

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TUŞBA, VAN BÖLGESİNDEKİ ANTİK SU YAPILARININ JEO-
MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Nilay GÜLYÜZ
DANIŞMAN: Doç. Dr. Levent SELÇUK

VAN-2018

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TUŞBA, VAN BÖLGESİNDEKİ ANTİK SU YAPILARININ JEO-
MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Nilay GÜLYÜZ

VAN-2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doç.Dr. Levent SELÇUK danışmanlığında, Nilay GÜLYÜZ tarafından sunulan "Tuşba, Van Bölgesindeki Antik Su Yapılarının Jeo-Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi" isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 27/07/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi Turgay BEYAZ

İmza:

Üye: Doç. Dr. Levent SELÇUK

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül Feray MEYDAN

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 03.08.2018 tarih ve 2018/36-I sayılı kararı ile onaylanmıştır.



TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Nilay GÜLYÜZ

ÖZET

TUŞBA, VAN BÖLGESİNDEKİ ANTİK SU YAPILARININ JEO-MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

GÜLYÜZ, Nilay

Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Levent SELÇUK

Temmuz 2018, 93 sayfa

Urartular (M.Ö. 850-600) Van yöresinde sulama kanalları, bent, baraj, vb. yapı içeren etkin bir sulama sistemi inşa etmişlerdir. Bu antik yapılar tarihsel süreç içerisinde hasar görmüş olsa da, bir kısmı günümüzde hala işlevini sürdürmektedir.

Bu çalışmanın amacı, Van bölgesi Urartu dönemi su yapılarının jeo-mühendislik özelliklerinin incelenmesi ve bu yapıların günümüz modern baraj/bent yer seçim ve tasarım kriterleri açısından değerlendirilmesidir. Bu amaçla, söz konusu yapıların üzerinde bulunduğu jeolojik birimler, yapıların geometrileri ve yapı malzemeleri belirlenmiştir. Arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen malzeme parametreleri kullanılarak, Faruk bendinin sismik performansı boş ve dolu rezervuar koşullarında sonlu eleman analiz programı “Ansys Workbench” ile değerlendirilmiştir.

Yapılan arazi çalışmalarında, su yapılarının büyük bir kısmının uygun jeolojik birimler üzerinde inşa edildiği, inşalarında jeolojik birimlerin tabaka pozisyonu gibi kritik jeolojik özelliklerin dikkate alındığı ve topografyadan yararlanıldığı görülmüştür. Yapıların Urartular tarafından ortaya konulan yer seçimi ve tasarımına ait bu ilk uygulamalar, günümüz modern saha seçimi ve tasarım kriterlerini anımsatmaktadır.

Faruk bendi üzerinde yapılan sismik performansa dayalı analizlerde, bendin bölgeyi karakterize eden depremlerden dolayı ciddi bir hasar görmediği, ancak belirli bir deformasyona maruz kaldığı belirlenmiştir. Söz konusu deformasyonların tarihsel süreçteki farklı sismik yüklerin etkisiyle gelişebileceği söz konusudur. Dolayısıyla, bendin bu deformasyonlara bağlı olarak su tutma özelliğini yitirmesi ve yapısı boyunca ve/veya temelindeki jeolojik farklılıklardan kaynaklı olarak zamanla aşınarak yıkıldığı çıkarımı yapılabilir.

Anahtar kelimeler: Baraj, Bent, Jeo-mühendislik, Sonlu eleman analizi, Urartu su yapıları, Van.

ABSTRACT

EVALUATION OF GEO-ENGINEERING PROPERTIES (CHARACTERISTICS) OF ANTIQUE WATER STRUCTURES AROUND TUSHPA, VAN REGION

GÜLYÜZ, Nilay

MSc. Thesis, Geological Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Levent SELÇUK

July 2018, 93 pages

Urartian Kingdom (850-600 B.C.) built an effective water supply system including irrigation channels, embankments and dams around Van region. Although these antique water structures were damaged in their historic process, most of them are still in use today.

The main aim of this study is to investigate geo-engineering characteristics of Urartian water structures around Van region and to evaluate these structures in terms of modern dam site selection and design criteria. For these purposes, geological units on which these structures locate, geometries and construction materials of the structures were determined. Using the material properties obtained from the field and laboratory studies, seismic performance of Faruk embankment were evaluated in terms of empty and full reservoir conditions in finite element analysis software “*Ansys Workbench*”.

The field studies indicate that the critical geological factors for constructing water structures, such as selecting suitable geological units, considering bedding attitudes and topography were considered during construction of the structures. The site selection, plan and design applications of water structures firstly performed by Urartians are similar to today’s modern site selection and design criteria.

According to the numeric analyses of Faruk embankment, the structure was not damaged seriously, but a deformation growth under the effect of seismic loads in the historic process is highly possible. Accordingly, it can be deduced that the structure collapsed by scouring occurred due to (1) lost of water retention property of the structure by deformation and (2) geological differences in the embankment foundation.

Keywords: Dam, Embankment, Finite element analysis, Geo-engineering, Urartian water structures.



ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Levent SELÇUK'a teşekkür ederim. Bu çalışma sırasında bana destek veren inşaat mühendisi Refik Burak TAYMUŞ'a, Doç. Dr. Azad SAĞLAM SELÇUK'a ve Dr. Öğr. Üyesi Erhan GÜLYÜZ'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, çalışmam sırasında her türlü manevi desteği sağlayan aileme ve ilham kaynağım oğlum Doruk'a minnettarım. Onlar iyi ki varlar...

2018
Nilay GÜLYÜZ



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1.Çalışma Alanının Tanıtımı	1
1.2. Tezin Akışı	2
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	3
2.1. Van Bölgesinin Jeolojisi Hakkındaki Çalışmalar	3
2.2. Van Yöresi Urartu Dönemi Su Yapıları Hakkındaki Çalışmalar	7
2.3. Jeoloji.....	9
2.3.1. Doğu Anadolu Bölgesi'nin genel jeolojisi	9
2.3.1.1. Paleotektonik yapılar ve kayalar (Paleotektonik birimler).....	9
2.3.1.2. Neotektonik yapılar ve kayalar (Neotektonik birimler)	11
2.3.2. Bölgenin yapısal jeolojisi	11
2.3.3. Van Gölü ve yakın çevresinin depremselliği	12
2.3.3.1. Tarihsel dönem	13
2.3.3.2. Aletsel dönem.....	15
2.3.4. Çalışma alanının jeolojisi	17
2.3.4.1. Karbonifer mermer üyesi.....	17
2.3.4.2. Yamanyurt Formasyonu	18

	Sayfa
2.3.4.3. Tozutepe Formasyonu	19
2.3.4.4. Mehmetalan peridotiti	19
2.3.4.5. Bakışık melanj ve olistostromu	19
2.3.4.6. Yüksekova karmaşığı	20
2.3.4.7. Toprakkale Formasyonu	21
2.3.4.8. Yücelendere Formasyonu	21
2.3.4.9. Van Formasyonu	21
2.3.4.10. Saray Formasyonu	22
2.3.4.11. Kuvaterner traverten	23
2.3.4.12. Kuvaterner alüvyon	23
2.4. Urartu Dