımı çok düşüktür. Buna rağmen akustik dalgaların daha elastik ortamlarda yüksek penetrasyon ve yayılım göstermesinden dolayı birçok derinlik ölçüm sisteminde ses dalgaları kullanılmaktadır. Akustik ölçümler sesin suda yayılması prensibinden yararlanılarak yapılır. Ses dalgasını su tabanına doğru gönderen iskandil aleti, tabandan geri yansıyan ses dalgasının gidiş ve dönüşü arasındaki zaman farkını hesaplayarak derinlik verisini hesaplar ve yatay konumlandırma verisi ile ilişkilendirip kaydeder. Gerçek derinlik, transdüserin üzerinde bulunan su yüksekliği (alet draftı) hesaba katılarak hesaplanır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Akustik derinlik ölçümü şematik gösterimi

Hidrografik çalışmalarda, tez çalışma sahasında belirlenen hatlar üzerinde tekne hızı 3-4 knot aralığında kalacak şekilde, teknenin hat üzerinde düzgün bir biçimde ilerlemesine özen gösterilerek seyir gerçekleştirilmiştir. Seyir boyunca bu tez çalışmada göl tabanını görüntülemek için yüksek çözünürlüklü IMAGENEX DT101 Çok Bimli İskandil Sistemi kullanılmıştır. Bu cihaz, 240 kHz olup 120° iskandil açısı ve 480 beam (ışın) özelliği ile oldukça yüksek çözünürlükte veri toplanmıştır.

Veri toplama ve veri işleme işlemleri aynı yazılım ile yapılmıştır. Survey teknesi çalışma hatları üzerinde teknenin kaptanının marifeti ile seyretmiştir. 3 boyutlu ve 2 boyutlu haritaların oluşturulması için kullanılan veri gerçek zamanlı olarak kaydedilmiştir ve survey ekranından takip edilmiştir (Resim 3.6). Ham veri olarak toplanan veriler ‘spike’ adı verilen gürültülerden temizlenmiştir. Verilere su seviyesi ve ses hızı işlenerek son haline getirilmiştir. Üretilen haritalar işlenmiş bu verilerden oluşturulmuştur. Toplanan derinlik verilerinin gerçek harita datumuna (TUDKA) indirgenebilmesi için hidrografik ölçümlerle eş zamanlı olarak kaydedilen su seviyesi değişimleri derinlik verilerine hidrografik yazılım kullanılarak uygulanır ve haritanın hazırlanmasında kullanılacak nihai derinlik değerleri (XYZ) elde edilir. Bu tez çalışmasında toplanan verilerin görsellenmesi için Fledermaus 3D programı kullanılmıştır. Program üzerinden her türlü mesafe ölçümleri alınabilmekle beraber, 3 boyut olarak harita üzerinde görselleme sağlanabilmektedir.



Resim 3.6. Survey ve veri işlem ekranları

Toplanan derinlik verilerinin gerçek harita datumuna (TUDKA) indirgenebilmesi için hidrografik ölçümlerle eş zamanlı olarak kaydedilen su seviyesi değişimleri derinlik verilerine hidrografik yazılım kullanılarak uygulanır ve haritanın hazırlanmasında kullanılacak nihai derinlik değerleri (XYZ) elde edilir. Bu çalışmada toplanan verilerin görsellenmesi için Fledermaus 3D programı kullanılmıştır. Program üzerinden her türlü mesafe ölçümleri alınabilmekle beraber, 3 boyut olarak harita üzerinde görselleme sağlanabilmektedir (Şekil 3.7).

Sismik ölçümler, üretilen düşük frekanslı bir ses dalgasının tabaka sınırlarından yansıyıp gelmesiyle elde edilen kayıtların yorumlanmasına dayanmaktadır. Çalışma sahası taban ve tabanaltı stratigrafisinin belirlenmesi amacıyla inceleme alanında sığ sismik veri toplayabilen Syqwest firmasının ürettiği Stratabox marka Sub-bottom Profiler (SBP) sistemi kullanılmıştır (Şekil 3.8). Sisteme ait 10 kHz frekans ile çalışan transducer, çalışma teknesine yandan monte edilerek göl tabanına ses sinyalleri gönderilmiştir (Şekil 3.10). Taban ve taban altından yansıyarak gelen sinyaller, küresel konumlandırma sisteminden eşzamanlı olarak gelen konum verisiyle sisteme ait veri toplama yazılımında görüntülenerek dijital olarak kaydedilmiştir.

SBP Sisteminin Bazı Özellikleri:

- Derinlik Hassasiyeti: +/- %0,5
- Çözünürlük: 6 cm (40 metre penetrasyona kadar)
- SEG-Y Veri Çıkışı



Resim 3.7. Stratabox SBP sistemi prosesor ve 10 Khz transducer ile montaj şekli



4.2. Derinlik Ölçümleri

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen harita alım çalışmaları ile belirlenen alanın batimetri haritası çıkarılmıştır. Burada hazırlanan haritalar ve görseller üzerinden incelemeler yapılmıştır.

Batimetrik çalışmalarının ardından yapılan veri işlem çalışmaları sonucunda elde edilen XYZ verileri fotogrametrik çalışmaların sonuçları ile birleştirilerek oluşturulmuştur. Kavşakkaya Barajı için hacim hesaplamaları gerçekleştirilmiş ve baraj rezervuarının mevcut durumu yüksek hassasiyet ve çözünürlükte elde edilmiştir. Baraj hacim hesapları “Minimum Taban Kotu – Kret Kotu” arasında “1 cm” düşey hassasiyetle yapılmıştır.

Kavşakkaya Baraj rezervuarının güncel verileri, ASKİ tarafından sağlanan 2007 (yapım bilgisi) ve 2024-2025 yılında gerçekleştirilen çalışmalara ait verilerle karşılaştırılmış ve bu sayede değişimler gözlenmiştir. Karşılaştırma sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir.

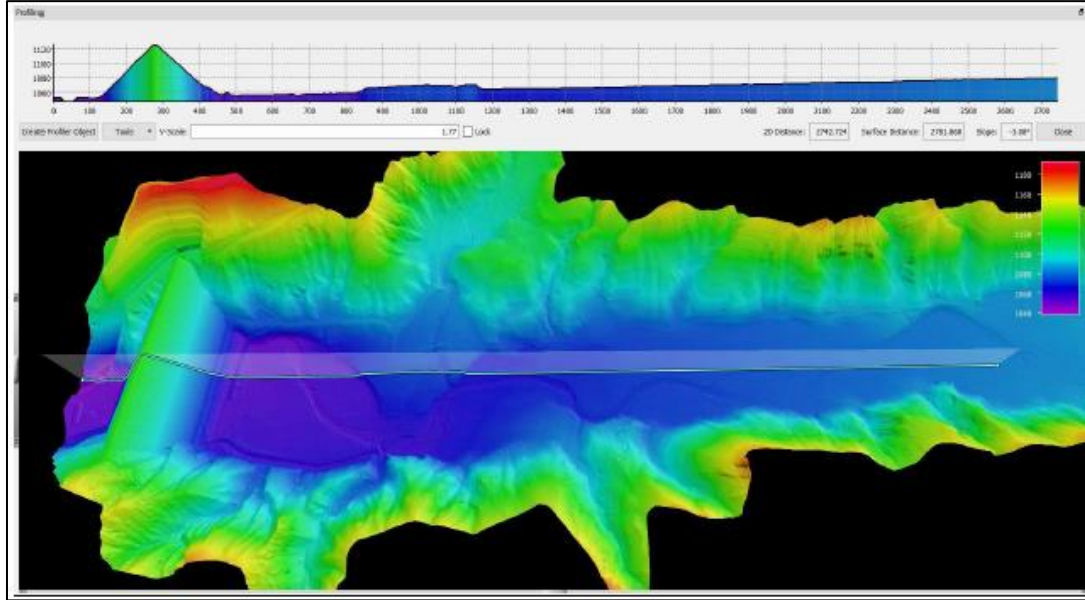
Çizelge 4.1. Kavşakkaya baraj gölü mevcut durumu ve öncül veriler karşılaştırması

Kavşakkaya Baraj Bilgileri	Güncel Çalışma Sonuçları	İdare Tarafından Sağlanan Bilgiler
Kret Kato (m)	1124,50	1124,00
Minimum Taban Kotu (m)	1054,42	1055,00
Maksimum İşletme Kotu (m)	1120,00	1120,00
Maksimum İşletme Kotunda Hacim (m ³)	77597490,00	80835000,00
Minimum İşletme Kotu (Su alma yapısı) (m)	1072,00	1072,00
Minimum İşletme Kotunda Hacim	3436256,90	4693200,00
Minimum İşletme Kotunda Doluluk Oranı (m ³)	4,43%	5,81%

Baraj gölü için maksimum işletme kotunda göl hacminin 77 597 490 m³ olduğu, minimum işletme kotu olan 1 072 metrede ise 3436256,90 m³ su hacmi olduğu tespit edilmiş, kullanılabilir su hacminin ise 74161233,10 m³ olduğu hesaplanmıştır.

Gerçekleştirilen bu çalışma öncesinde ASKİ’de bulunan değerlerde; maksimum işletme kotu için göl hacminde 3237510,00 m³, minimum işletme kotu için göl hacminde 1256943,10 m³, kullanılabilir su hacminde ise 1980566,90 m³ kayıp olduğu belirlenmiştir. Hesaplamalar neticesinde; rezervuar içine taşınan malzemenin çökmesiyle oluşan yeni verilerin ASKİ

tarafından sağlanan verilerle kıyaslanması sonucuna bağlı olarak, eski verilerin geçmiş yıllarda düşük çözünürlükte elde edilmesinden kaynaklandığı görülmüştür.



Resim 4.2. Üç Boyutlu profil görüntüsü örneği

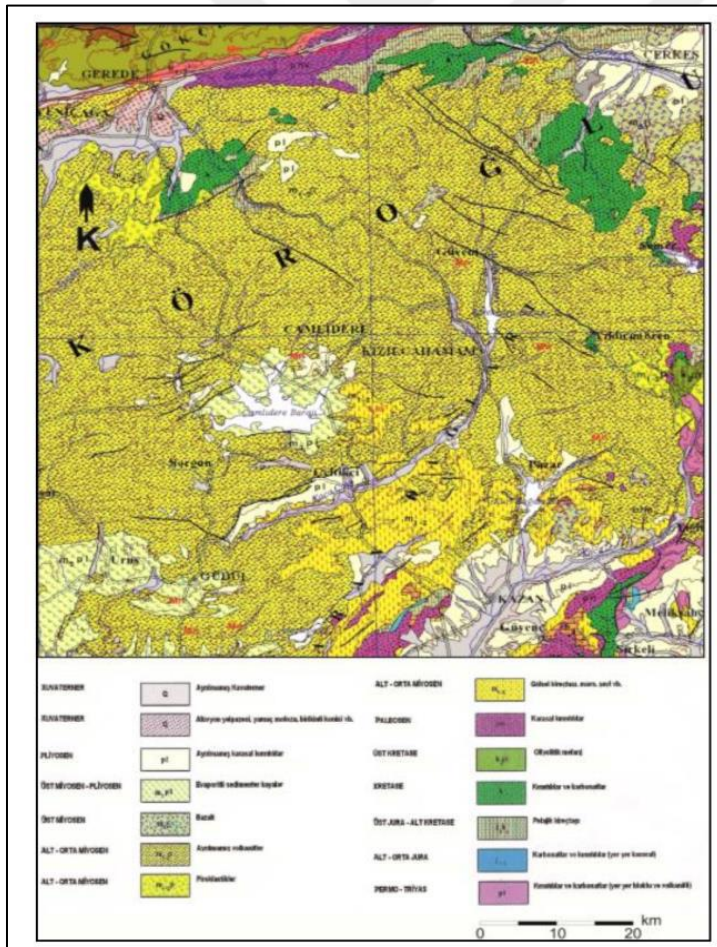
Çalışma alanı olan Kavşakkaya Barajı, Ankara il sınırları içinde kalan alanlar Torid Anatolit Platformu ve Kırşehir Bloku üzerinde olup farklı jeolojik özelliklere sahip kayalardan oluşmaktadır. En yaşlı birimler, derinleşen bir denize ait çökellerin bugüne gelen izleri olan Triyas yaşlı metamorfiklerdir.

Kıta şevinden kopan daha yaşlı (Karbonifer-Permien) kayaç blokları çökeline eşlik etmiştir. Okyanusun, Paleotetisin, kapanması sonucu su üstüne çıkan bu kayalar Liyasta açılmaya başlayan yeni bir okyanusun, Neotetis, çökelleri ile örtülmeye başlamıştır. Aynı dönemdeki volkanik aktivite ürünü kayaçlar (aglomera, tuf, bazalt) gelişmeye başlamaktadır. Kretase'den itibaren bölgede etkin olan sıkışma sonucu Neotetisin malzemesi kıta kabuğu üzerinde çıkarak Eldivan Ofiyolit topluluğu ve Dereköy Ofiyolitli Melanjı olarak adlandırılan kayaç karmaşıkları meydana gelmiştir.

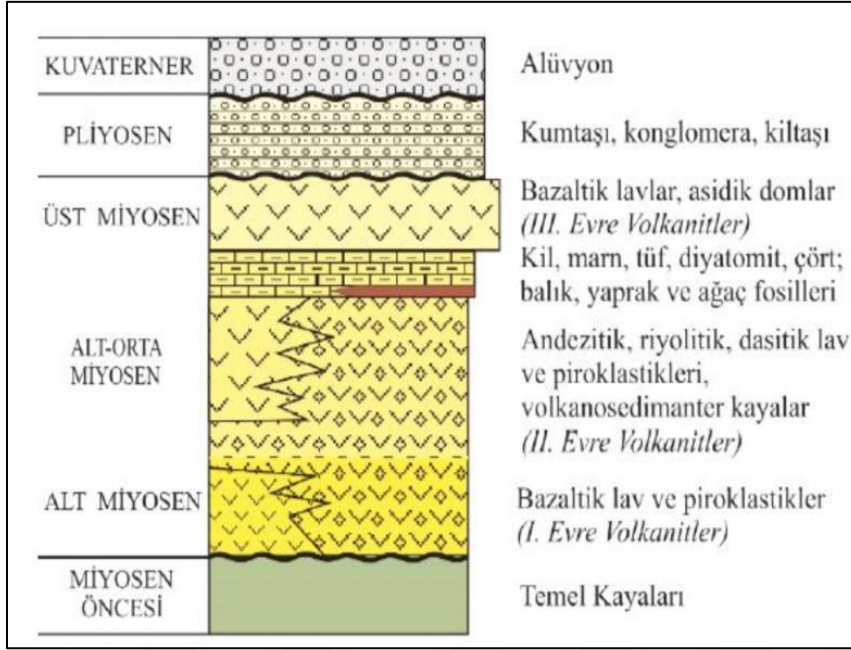
Tektonik aktiviteler sonucu Üst Kretase'den itibaren başlayan derinleşme ile derin deniz kayaçları türbiditler çökelmeye başlamıştır. Paleosen'de önemli bir granitik magma sokulumu yaşanmıştır. Esosen döneminde karasallaşma başlamış ve hem denizel hemde karasal ortamlarda kayaçlar oluşmuştur. Oligosen'de ise evaporitik göllerde jipsler

çökelmıştır. Miyosen döneminde tektonik etkiler önemli volkanik aktiviteleri tetiklemiş ve andezit, tuf, aglomera oluşumları geniş alanları kaplamıştır. En genç volkanik aktivite pliyosen yaşlı Bozdağ bazaltıdır. Pliyosen sonlarında volkanik aktivite durmuştur. Ankara ilindeki en genç jeolojik oluşumlar ise eski ve güncel alüvyonlardır.

Tez çalışmasahasının bulunduğu bölgenin kayaçlarını ve yer şekillerini 23-5 milyon yıllar arasında (Miyosen) gelişen volkanizma ve bunun değişik ürünleri olan volkan konileri, kalderalar, dayklar gibi morfolojik unsurlar oluşturmaktadır. Alanda volkanizmanın oluşturduğu lav akmaları, tuf, aglomera gibi piroklastikler ve bunlarla eş zamanlı ayrı çökelimler ve göl oluşumları söz konusudur. Gölsel çökeller ve proklastiklerin ardışıklı depolanması değişik görünümlü yer şekillerinin oluşumuna olanak sağlamıştır (Kazancı, 2007: 61). Tez çalışma sahası ve çevresinin sadeleştirilmiş jeoloji haritası Şekil 4.1’de, stratigrafik kesit ise Şekil 4.2’de verilmiştir.



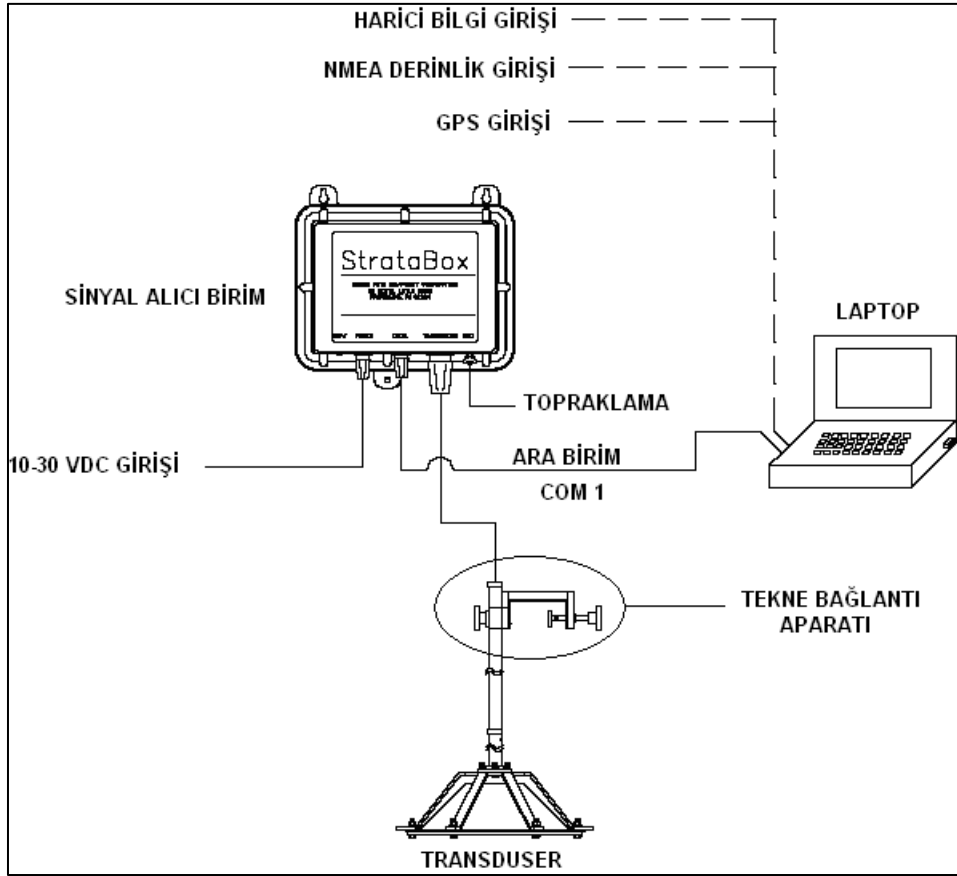
Şekil 4.1. Tez çalışma sahası ve çevresinin genel jeoloji haritası



Şekil 4.2. Tez çalışma sahası ve çevresinde gözlenen stratigrafik birimler

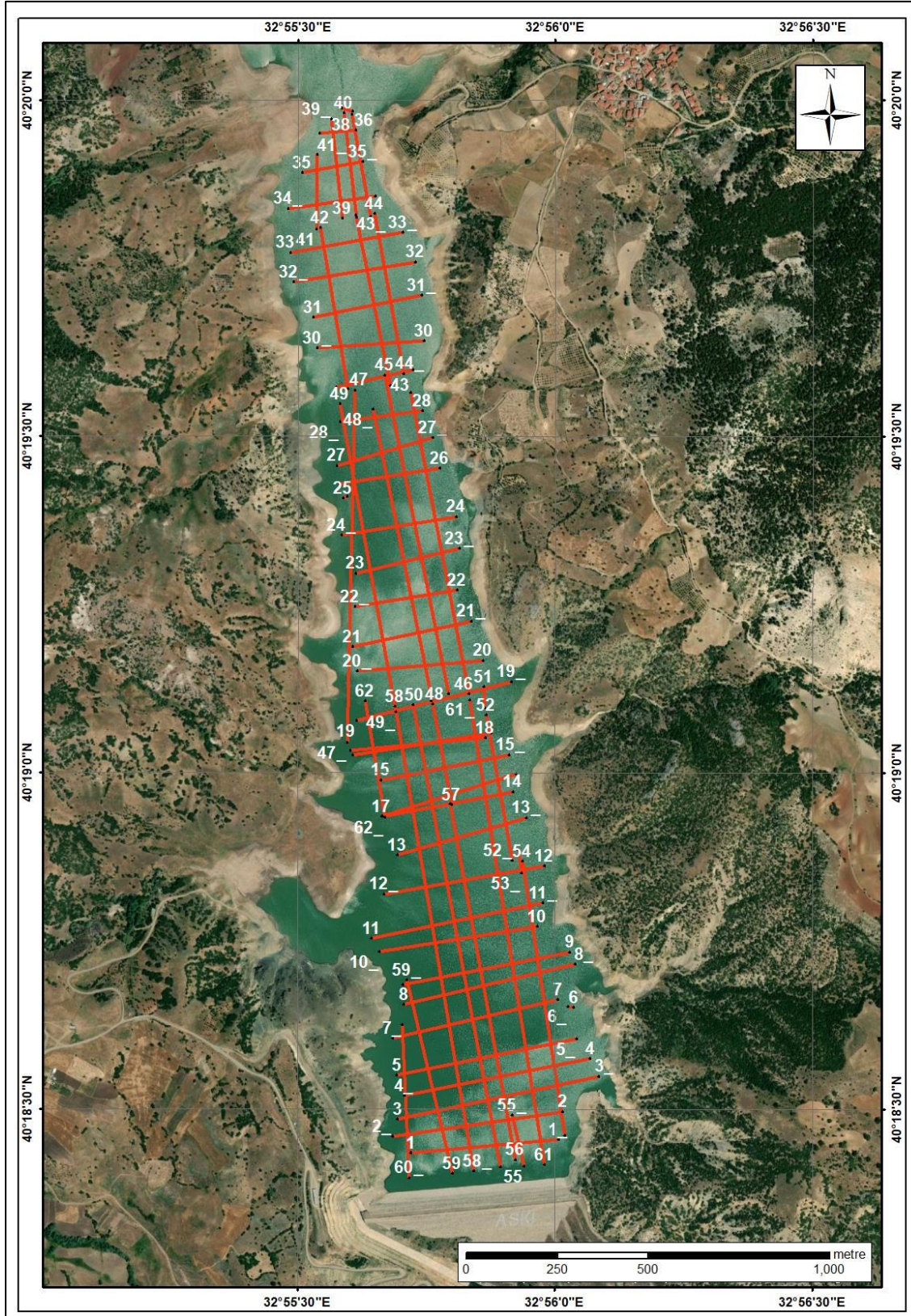
Tez çalışmasahası taban ve tabanaltı stratigrafik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla SBP cihazı kullanılmıştır. Sismik veri toplamada kullanılan bu sisteminin çalışma frekansı 10 kHz olup, verinin görüntülenmesi ve kaydedilmesi yazılım programı ile gerçekleştirilmiştir.

Sistem transduser (alıcı ve verici), enerji kaynağı ve sinyal işlemci sensörünü içinde bulunduran birim ve transduseri ölçüm teknesine monte etmeye yarayan bağlantı birimi, laptop (sismik ve konumlandırma verisi toplama ve işleme yazılımı) ve bağlantı kablolarından oluşmaktadır (Şekil 4.3). Sismik veri toplanmasında en önemli görevlerden birini gören transducer hem ses kaynağı hem de algılayıcı olarak 10 kHz frekansa sahip ses sinyallerini üretmekte ve yansıyan ses sinyallerini algılamaktadır.



Şekil 4.3. Sismik veri toplamada kullanılan sismik sistem konfigürasyonu

Sismik ölçümler öncesinde inceleme alanında yapılan deneme ölçümleri ile Gain, TVG, Range, vb. parametreler için en uygun ayarlar belirlenmiş ve en iyi veri kalitesi yakalandıktan sonra belirlenen hatlar üzerinde ölçümlere geçilmiştir. SBP sisteminin çalışma frekansı 10 kHz'dir ve derinliğe bağlı olarak 70 ve 140 ms'lik kayıt süresi kullanılmıştır. Kayıt süresince "Gain" ayarı ile sinyal kaybı dengelenip, tabaka ayrırlılığının sürekli görüntülenmesine özen gösterilmiştir. Tez çalışmasahasında toplam 62 adet hat üzerinde sığ sismik veri toplanmıştır (Resim 4.3).



Resim 4.3. Sığ sismik verilerin toplandığı hatları gösteren lokasyon haritası

Kavşakkaya Barajı, Alt-Orta Miyosen yaşlı ayrılmamış volkanitlerin geniş yayılım gösterdiği bir bölgede yer almaktadır (Resim 4.4).

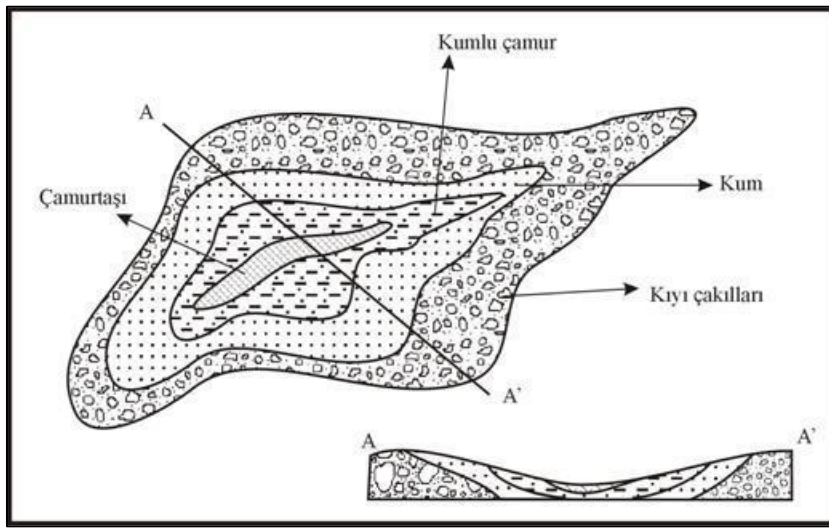


Resim 4.4. Kavşakkaya barajı

Göl ortamlarında, gölü besleyen akarsular ve o bölgedeki iklim göl sedimantasyonu üzerinde önemli rol oynarlar. Göllerdeki gel-git olayı denizlerdekine oranla önemsizdir. Ayrıca göllerdeki dalga boyları denizlere oranla daha kısa olduğundan dalga tabanı çok sığdır.

Göller denizlere nazaran daha az derindirler ve daha kısa jeolojik tarihçeye sahiptirler. Her türlü iklim koşulu altında göllerde kırıntılı çökeller depolanabilir.

İdeal bir gölün tabanında biriken çökeller Twenhofel'e (1932) göre şu şekilde anlatılmaktadır. Göl kıyısından merkeze doğru gidildikçe çökellerin tane boyu küçülür. Aşağıdaki şekil ideal bir göl çökelleri dizisini yansıtmaktadır. Çoğunlukla çökellerin dağılımı bu şekildedir. Örneğin göl kenarındaki yamaç eğimi önemsiz ise gölde çakıl veya kum birikmez. Kırıntılı göl çökelleri içinde bazı hallerde şekilde belirtilenlerin dışında, çört, linyit, turba, bitümlü şeyl bulunabilir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Kırıntılı göl çökellerinin göl ortamındaki dizilimi

Kavşakkaya Baraj Gölü suyun depolaması için rezervuar amaçlı oluşturulmuş doğal olmayan (suni) bir göldür. Suni göllerde akarsularla taşınan katı maddelerin büyük bir kısmı biriktirme haznelere ulaşınca suyun sürüklenme kuvvetinin azalmasıyla çökelirler. İri taneler haznelerin başlangıç bölgelerinde çökeldikleri halde daha küçük taneler baraj gövdesine kadar ilerler.

Haznelerde biriken sediman miktarı ve dağılımı akarsu havzasının, akarsuyun ve gölet alanının özelliklerine bağlıdır. Havzanın; iklim, bitki örtüsü, geometrisi, eğimi, akarsuyun; debisi, rejimi, gölet hacmi ve geometrisi baraj gölündeki sedimantasyona etki eden önemli faktörlerdir. Çok sayıda zamanla değişen parametrelerin etkisi altında olan baraj sedimantasyonunun incelenmesi ve buna bağlı olarak barajın boyutlandırılması su kaynaklarının değerlendirilmesi bakımından oldukça önemlidir.

Tez çalışmasahası taban ve tabanaltı stratigrafisinin belirlenmesi, göl tabanı morfolojisinin anlaşılması, varsa temel kaya ve mostra verdiği bölgelerin konumunun belirlenmesi, mevcut sismik birimler arasındaki süreksizliklerin saptanması, sismik birimlerin doku analizlerini yaparak bu birimlerin muhtemel litolojik yapılarının kestirimi ve sahada aktif fay ve benzeri süreksizliklerin olup olmadığının saptanması amacıyla çalışma sahası bütünü temsil eden hatlar üzerinde sığ sismik veriler toplanmıştır.

Sismik kayıtlarda belirtilen mavi çizgiler göl tabanını, turuncu çizgiler göl tabanı tekrarlı yansımaları, diğer renklerle gösterilen seviyeler ise birimler arası tabaka sınırlarını ifade etmektedir. Sığ sularda toplanan sismik verilerde karşılaşılan tekrarlı yansımalar, bu yansımaların olduğu derinliklerde, verilerin yorumlanmasını güçleştirmektedir. Çalışma sahasında su derinliğinin sığ olduğu bölgelerde toplanan verilerde sismik yansımaların bir sonucu olarak detaylı bir bilgi elde edilememektedir. Kesitlerde yansıtıcı yüzeylerin net olarak izlenemediği bölgeler kesikli çizgilerle belirtilmiştir. Kayıtlarda oluşan ton farklılıkları veri toplama esnasında “Gain” ve “TVG” ayarlarında yapılan değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Çalışmalarda belirlenen litolojik birimlerin kalınlıklarının hesaplamasında akustik dalga hızı (sediman için) 1700 m/s alınmıştır. Bu değerler çalışma alanında ölçülmemiş olmakla beraber güncel sedimanlar için kabul edilen bir değerdir (Tardu ve diğerleri, 1995).

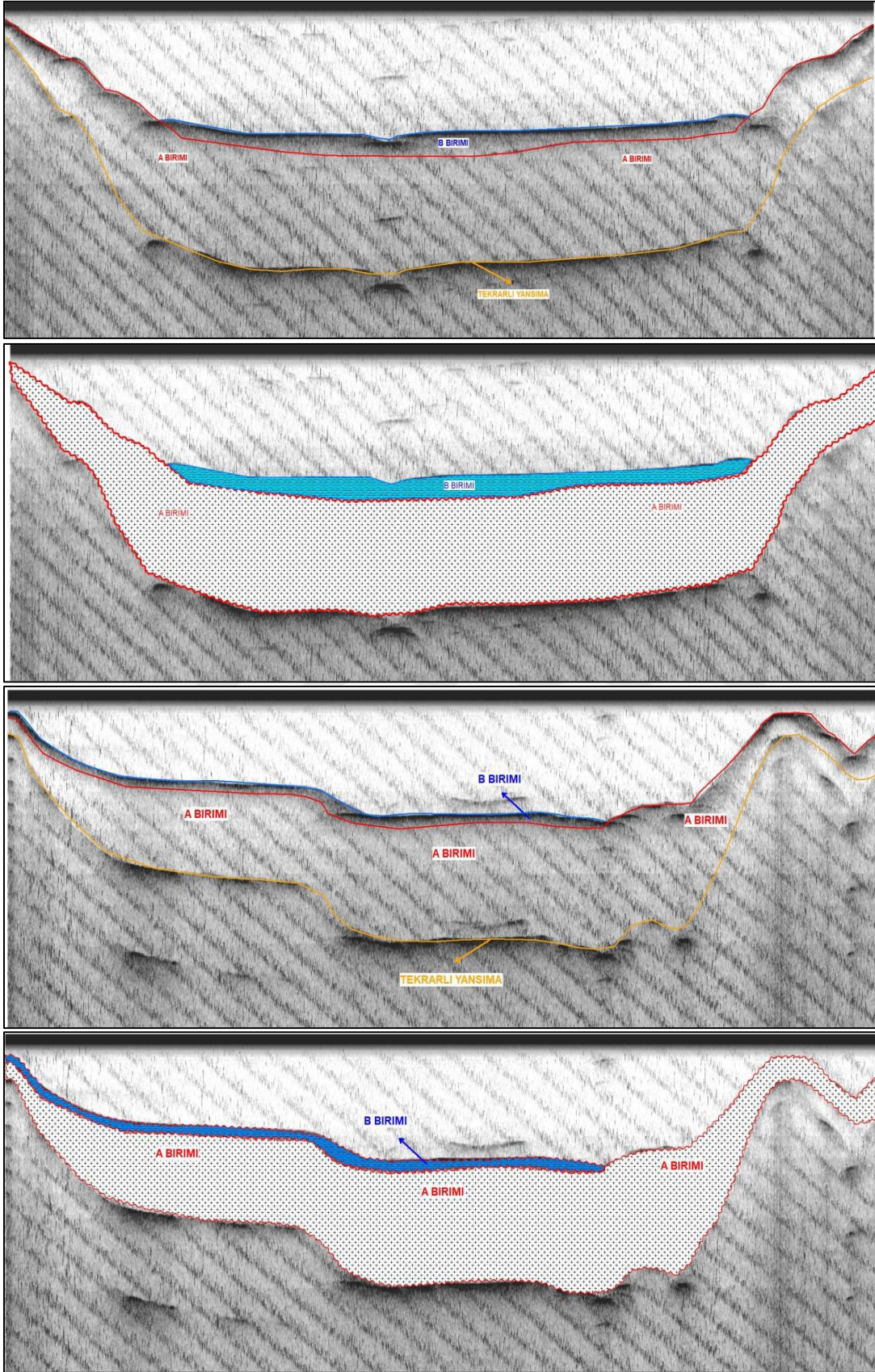
Sismik kesitlerde yapılan incelemeler sonucu çalışma sahasında farklı iç yansımalar karakterleri ve birbirinden uyumsuzluk yüzeyleri ile ayrımlanan iki adet stratigrafik birim gözlenmiştir (Şekil 4.5). Bu birimler; inceleme alanı çevresinde yüzeyler veren Alt-Orta Miyosen yaşlı ayrılmamış volkanitlerin devamlılığı niteliğinde olduğu düşünülen ve temel kaya olarak yorumlanan A Birimi ve devamlılığı çalışma sahasında sınırlı alanlarda gözlenen ve güncel sedimanların tez çalışma sahasına düzenli çökelişi ile şekillendiği düşünülen B birimidir.

Tez çalışma sahasında sismik profillerde, güçlü yansıtıcı yüzeyi kesitlerde tam olarak süreklilik arz etmeyen (olası aşınma-erozyon yüzeyleri içeren) ve çalışma sahasının neredeyse tamamında göl tabanında yüzlekler veren A birimi mevcuttur. Yüksek genlikli bu yansıtıcı seviyenin altında belirgin bir reflektör yoktur ve sismik penetrasyonun zayıflığı bu yüzeyin altındaki birimin (A biriminin) sert, pekişmiş bir kayaç olduğuna işaret etmektedir. Birimin alt sınırının sismik enerji kaynağının penetrasyon derinliği altına inmesi ve tekrarlı

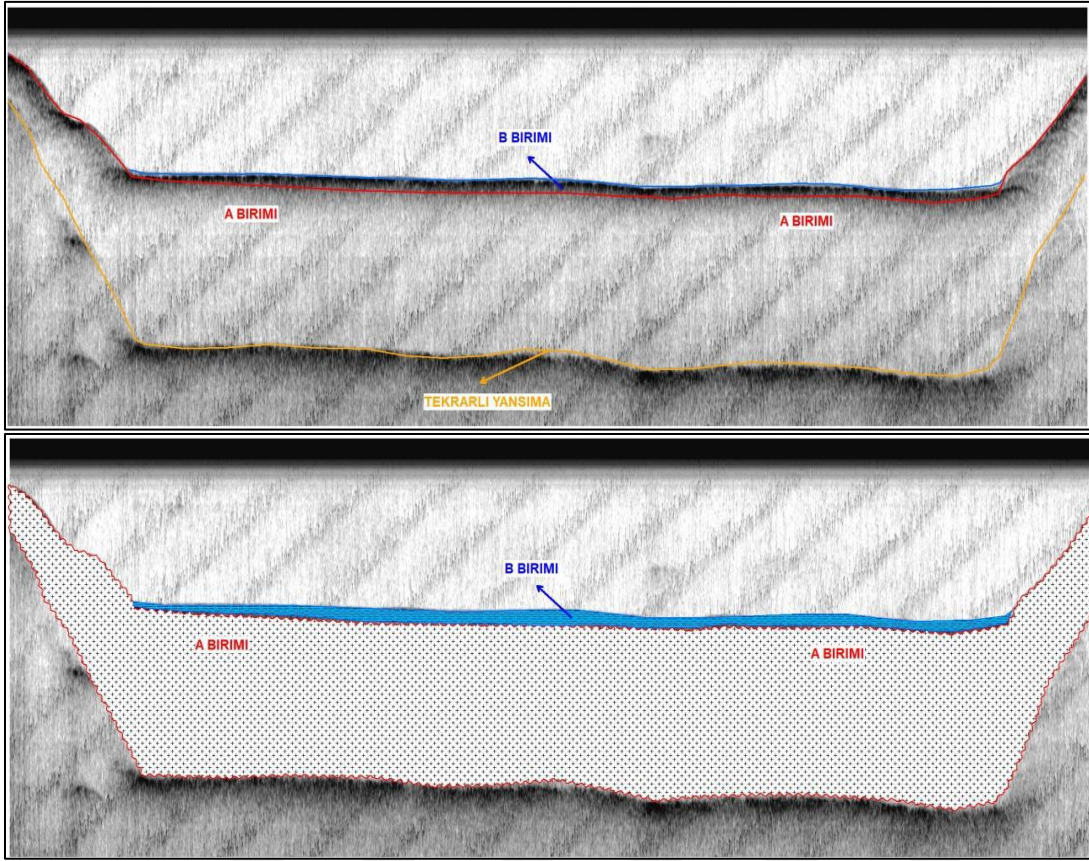
yansımalar nedeniyle A biriminin kalınlığı hesaplanamamaktadır. Akustik temel olarak yorumlanabilecek olan bu birimin tez çalışma sahasının bulunduğu bölgede geniş yayılım gösteren ve baraj gölüne dik bir topoğrafya ile sokulum yapan Alt-Orta Miyosen yaşlı ayrılmamış volkanitlerin su altında kalan devamlılığı olduğu düşünülmektedir.

İnceleme alanında çok yaygın olarak gözlenmese de bazı bölgelerde (özellikle baraj sahasının kuzeyindeki akarsu girdisine yakın alan ile baraj gövdesinin olduğu noktalarda) ince bir tabaka halinde A biriminin üstünü örter nitelikte olan B birimi bulunmaktadır. Birim üst sınırını, yorumlanan sismik kesitlerde mavi çizgiler ile belirtilen su-sediman sınırı (göl tabanı yansıma yüzeyi), alt sınırını ise kırmızı çizgilerle belirtilen A birimi üst sınırı oluşturmaktadır.

Güncel çökeller olarak yorumlanan B biriminin dahili reflektörleri tipik yarı sürekli/sürekli paralel yansımalar göstermektedir. Birimin kalınlığı tez çalışma sahası boyunca en fazla 4,86 metre olarak tespit edilmiştir ve yüksek oranda gözenek suyu içerdiği ve kısmen yumuşak (sertleşmemiş) bir yapıya sahip olduğu düşünülmektedir. B birimi kalınlığının inceleme alanı boyunca değişimini gösteren harita Şekil 4.5'te verilmiştir. Tez çalışma sahasında güncel sediman içerikleri ağırlıklı olarak barajı besleyen akarsular tarafından taşınan alüvyal malzemeler ile çevrede geniş yayılım gösteren volkanitlerin erozyonel etkiler ile aşınıp-taşınarak, hidrodinamik hareketlere bağlı birikimi ile şekillenmektedir.



Şekil 4.5. Tez çalışma sahası genel stratigrafik özelliklerini gösteren sismik kesitler



Şekil 4.5. (devam) Tez çalışma sahası genel stratigrafik özelliklerini gösteren sismik kesitler

2007 yılında inşası tamamlanan ve su tutulmaya başlayan Kavşakkaya Baraj gölünde, özellikle baraj yapısının rezervuar tarafında kalan bölümünde ve kuzeye devam eden ve kalınlığı yer yer 4,86 metreyi bulan rusubat birikimi gözlenmiştir. Birikim şartları dikkate alındığında, çökmenin en hızlı olduğu bölümde yıllık ortalama birikme hızının 35 cm/yıl olduğu anlaşılmaktadır.

4.3. Su Analiz Sonuçları

Baraj su kalitesini belirlemek amacıyla 4 dönem (4 mevsimi temsil edecek şekilde) su numunesi alınmıştır. Su numuneleri rusubat birikiminin de etkisini değerlendirebilmek amacıyla su örnekleri dip seviyesinden alınmıştır. İlk alınan su analizinde İçme Suyu Temin Edilmesi Planlanan Sular Hakkında Yönetmelik parametreleri yanı sıra mikrokirletici parametreler değerlendirilmiş ve ASKİ laboratuvarlarında analizleri yapılmıştır. Ölçümler yapılırken her bir örnek üç kez okutularak ortalaması alınmış ve anlamsız sonuçlar

değerlendirme dışında tutulmuştur. Laboratuvar çalışma ortamı fotoğrafları Ek 1’de yer almaktadır. Su numunelerine ait analiz sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Fiziksel Parametreler

- pH: Tüm mevsimlerde 7,75–8,24 aralığındadır ve bu da nötr–hafif alkali bir su ortamını gösterir. Bu değerler, içme suyu için önerilen 6,5–8,5 aralığındadır (İçme Suyu Yönetmeliği). pH değerindeki mevsimsel artış ilkbahar-yaz dönemlerinde fotosentez ve fitoplankton aktivitesine bağlı olabilir.
- Renk (Pt-Co): Renk değeri yaz mevsiminde ciddi şekilde düşerek 5,44 Pt-Co’ya inmiştir. Bu durum, çözülmüş organik maddelerin ve/veya alg pigmentlerinin azalmasıyla ilişkili olabilir. Sonbaharda renk maksimum seviyede (13,6) gözlemlenmiştir.
- Sıcaklık: Sıcaklık değerleri, beklenildiği gibi mevsimsel döngüye paralel: Kışta en düşük (10,1 °C), yazın en yüksek (19,5 °C). Bu parametre diğer değişkenleri (özellikle çözülmüş oksijen, mikrobiyal aktivite) doğrudan etkiler.
- İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$): Sonbaharda maksimum (264 $\mu\text{S}/\text{cm}$), kışın minimum (210 $\mu\text{S}/\text{cm}$). İletkenlik, çözülmüş iyon konsantrasyonunu temsil eder. Yaz aylarında beklenen buharlaşma etkisiyle daha yüksek beklenirken düşüklük, belki de dilüsyon (seyreltme) etkisi ile açıklanabilir (ör. yağış artışı).

Makro ve Mikronutrientler

- Nitrat (NO_3): En yüksek konsantrasyon kış mevsiminde (2,86 mg/L), yaz mevsiminde ise <0,45 mg/L ile en düşük. Kışın tarımsal yüzey akışı ve yağış kaynaklı yüklenme söz konusu olabilir. Ancak değerler, insan sağlığı için tehlikeli sınır olan 50 mg/L’nin oldukça altında.
- Florür: Tüm dönemlerde <0,1 mg/L ve oldukça düşük. DSÖ sınırı 1,5 mg/L’dir. Sağlık açısından bir tehdit oluşturmaz.
- Sülfat (SO_4): 15,2 mg/L (sonbahar) ile maksimum, yaz mevsiminde 11,3 mg/L. Tüm değerler güvenli aralıkta (<250 mg/L – WHO).

- Klorür (Cl^-): Değerler düşüktür (3,53–4,99 mg/L), içme suyu için sınır <250 mg/L olduğundan uygundur. Ancak iletkenlikle birlikte değerlendirilerek iyonik kirlilik eğilimleri takip edilmelidir.

Ağır Metaller

- Bakır (Cu): 0,001–0,0057 mg/L aralığında değişmekte. İçme suyundaki sınır 2 mg/L olduğundan güvenli, ancak yaz aylarında minimum seviyededir.
- Çinko (Zn): Tüm mevsimlerde <0,005 mg/L olarak belirlenmiş; sağlık riski taşımamaktadır (WHO sınırı 3 mg/L).
- Alüminyum (Al): Sonbaharda 1,13 mg/L ile oldukça yüksek. WHO sınırı 0,2 mg/L olduğundan, özellikle sonbaharda estetik ve toksikolojik etkiler açısından dikkat çekicidir.
- Çözülmüş Demir (Fe): Sonbaharda 0,5801 mg/L ile en yüksek, yazda 0,0853 mg/L ile en düşük. WHO sınırı 0,3 mg/L; sonbahar ve kış verileri bu sınırı aşıyor ve bu da suda renk, tat bozulması ve tortu oluşumu riskini artırabilir.
- Mangan (Mn): En yüksek değer kış mevsiminde (0,012 mg/L); sınır <0,4 mg/L olduğundan tümü güvenlidir.
- Kobalt, Nikel, Arsenik, Kadmiyum, Kurşun, Civa: Tüm bu ağır metallerin konsantrasyonları çok düşük (<0,005 mg/L). DSÖ sınırlarının çok altında ve toksik etkileri açısından şimdilik tehdit oluşturmamaktadır.
- Selenyum (Se): Tüm veriler <0,0005 mg/L. DSÖ sınırı 0,01 mg/L olduğundan oldukça güvenlidir.

Diğer Kirleticiler ve Mikroirleticiler

- Toplam Krom: Kış döneminde en yüksek (0,002 mg/L), ancak içme suyu sınırı olan 0,05 mg/L'nin altındadır.
- Siyanür (CN⁻): Tüm mevsimlerde <0,01 mg/L. DSÖ sınırı 0,07 mg/L, risk yok.
- Baryum (Ba): Sonbaharda maksimum (0,1001 mg/L), ancak DSÖ sınırı olan 0,7 mg/L'den düşüktür.

Mikroirletici ve Element Spesifik İzotoplar

- Krom (µg/L): Kış ve ilkbaharda 1,93 ve 1,36 µg/L. İnsan sağlığı için risk sınırı <50 µg/L'dir.
- Titanyum (Ti): Sonbaharda en yüksek (56,2 µg/L), ilkbaharda en düşük (11,3 µg/L) değerler ölçülmüştür. Baraj sularında Ti izleme yaygın değildir, ancak yüksek konsantrasyonlar endüstriyel veya jeolojik kaynaklı olabilir.
- Silisyum (Si): Silisyum değerleri yıl boyunca 11.903–12.606 µg/L aralığındadır. Bu, doğal olarak suya geçen silikat minerallerinden kaynaklanır.
- Vanadyum: DSÖ, içme suyu için bir maksimum konsantrasyon belirtmemiştir, ancak bazı ülkelerde sınır değeri 15–50 µg/L olarak kabul edilmiştir. Sonbahar ölçümünde 15 µg/L değeri bu sınırın eşğinde yer almakta ve dikkatle izlenmesi gerektiğini göstermektedir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Kavşakkaya barajı su analizi sonuçları

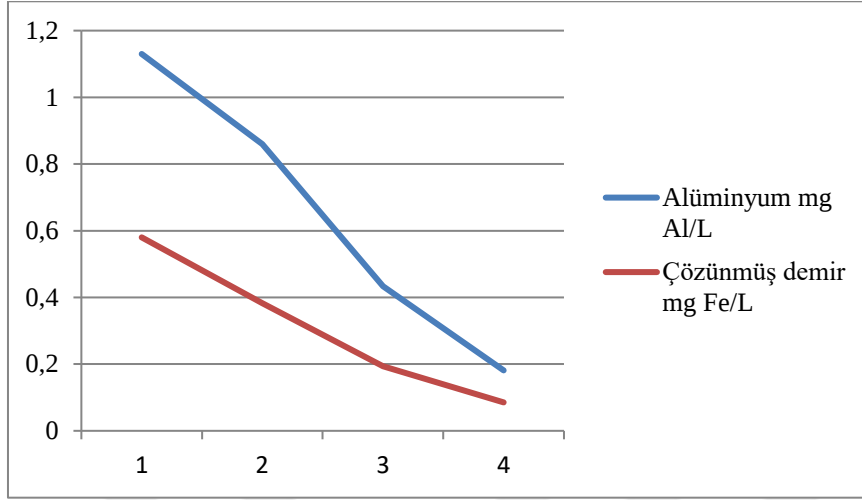
Parametre	Birim	Metod	Loq	SU KALİTESİ			
				Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
pH	-	TS EN ISO 10523	-	7,89	7,75	8,08	8,24
Renk(filtrasyon sonrası)	Pt-Co	SM 2120 B	<5	13,6	12,5	11,4	5,44
Toplam askıda katı madde (AKM)	mg/L	TS EN 872	<10	<10	<10	<10	<10
Sıcaklık	°C	SM 2550 B	-	18,1	10,1	12,8	19,5
İletkenlik	µS/cm	TS 9748 EN 27888	-	264	210	240	230
Nitrat	mg NO ₃ /L	SM 4110 B	<0,45	2,60	2,86	1,58	<0,45
Florür	mg F/L	SM 4110 B	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Alüminyum	mg Al/L	TS EN ISO 17294 1-2	<0,02	1,1393	0,8651	0,4340	0,1813
Çözülmüş demir	mg Fe/L	TS EN ISO 17294 1-2	<0,005	0,5878	0,3826	0,1939	0,0853
Mangan	mg Mn/L	TS EN ISO 17294 1-2	<0,0005	0,0026	0,0012	0,0009	0,0029
Bakır	mg Cu/L	TS EN ISO 17294 1-2	<0,001	0,0057	0,0035	0,001	0,0022
Çinko	mg Zn/L	TS EN ISO 17294 1-2	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Bor	mg B/L	TS EN ISO 17294 1-2	<0,02	0,0970	0,0721	0,0274	0,0367
Kobalt	mg Co/L	TS EN ISO 17294 1-2	<0,0005	0,0011	0,0006	<0,0005	<0,0005
Nikel	mg Ni/L	TS EN ISO 17294 1-2	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Arsenik	mg As/L	TS EN ISO 17294 1-2	<0,0005	0,0061	0,0043	0,0033	0,0032
Kadmiyum	mg Cd/L	TS EN ISO 17294 1-2	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Toplam krom	mg Cr/L	EPA 200.7	<0,001	0,0020	0,0010	<0,001	<0,001
Kurşun	mg Pb/L	TS EN ISO 17294 1-2	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Selenyum	mg Se/L	TS EN ISO 17294 1-2	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Civa	mg Hg/L	TS EN ISO 17294 1-2	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Baryum	mg Ba/L	TS EN ISO 17294 1-2	<0,005	0,1001	0,0240	0,0345	0,0292
Siyanür	mg CN/L	TS EN ISO 14403-1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Sülfat	mg SO ₄ /L	SM 4110 B	<1	15,2	14,6	13,5	11,3
Klorür	mg Cl/L	SM 4110 B	<1	4,99	4,56	4,28	3,53
Bakır	µg/L	TS EN ISO 17294 1-2	<1	1,33	5,09	3,56	1,12
Kobalt	µg/L	TS EN ISO 17294 1-2	<0,5	<0,5	1,10	0,98	<0,5
Krom	µg/L	TS EN ISO 17294 1-2	<1	<1	1,93	1,36	<1
Silisyum	µg/L	EPA 200.7	<100	11903,12	12003,28	12606,63	11994,51
Titanyum	µg/L	TS EN ISO 17294 1-2		56,20	38,91	11,30	23,74
Vanadyum	µg/L	TS EN ISO 17294 1-2	<0,5	15,00	4,38	2,74	6,13

Su analizleri incelendiğinde çıkan sonuçlardan alüminyum ve demir seviyeleri sınır değerlerin üzerinde kalmakta olup, arıtma olmadan suyun tüketilmesi mümkün gözükmemektedir (Şekil 4.6).

Çizelge 4.3. Alüminyum, çözülmüş demir ve silisyum ölçümleri

Parametre	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ortalama	Standart sapma
Alüminyum	1,135	1,154	1,129	1,1393	0,011
Çözülmüş demir	0,5862	0,5871	0,5903	0,5879	0,002
Silisyum	11903,72	11903,12	11902,54	11903,12	0,59

Su numuneleri üçer kez okutulmuştur.



Şekil 4.6. Alüminyum ve demir seviyeleri sınır değerleri

4.4. Sediment Analiz Sonuçları

Kavşakkaya Barajı dibinde birikmiş olan çamurun kalitesini izleyebilmek amacıyla su kalite analizlerinde sınır değerlerin üzerinde çıkan parametreler olan pH, alüminyum, mangan, çinko, kadmiyum, kurşun, demir, bakır, kobalt ve krom parametreleri açısından analiz edilerek Çizelge 4.4'te sunulmuştur.

- pH Değeri: Dip çamuru pH'ı, mevsimsel olarak 6,36 (sonbahar) ile 7,26 (kış) arasında değişmektedir. Bu durum, çamurun nötr ile hafif asidik karakterde olduğunu göstermektedir. pH'ın 6,5–7,5 aralığında olması, özellikle metallerin çözünürlüğünü ve mobilitesini etkileyen önemli bir çevresel faktördür.

- Alüminyum (Al): Alüminyum, kış ve sonbahar aylarında yüksek düzeyde birikmiştir. Kış mevsimindeki en yüksek değer, sedimente dışarıdan gelen (örneğin, yüzey akışı veya atık deşarjı) yüklerin fazla olduğunu düşündürülebilir. pH'nın düşmesiyle alüminyumun çözünme eğilimi artabilir, bu da dip suyundaki alüminyum konsantrasyonunu artırır.

- Mangan (Mn): Mangan, özellikle kış ve yaz aylarında yüksek çıkmıştır. Bu metal, genellikle indirgen ortamda çözünürlüğü artan bir elementtir. Dip çamurunda bu kadar

yüksek bulunması, anoksik koşullar altında sedimentten suya geçiş potansiyelinin yüksek olduğunu gösterir.

- Çinko (Zn), Kadmiyum (Cd), Kurşun (Pb): Bu üç metalin de ölçüm değeri <0,005 mg/L olarak belirlenmiş, yani analiz cihazlarının alt tayin sınırının altında kalmıştır. Bu durum, bu metallerin çamurda ya çok düşük konsantrasyonlarda bulunduğunu ya da metal-sülfür bağları gibi formlarda kararlı hale geldiğini düşündürülebilir. Özellikle kadmiyum ve kurşun gibi toksik metallerin düşük seviyelerde olması olumlu bir çevresel göstergedir.

- Demir (Fe): Demir, tüm mevsimlerde yüksek düzeyde bulunmuş, ancak kış ve yaz mevsimlerinde zirveye ulaşmıştır. Bu, dip çamurunun demir açısından zengin olduğunu ve özellikle indirgen koşullarda çözünerek suya geçebileceğini göstermektedir. Ayrıca bu durum, demirin redoks-duyarlı davranışını destekler.

- Bakır (Cu): Bakır da tüm mevsimlerde önemli düzeyde mevcuttur ve en yüksek değer kışta gözlenmiştir. Bu durum, metalik kaynaklı kirlenmeye işaret edebilir. Bakır, biyolojik sistemlerde toksik etkiler gösterebilir ve fitobentik organizmalar üzerinde inhibitör etkilere neden olabilir.

- Kobalt (Co): Kobalt konsantrasyonları, sonbaharda zirve yapmıştır. Bu değerler, doğal jeolojik yapıyla ilişkili olabileceği gibi, endüstriyel kaynaklı sediment birikimini de gösterebilir. Ancak genel düzeyler, ciddi bir toksik risk oluşturmamaktadır.

- Krom (Cr): Krom değerleri dört mevsimde de stabil düzeyde kalmış, ancak kış döneminde en yüksek değere ulaşmıştır. Krom, özellikle alt altı değerlikli formunda (Cr^{6+}) toksiktir; bu nedenle form analizi yapılmadığı sürece risk seviyesi net değildir. Ancak bu değerler, doğal jeokimyasal kaynaklardan ya da tarımsal katkılardan etkileniyor olabilir (Çizelge 4.4).

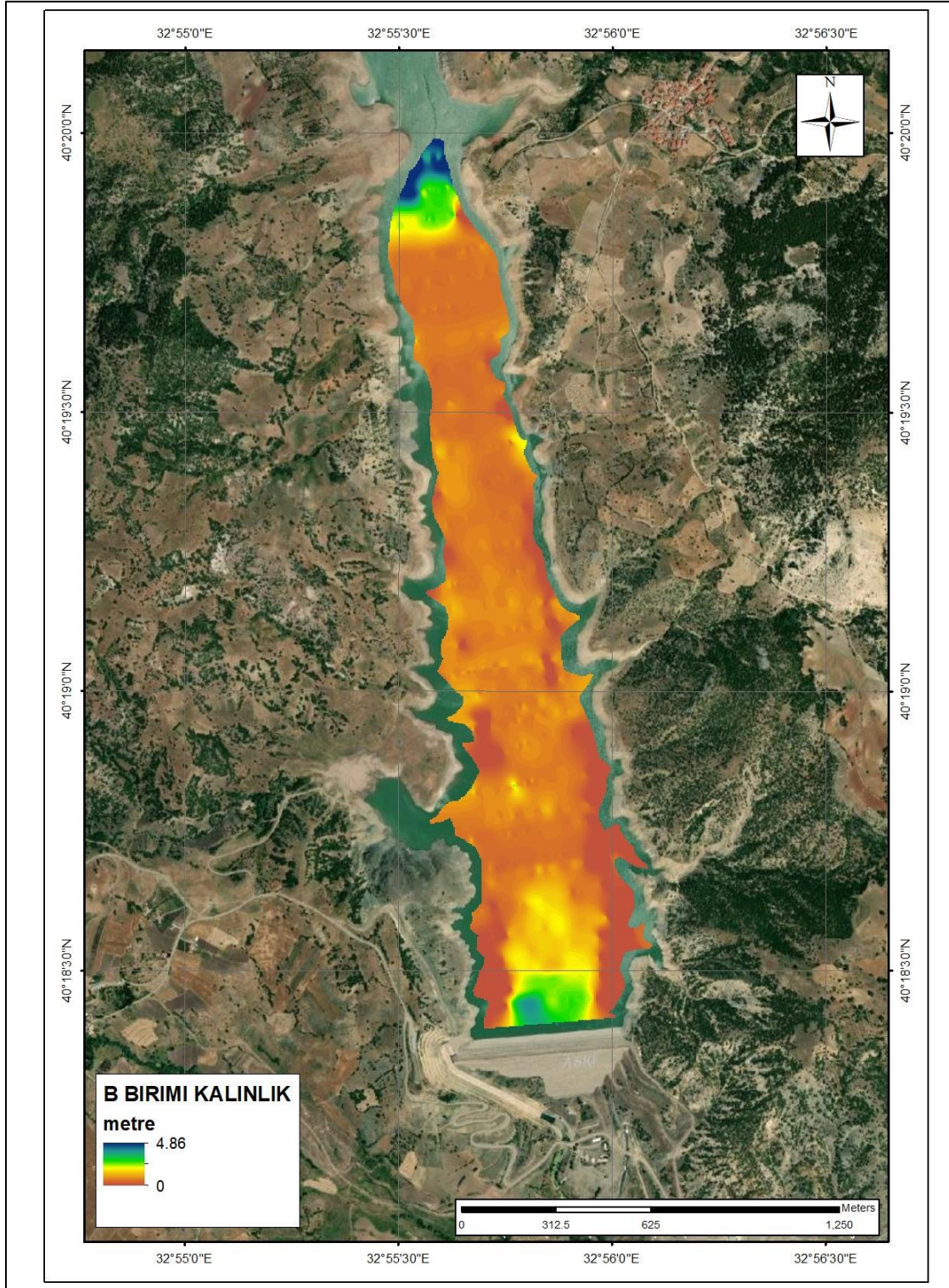
Çizelge 4.4. Kavşakkaya barajı dip çamuru analiz sonucu

Parametre	Birim	Metod	LOQ	Dip Çamuru			
				Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Ph	-	TS EN ISO 10523	-	6,36	7,26	6,91	6,86
Alüminyum	mg Al/L	TS EN ISO 17294 1-2	<0,02	12,36	13,81	8,65	10,14
Mangan	mg Mn/L	TS EN ISO 17294 1-2	<0,0005	0,13366	0,18089	0,12968	0,17906
Çinko	mg Zn/L	TS EN ISO 17294 1-2	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Kadmiyum	mg Cd/L	TS EN ISO 17294 1-2	<0,0005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Kurşun	mg Pb/L	TS EN ISO 17294 1-2	<0,0005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Demir	µg/L	TS EN ISO 17294 1-2	<5	7002,34	9567,92	6035,88	9054,13
Bakır	µg/L	TS EN ISO 17294 1-2	<1	18,01	20,19	16,95	14,96
Kobalt	µg/L	TS EN ISO 17294 1-2	<0,5	7,15	5,23	5,71	5,89
Krom	µg/L	TS EN ISO 17294 1-2	<1	10,19	11,38	10,88	10,65

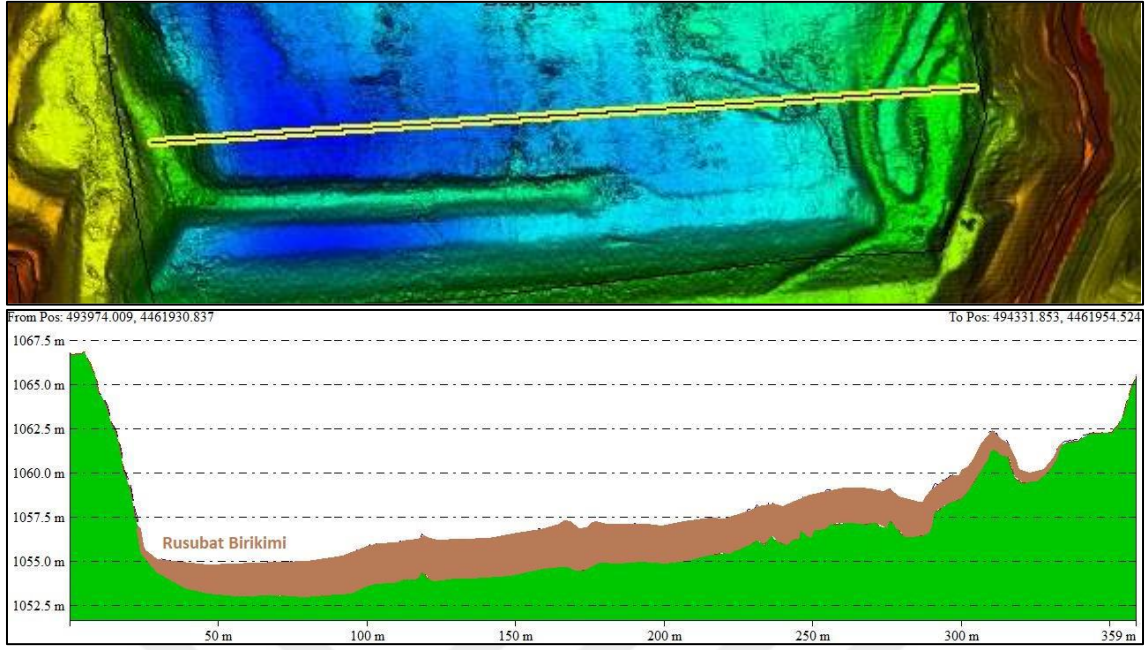
Demir ve alüminyum birikimi beklendiği üzere dip çamurunda da çok yüksek seviyededir. Baraj suyundaki turn over olayından dolayı kış döneminde çamurdaki kirletici seviyeleri en yüksek düzeye çıkmaktadır. Dip çamurundaki mangan birikimi zamanla dipteki sucul yaşam için de tehlike oluşturacak ve sudaki mangan seviyesi de istenmeyen seviyelere çıkacaktır.

2007 yılında inşası tamamlanan ve su tutulmaya başlayan Kavşakkaya Baraj gölünde, özellikle baraj yapısının rezervuar tarafında kalan bölümünde ve kuzeye devam eden ve kalınlığı yer yer 4,86 metreyi bulan rusubat birikimi gözlenmiştir (Şekil 4.7). Birikim şartları dikkate alındığında, çökelmenin en hızlı olduğu bölümde yıllık ortalama birikme hızının 35 cm/yıl olduğu anlaşılmaktadır.

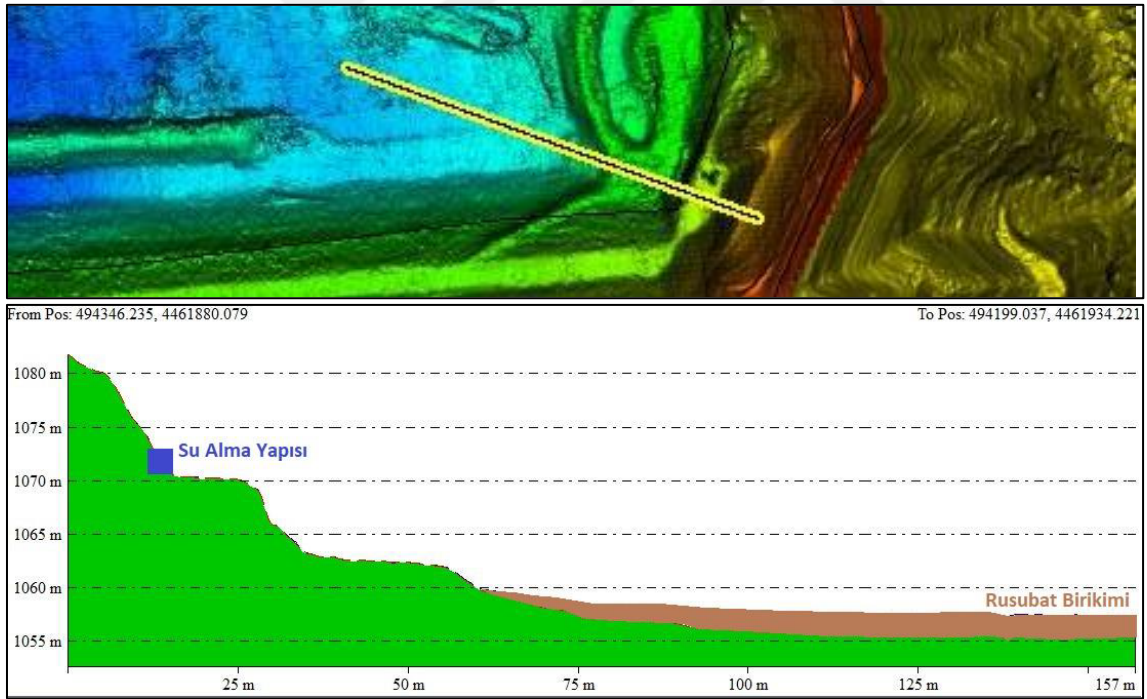
Rusubat birikiminin, 1072 metre kotunda bulunan su alma yapısına 81,2 yıl içinde ulaşacağı düşünülmektedir. Baraj yapısı önünden ve su alma yapısına dik olarak alınan profillerde birikim takip edilmiştir (Şekil 4.8, Şekil 4.9).



Resim 4.5. B Birikim (rusubat) kalınlık haritası

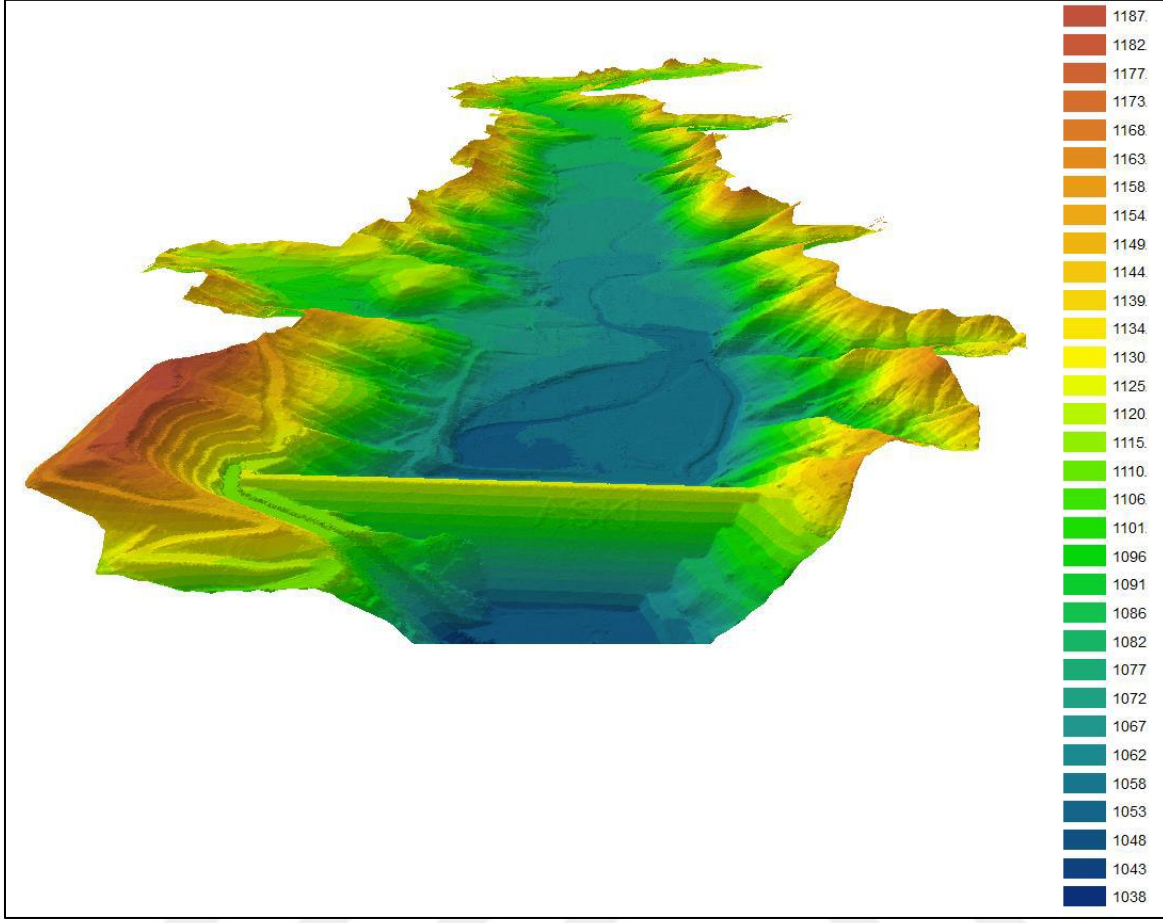


Resim 4.6. Baraj yapısı önünden alınan profilde rusubat birikiminin görünümü



Resim 4.7. Su Alma yapısına dik alınan profilde rusubat birikiminin görünümü

Gerçekleştirilen ölçüm çalışmaları ile sahanın güncel kot haritası çıkartılmıştır. Bunun yanında 3B görüntüler ile mevcut çukur ve tepeler ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Elde edilen haritalar ile, su ve kara sahasının mevcut durumun değerlendirilebilmesi ve coğrafik bilgi sistemli veri tabanı oluşturulması sağlanmıştır (Şekil 4.10).



Resim 4.8. Çalışma sahasının 3 boyutlu modeli



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Rezervuar alanında toplam hacim kaybının, barajın inşa edildiği tarihten bu yana toplam olarak yaklaşık 776 868 metreküp olduğu, bunun da yıllık yaklaşık 55 491 metreküpe denk geldiği anlaşılmıştır. Bununla birlikte Kavşakkaya rezervuar hacminde rusubat birikimi sebebiyle tehlike yaratabilecek bölümlerin, özellikle baraj yapısının önü ve memba tarafında kuzey bölümünde olduğu belirlenmiştir.

Baraj yapısının rezervuar tarafı incelendiğinde, yapım yılından bu yana yaklaşık 8 hektarlık bölgede 118 942 metreküp hacminde rusubat birikimi görülmektedir. Baraj yapısının önünde homojen olarak yayıldığı belirlenen bu birikimin şu an için su alma yapısına tehdit oluşturmadığı düşünülmektedir. Homojen olarak dağılım gösteren birikimin ortalama 2,5 metre olduğu tespit edilmiş, yıllık birikim miktarının ise 18 cm olduğu hesaplanmıştır.

Baraj yapısının 2,8 km kuzeyinde, Durhasan Köyü köprü geçişi bölgesinde rusubat birikimleri 4,86 metreyi bulmakla beraber; bu yüksek birikimin, köprü ayaklarının ve yapısının akıntı rejimini bozarak, bu çökel miktarına yol açtığı düşünülebilir.

Baraj gölü için maksimum işletme kotunda göl hacminin 77 597 490 m³ olduğu, minimum işletme kotu olan 1 072 metrede ise 3436256,90 m³ su hacmi olduğu tespit edilmiş, kullanılabilir su hacminin ise 74161233,10 m³ olduğu hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışma öncesinde İdare elinde bulunan değerlerde; maksimum işletme kotu için göl hacminde 3237510,00 m³, minimum işletme kotu için göl hacminde 1256943,10 m³, kullanılabilir su hacminde ise 1980566,90 m³ kayıp olduğu belirlenmiştir.

Hesaplamalar sonucunda gözlenen kayıpların, rezervuar içine taşınan malzemenin çökmesiyle ve ASKİ tarafından sağlanan bilgilerin kaynağı olan verilerin, geçmiş yıllarda düşük çözünürlükte elde edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tez çalışma sahası taban ve taban altı stratigrafisinin belirlenmesi amacıyla 62 adet hat üzerinde sığ sismik veri toplanmıştır. Sismik kesitlerde yapılan incelemeler sonucu çalışma sahasında farklı iç yansıma karakterleri ve birbirinden uyumsuzluk yüzeyleri ile ayrımlanan iki adet stratigrafik birim gözlenmiştir. Bu birimler; inceleme alanı çevresinde yüzeyler

veren Alt-Orta Miyosen yaşlı ayrılmamış volkanitlerin devamlılığı niteliğinde olduğu düşünülen ve temel kaya olarak yorumlanan A Birimi ve devamlılığı çalışma sahasında sınırlı alanlarda gözlenen ve güncel sedimanların tez çalışma sahasına düzenli çökelişi ile şekillendiği düşünülen B birimidir. B Birimin kalınlığı tez çalışma sahası boyunca en fazla 4,86 metre olarak tespit edilmiştir.

Rezervuar alanında toplam hacim kaybının, barajın inşa edildiği tarihten bu yana toplam olarak yaklaşık 776 868 metreküp olduğu, bunun da yıllık yaklaşık 55 491 metreküpe denk geldiği anlaşılmıştır. Bununla birlikte Kavşakkaya rezervuar hacminde rusubat birikimi sebebiyle tehlike yaratabilecek bölümlerin, özellikle baraj yapısının önü ve memba tarafında kuzey bölümünde olduğu belirlenmiştir.

Baraj yapısının rezervuar tarafı incelendiğinde, yapım yılından bu yana yaklaşık 8 hektarlık bölgede 118 942 hacminde rusubat birikimi görülmektedir. Baraj yapısının önünde homojen olarak yayıldığı belirlenen metreküp bu birikimin şu an için su alma yapısına tehdit oluşturmadığı düşünülmektedir. Homojen olarak dağılım gösteren birikimin ortalama 2,5 metre olduğu tespit edilmiş, yıllık birikim miktarının ise 18cm olduğu hesaplanmıştır. Rusubat birikiminin, 1 072 metre kotunda bulunan su alma yapısına 81,2 yıl içinde ulaşacağı düşünülmektedir. Baraj yapısı önünden ve su alma yapısına dik olarak alınan profillerde birikim takip edilmiştir.

Baraj yapısının 2,8 km kuzeyinde, Durhasan Köyü köprü geçişi bölgesinde rusubat birikimleri 4,86 metreyi bulmakla beraber; bu yüksek birikimin, köprü ayaklarının ve yapısının akıntı rejimini bozarak, bu çökel miktarına yol açtığı düşünülebilir.

Su analizleri değerlendirildiğinde barajın yer aldığı bölgenin kayaç yapısından da kaynaklı olarak alüminyum, demir, mangan, bakır, bor, kobalt, arsenik, krom, baryum, bakır, silisyum, titanyum ve vanadyum parametrelerinin çok yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kış döneminde dip sularında parametrelerin sudaki miktarları en yüksek seviyeye gelmekte olup bunun sebebi olarak hem yağışlarla yıkanan kayaçlardan taşınan sular hem de turnover olayları sebebiyle dibe çökelişin fazla olması düşünülebilir.

Çalışmada, ulaşılan en yüksek risk durumu; özellikle sonbaharda alüminyum ve çözünmüş demirin yüksek konsantrasyonlarda tespit edilmesidir. Vanadyum ve titanyum gibi

mikrokirletici elementler sediment kaynaklı olabilir; konsantrasyonları şimdilik düşük ama düzenli izlenmelidir. Kış ve sonbaharda ağır metal ve mikronutrient konsantrasyonları daha yüksek ölçüldü. Bu da sediment çözünmesinin mevsimsel rolünü destekliyor.

İçme suyu uygunluğunda; parametrelerin tamamı ulusal yönetmeliklere büyük ölçüde uygundur. Ancak demir ve alüminyum gibi estetik kaliteyi etkileyen değerler zaman zaman sınır üstü bulundu. Dip seviyesinden alınan su örnekleri sayesinde, su yüzeyinde fark edilmeyen bazı çözünmüş metal ve mikrokirleticiler açığa çıkmıştır.

Dip çamurda birikmiş yüksek demir ve alüminyum gibi metaller, mevsimsel redoks koşullarına bağlı olarak su sütununa geçiş gösterebilir. Kış mevsiminde mangan ve bakır mobilitesi değerlerinin artması; indirgen koşullarda mangan çözünürlüğünün artabileceğini göstermektedir. Düşük kadmiyum ve kurşun gibi metallerin tayin sınırının altında çıkması, şimdilik toksik risk açısından olumlu bir işarettir. Çalışmada ulaşılan çamurun metal yükü baraj sedimentinde metal birikimi olduğu ve bu metallerin zamanla sekonder kirletici kaynak haline gelebileceği gözlemlenmektedir.

Öneriler

Sonbaharda sediment çözünmesi nedeniyle bazı metallerde ani yükselmeler gözlenmiştir. Bu, anoksik koşulların tetiklenmesine yol açabilir.

Titanyum ve silisyum gibi elementler için kaynak bazlı izleme önerilir.

Yıllık izleme planına sediment-su arayüzünde çözünmüş metal geçişlerini takip eden özel çalışmalar eklenmelidir.

Vanadyum ve titanyum için kaynak analizi yapılmalıdır (jeolojik mi, antropojenik mi?). Yaz dönemi için biyoakümülyasyon izleme çalışmaları önerilir.

Demir ve alüminyum değerleri, içme suyu kullanımı açısından düzenli olarak gözlemlenmelidir.

Sediment örnekleriyle karşılaştırmalı analiz yapılırsa çözünmüş kirleticilerin kaynaklarına dair net çıkarımlar elde edilebilir.



KAYNAKLAR

- Akın, S., Atıcı, T., ve Katırcıoğlu, H. (2008). 2008. Physicochemical, toxicological and ecological analysis of Gökçekaya Dam Lake. *African Journal of Biotechnology*, 7(4), 444-449.
- Almanassra, I. W., G. Mckay, G., V. Kochkodan, V., Atieh, M. A., and T Al-Ansari, T. (2021). A state of the art review on phosphate removal from water by biochars. *Chemical Engineering Journal*, 409, 128211.
- Ansari, A. A., Gill, S. S., ve Khan, F. A. (2011). Eutrophication: Threat to aquatic ecosystems Ötrofikasyon: su ekosistemleri için tehdit. In A. A. Ansari, S. S. Gill, G. R. Lanza ve W. Rast (Eds.), *Eutrophication: Causes, consequences and control*. New York: Springer. 143-170.
- Avşın, N., ve Gazioğlu, B. (2024). Deliçay Nehri havzasının jeomorfolojik özellikleri (Erciş, Van). *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (65), 106-119.
- Ayele, H. S., and Atlabachew, M. (2021). Review of characterization, factors, impacts, and solutions of Lake eutrophication: Lesson for lake Tana. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 14233–14252.
- Bakırcı, M. (1997). Türkiye'de yerdeğiştiren şehirlere yeni bir örnek: Samsat. *Türk Coğrafya Dergisi*, (32), 365-391.
- Ballah, M., Bhoyroo, V., and Neetoo, H. (2019). Assessment of the physico-chemical quality and extent of algal proliferation in water from an impounding reservoir prone to eutrophication. *Journal of Ecology and Environment*, 43(5), 1-9.
- Benassi, R. F., de Jesus, T. A., Coelho, L. H. G., Hanisch, W. S., Domingues, M. R., Taniwaki, R. H., Peduto, T. A. G., da Costa, D. O., Pompeo, M. L. M., and Mitsch, W. J. (2021). Eutrophication effects on CH₄ and CO₂ fluxes in a highly urbanized tropical reservoir (Southeast, Brazil). *Environmenta Science and Pollution*, 28 (31), 42261-42274.
- Bucak, V. E. (2023). *İklim değişikliğinin su kaynaklı yenilenebilir enerji tez çalışmaları üzerindeki etkisi*. Doktora Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 48-9.
- Buccolieri, A., Buccolieri, G., Cardellicchio, N., Atti, A. D., Leo, A. D., and Maci, A. (2006). United States Heavy heavy metals in marine sediments of Taranto Gulf (Ionian Sea, Southern Italy). *Marine Chemistry*, 99, 227-235.
- Bullerjahn, G. S., McKay, R. M., Davis, T. W., Baker, D. B., Boyer, G. L., D'Anglada, L. V., Doucette, G. J., Ho, J. C., Irwin, E. G., Kling, C. L., Kudela, R. M., Kurmayer, R., Michalak, A. M., Ortiz, J. D., Otten, T. G., Paerl, H. W., Qin, B., Sohngen, B. L., Stumpf, R. P., Visser, P. M., ve Wilhelm, S. W. (2016). Global solutions to regional problems: Collecting global expertise to address the problem of harmful cyanobacterial blooms: A Lake Erie case study, *Harmful Algae*, 54, 223–238.

- Burdige, D. J., Kline, S. W., ve Chen, W. (2004). Fluorescent dissolved organic matter in marine sediment pore waters. *Marine Chemistry*, 89(1-4), 289-311.
- Can, A. B. ve Yılmaz, D. (2023). Kızılırmak havzası barajlarının kuraklığa etkisi. *Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 4(1), 1-10.
- Costa, J.P., Souza, J. P., Teixeira, A. P., and Nabout, J. C. (2018). Carneiro Eutrophication in aquatic ecosystems: a scientometric study. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 30(2), 1-11.
- Çeliker, S. A. ve Anaç, H. (2003). Erozyon. *Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü*, 4(1), 1-3.
- Çotur, S. (1986, 14-15 Nisan). *Keban Barajının Fırat Havzasına Etkisi*. Fırat Havzası Coğrafya Sempozyumu, Elazığ, 50.
- Ding, S., Chen, M., Gong, M., Fan, X., Qin, B., Xu, H., Gao, S. S., Jin, Z., Tsang, D. C. W., ve Zhang, C. (2018). Internal phosphorus loading from sediments causes seasonal nitrogen limitation for harmful algal blooms. *Science of the Total Environment*, 625, 872–884.
- Doan, P. T. K., Némery, J., Schmid, M., and Gratiot, N. (2015). Eutrophication of turbid tropical reservoirs: Scenarios of evolution of the reservoir of Cointzio, Mexico. *Ecological Informatics*, 29, 192–205.
- Eggleton, J., and Thomas, K. V. (2004). A review of factors affecting the release and bioavailability of contaminants during sediment disturbance events. *Environment International*, 30(7), 973–980.
- Förstner U., Wittmann G. (Edt.) (1981). *Metal pollution in the aquatic environment*. Springer, Berlin Heidelberg New York: 7-9.
- Förstner, U., and Salomons, W. (2008). Trends and challenges in sediment research 2008: the role of sediments in river basin management. *Journal of Soils and Sediments*, 8(5), 281-283.
- Förstner, U., and Salomons, W. (2008). *Sediment quality guidelines*. New York: Elsevier, 28-33.
- Glibert, P. M. (2017). Eutrophication, harmful algae and biodiversity- Challenging paradigms in a world of complex nutrient changes. *Marine Pollution Bulletin*, 124, 591-606.
- Gunaratne, A. M., Jayakody, S., ve Amarasinghe, (2015). Ornithological eutrophication' as a source of allochthonous nutrient enrichment in Anavilundawa reservoir. *International Review of Hydrobiology Uluslararası*, 100(5-6), 151–157.
- Gunkel, G., Kosmol, J., Sobral, M., Hendryk, R., Montenegro, S., ve Aureliano, J. (2007). Sugar-cane industry as a source of water pollution – Case study on the situation in Ipojuca River, Pernambuco, Brazil. *Limnologica Water Air and Soil Pollution*, 37180 (31-4), 179–186261-269.

- Hongyi, N. I. U., Wenjing, D., Qunhe, W. U., ve Xingeng, C. H. E. N. (2009). Potential toxic risk of heavy metals from sediment of the Pearl River in South China. *Journal of Environmental Sciences*, 21(8), 1053-1058.
- Hrdinka, T., Novický, O., Hanslík, E., and Rieder, M. (2012). Possible impacts of floods and droughts on water quality. *Journal of Hydro-Environment Research*, 6(2), 145–150.
- Huang, C. C., Lin, W. C., Ho, H. C., ve Tan, Y. C. (2019). Estimation of reservoir sediment flux through bottom outlet with combination of numerical and empirical methods. *Water*, 11 (7), 1353.
- Hwang, S. (2020). Eutrophication and the ecological health risk. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(6332), 1-6.
- Hwang, S. (2022). Eutrophication and the ecological health risk. *Public Health*, 17(6332), 1-6.
- İnternet: Devlet Su İşleri (2022, 22 Mayıs). Toprak su kaynakları. *Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü* Web: <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/754> Son Erişim Tarihi: 03.02.2025
- İnternet: Devlet Su İşleri (2024). 2024 Yılı Performans Programı. *Tarım ve Orman Bakanlığı*, Web: https://cdniys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetGaleriFile/425/DosyaGaleri/598/dsi_2024_yili_performans_programi.pdf Son Erişim Tarihi: 14.02.2025
- Jurdi, M., Ibrahim Korfali, S., Karahagopian, Y., and Davies, B. E. (2002). Evaluation of water quality of the Qaraaoun Reservoir, Lebanon: Suitability for multipurpose usage. *Environmental Monitoring and Assessment*, 77, 11-30.
- Kazancı, N. (2007). *Milli Parklarda Jeolojik Miras 1 Soğuksu Milli Parkı Kızılcahamam-Ankara*. (1. Baskı). Ankara: Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü Yayınevi, 61.
- Kazi, T. G., Arain, M. B., Jamali, M. K., Jalbani, N., Afridi, H. I., Sarfraz, R. A., Baig, J. A., and Shah, A. Q. (2009). Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(2), 301–309.
- Kim, K., Y. Yoon, Y., H. Cho, H., ve S. J. Hwang S. J. (2020). Molecular probes to evaluate the synthesis and production potential of an odorous compound (2-methylisoborneol) in cyanobacteria. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (1933), 1-9.
- Knight, C. A. (2021). Causes and consequences of eutrophication, which are leading to water pollution. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, 6(10), 118-119.
- Kozan, S. T. (2020). *Obruk baraj gölünün bakteriyolojik özelliklerinin çevre koşulları ile değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum.

- Krishna, A. K., Satyanarayanan, M., ve Govil, P. K. (2009). Assessment of heavy metal pollution in water using multivariate statistical techniques in an industrial area: a case study from Patancheru, Medak District, Andhra Pradesh, India. *Journal of Hazardous Materials*, 167, 366–373.
- Kumcu, Ş. (2012). *Gökçekaya Baraj Gölü dip sedimanının nütrient düzeylerinin belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 49-52.
- Kupiec, J. M., Staniszewski, R., ve Jusik, S. (2021). Assessment of the impact of land use in an agricultural catchment area on water quality of lowland rivers. *Peer Journal*, 9, e10564.
- Le Moal et al., 2019 M. Le Moal, M., C. Gascuel-Oudou, C., A. Ménesguen, A., Y. Souchon, Y., C. Étrillard, C., A. Levain, A., F. Moatar, F., A and Pannard, A. (2019). Eutrophication: a new wine in an old bottle? *Science of the Total Environment*, 651, 1-11.
- Li, S., Xu, Z., Cheng, X., ve Zhang, Q. (2008). Dissolved trace elements and heavy metals in the Danjiangkou Reservoir, China. *Environmental Geology*, 55(5), 977–983.
- Lin, S.-S., Shen, S. L., Zhou, A., ve Lyu, H. M. (2021). Assessment and management of lake eutrophication: A case study in Lake Erhai, China. *Science of the Total Environment*, 751, 141618.
- Linnik, P. M., ve Zubenko, I. B. (2000). Role of bottom sediments in the secondary pollution of aquatic environments by heavy-metal compounds. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, 5(1), 11-21.
- Liu, J., Hou, X., Wang, Z., ve Shen, Y. (2021). Study the effect of industrial structure optimization on urban land-use efficiency in China. *Land Use Policy*, 105, 105390.
- López Moreira, M. G., Hinegk, L., Salvatore, A., Zolezzi, G., Hölker, F., Domecq, R. A. M., Bocci, M., Carrer, S., De Nat, L., Escriba, J., Escriba, C., Benitez, G. A., Avalos, C. R., Peralta, I., Insaurralde, M., Mereles, F., Sekatcheff, J. M., Wehrle, A., Facetti-Masulli, J. F., Facetti, J. F., ve Toffolon, M. (2018). Eutrophication, research and management history of the shallow Ypacaraí Lake (Paraguay) *Sustainability*, 10(7), 2426.
- Lovley, D. R. (1993). Dissimilatory metal reduction. *Annual Review of Microbiology*, 47, 263–290.
- Lovley, D. R. (2001). Anaerobes to the rescue. *Science*, 293(5534), 1444-1446.
- Luoma, S. N., ve Rainbow, P. S. (2008). *Metal contamination in aquatic environments: science and lateral management*. Cambridge: Cambridge University Press, 492-3.
- Lüring, M., ve Mucci, M. (2020). Mitigating eutrophication nuisance: In-lake measures are becoming inevitable in eutrophic waters in the Netherlands. *Hydrobiologia*, 847, 4447–4467.

- Mao, J., Jiang, D., ve Dai, H. (2015). Bir rezervuar kolu körfezinin mekansal-zamansal hidrodinamik ve alg patlaması modelleme analizi. *Journal of Hydro -Environment Researchs*, 9(2), 200-215.
- Młynarczyk, N., Bartoszek, M., Polak, J., and Sułkowski, W. (2013). Forms of phosphorus in sediments from the Goczałkowice Reservoir. *Jeoki Applied Geochemistry*, 37, 87–93.
- Morel, F. M. M., Kraepiel, A. M. L., and Amyot, M. (1998). Mercury bioaccumulation. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29, 543–566.
- Mudroch, A., ve MacKnight, S. D. (1994). *Handbook of techniques for aquatic sediment sampling*. Boca Raton, FL: CRC Press, 5-11.
- Müller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2(3), 108–118.
- Naselli-Flores, L. (2011). Mediterranean climate and eutrophication of reservoirs: Limnological skills to improve management. In A. A. Ansari, S. S. Gill, G. R. Lanza, and W. Rast (Eds.), *Eutrophication: Causes, consequences and control*. New York: Springer, 131-142.
- Nieto, P. G., García-Gonzalo, E., Fernández, J. A., ve Muñiz, C. D. (2019). Water eutrophication assessment relied on various machine learning techniques: A case study in the Englishmen Lake Northern Spain. *Ecological Modelling*, 404, 91-102.
- Nriagu, J. O. (1989). A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals. *Nature*, 338, 47–49.
- Padedda, B. M., Sechi, N., Lai, G. G., Mariani, M. A., Pulina, S., Sarria, M., Satta, C. T., Viridis, T., Buscarinu, P., and Luglie, A. (2017). ve ark. AConsequences of eutrophication in the management of water resources in Mediterranean reservoirs: A case study of Lake Cedrino (Sardinia, Italy). *Global Ecology and Conservation*, 12, 21–35.
- Paerl, H. W, ve Otten, T. G. (2013). Harmful cyanobacterial blooms: Causes, consequences, and controls. *Environmental Microbiology*. 65, 995-1010.
- Palermo, M. R. (1998). Design considerations for in-situ capping of contaminated sediments. *Water Science and Technology*, 37(6-7), 315-321.
- Park, M. H., Park, C. H., Sim, Y. B., and Hwang, S. J. (2020). Response of *Scenedesmus quadricauda* (Chlorophyceae) to salt stress considering nutrient enrichment and intracellular proline accumulation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (3624), 1-12.
- Payen, S., ve Ledgard, S. F. (2017). Aquatic eutrophication indicators in LCA: Methodological challenges illustrated using a case study in New Zealand. *Journal of Cleaner Production*, 168, 1463–1472.
- Puchlik, M., Piekutin, J., ve Dyczewska, K. (2021). Analysis of the impact of climate change on surface water quality in north-eastern Poland. *Energies*, 15(1), 164.

- Qi, J., L. Deng, L., Song, Y., Qi, W., ve Hu, C. (2022). Nutrient thresholds required to control eutrophication: does it work for natural alkaline lakes? *Water (Basel)*, 14 (2674), 1-6.
- Qin, B., Gao, G., Zhu, G. W., Zhang, Y. L., Song, Y. Z., Tang, X. M., Xu, H., ve Deng, J. M. (2013). Lake eutrophication and its ecosystem response. *Chinese Science Bulletin*, 58, 961-970.
- Rathore, S.S., Chandravanshi, P., Chandravanshi, A., ve Jaiswal, K. (2016). Eutrophication: Impacts of excess nutrient inputs on aquatic ecosystem. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 9(10), 89–96.
- Rathore, S.S., Chandravanshi, P., Chandravanshi, A., ve Jaiswal, K. (2016). Eutrophication: İmpacts of excess nutrient inputs on aquatic ecosystem. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 9(10), 89–96
- Rochman, C. M., Hoh, E., Hentschel, B. T., ve Kaye, S. (2013). Long-term field measurement of sorption of organic contaminants to five types of plastic pellets: implications for plastic marine debris. *Environmental Science and Technology*, 47(3), 1646-1654.
- Saha, A., Ramya, V. L., Jesna, P. K., Mol, S. S., Panikkar, P., Vijaykumar, M. E., Sarkar, U. K., ve Das. B. K. (2021). Evaluation of spatio-temporal changes in surface water quality and their suitability for designated uses, Mettur Reservoir, India. *Natural Resources Research*, 30, 1367–1394.
- Santschi, P. H., Guo, L., Asbill, S., Allison, M., Kepple, A. B., ve Wen, L. S. (2001). Accumulation rates and sources of sediments and organic carbon on the Palos Verdes shelf based on radioisotopic tracers (^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{210}Pb , ^{234}Th , ^{238}U and ^{14}C). *Marine Chemistry*, 73(2), 125-152.
- Schindler, D. W., Hecky, R. E., Findlay, D. L., Stainton, M. P., Parker, B. R., Paterson, M. J., Beaty, K. G., Lyng, M., ve Kasian, S. E. M. (2008). Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: Results of a 37-year whole-ecosystem experiment. *Proceedings of the National*. 105, 11254–11258.
- Sever, R. (2005). *Coğrafi açıdan bir araştırma: Çoruh havzası enerji yatırım tez çalışmaları ve çevresel etkileri*. Konya: Çizgi Kitabevi, 249.
- Sonarghare, P. C., Masram, S. C., Sonparote, U. R., Khaparde, K. P., and Kharkate, S. K. (2020). Causes and effects of eutrophication on aquatic life (a review). *International Journal for Environmental Rehabilitation and Conservation*, 11(2), 213-218.
- Sönmez, M. E. (2012). Barajların mekân üzerindeki olumsuz etkileri ve Türkiye'den örnekler. *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 11(1), 213-231.
- Strahler, A. H., and Strahler, A. N. (2003). *Introducing physical geography*. New York: John Wiley, 499-502.
- Su, Y., Hu, M., Wang, Y., Zhang, H., He, C., Wang, Y., Wang, D., Wu, X., Zhuang, Y., Hong, S., ve Trolle, D. (2022). Identifying key drivers of harmful algal blooms in a tributary of the Three Gorges Reservoir between different seasons: Causality based on data-driven methods. *Environmental Pollution*, 297, 118759.

- Sun, C., Wang, S., Wang, H., Hu, X., Yang, F., Tang, M., Zhang, M., and Zhong, J. (2022). Internal nitrogen and phosphorus loading in a seasonally stratified reservoir: Implications for eutrophication management of deep-water ecosystems. *Journal of Environmental Management*, 319, 115681.
- Şimşek, H. (2011). *Sazlıdere Baraj Gölü'nün mikrobiyolojik ve kimyasal kirlilik düzeyinin belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 24-6.
- Tardu, Durst F. (1995). *Turbulent Shear Flows 9: Selected Papers from the Ninth International Symposium on Turbulent Shear Flows*. (1st ed.). Berlin: Springer, 301-322.
- Tessier, A., Campbell, P. G. C., and Bisson, M. (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals, *Analytical Chemistry*, 51(7), 844–851.
- Turoğlu, H. ve Özdemir, H. (2005). *Bartın'da sel ve taşkınlar: Sebepler, etkiler, önleme ve zarar azaltma önerileri*. İstanbul: Çantay Kitabevi, 104-110.
- Twenhofel, W. H. (1932). Relation of Geology to Oceanography. *The Scientific Monthly*, 34(5), 429-441.
- Varol, M. (2020). Spatio-temporal changes in surface water quality and sediment phosphorus content of a large reservoir in Turkey. *Environmental Pollution*, 259, 113860.
- Varol, M., Gökot, B., Bekleyen, A., ve Şen, B. (2012). Spatial and temporal variations in surface water quality of the dam reservoirs in the Tigris River basin, Turkey. *Catena An Interdisciplinary Journal Of Soil Science, Hydrology, Geomorphology*, 92, 11–21.
- Venkatramanan, S., Chung, S. Y., Ramkumar, T., Gnanachandrasamy, G, and Kim, T. H. (2015). Evaluation of geochemical behavior and heavy metal distribution of sediments: the case study of the Tirumalairajan river estuary, southeast coast of India. *International Journal of Sediment Research*, 30, 28–38.
- Venkatramanan, S., Ramkumar, T., Anithamary, I., and Vasudevan, S. (2012). Heavy metal distribution in surface sediments of the Tirumalairajan river estuary and the surrounding coastal area, east coast of India. *Arabian Journal of Geoscience*, 7, 123–130.
- Wan, J., X. Yuan, X., Han, L., Ye, H., ve Yang, X. (2020). Characteristics and distribution of organic phosphorus fractions in the surface sediments of the inflow rivers around Hongze Lake, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(648), 1-12.
- Wang, S., Li, J., Zhang, B., Spyarakos, E., Tyler, A. N., Shen, Q., Zhang, F., Kuster, T., Lehmann, M. K., Wu, Y., ve Peng, D. (2018). Trophic state assessment of global inland waters using a MODIS-derived Forel-Ule index. *Remote Sensing of Environment*, 217, 444–460.

- Watanabe, T, Cullmann, J., Pathak, C. S., Turunen, M., Emami, K., Ghinassi, G., ve Siddiqi, Y. (2017). Management of climatic extremes with focus on floods and droughts in agriculture. *Irrigation and Drainage*, 67 (1), 29–42.
- World Health Organization (WHO). (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality*. (4th ed.) Geneva: Who, 22-8.
- Wu, D., Yan, H., Shang, M., Shan, K., and Wang, G. (2017). Water eutrophication evaluation based on semi-supervised classification: A case study in Three Gorges Reservoir. *Ecological Indicators*, 81, 362–372.
- Xu, H., Paerl, HW, Qin, B., Zhu, G., and Gao, G. (2010). Nitrogen and phosphorus inputs control phytoplankton growth in eutrophic Lake Taihu, China. *Limnology and Oceanography*, 55, 420–432.
- Yang, C. (2022). Yang Review on the causes of eutrophication in water. *International Seminar on Education, Management and Social Sciences*, 687, 246-252.
- Zaldívar, J. M., Cardoso, A. C., Viaroli, P., Newton, A., de Wit, R., Ibañez, C., Reizopoulou, S., Somma, F., Razinkovas-Baziukas, A., Basset, A., Holmer, M., ve Murray, N. (2008). Eutrophication in transitional waters: an overview. *Transitional Waters Monografileri Monographs*, 1, 1-78.
- Zarfl, C., Lumsdon, A. E., Berlekamp, J., Tydecks, L., ve Tockner, K. (2015). A global boom in hydropower dam construction. *Aquatic Sciences*, 77, 161-170.
- Zhang, H. (2022). Lake management ve eutrophication mitigation: coming down to earth-in situ monitoring, scientific management and well-organized collaboration are still crucial. *Water (Basel)*, 14 (287818), 1-7.



EKLER

EK-1. Laboratuvar fotoğrafları



EK-1. (devam) Laboratuvar fotoğrafları



EK-1. (devam) Laboratuvar fotoğrafları



EK-1. (devam) Laboratuvar fotoğrafları



EK-1. (devam) Laboratuvar fotoğrafları



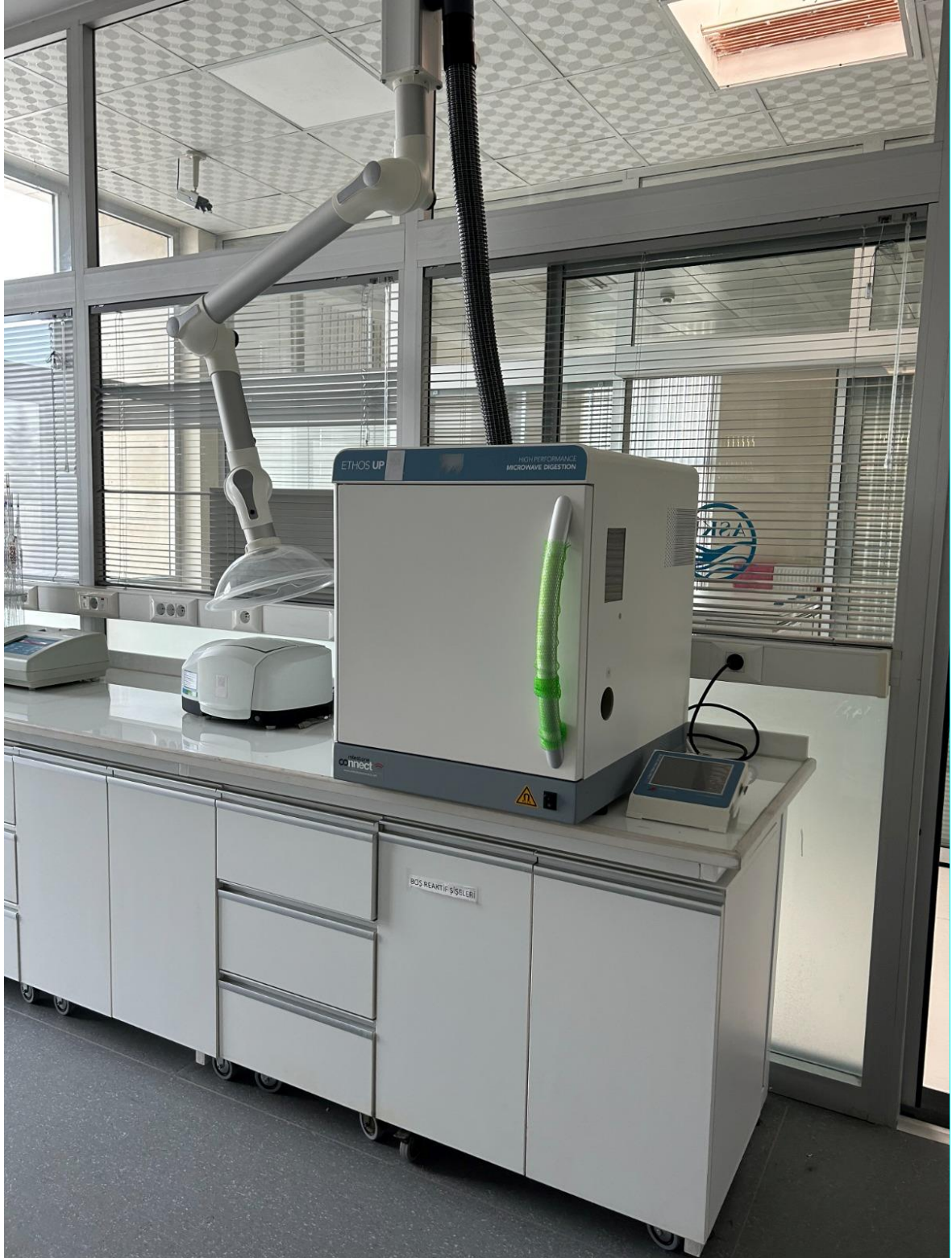
EK-1. (devam) Laboratuvar fotoğrafları



EK-1. (devam) Laboratuvar fotoğrafları



EK-1. (devam) Laboratuvar fotoğrafları



EK-1. (devam) Laboratuvar fotoğrafları





Gazili olmak ayrıcalıktır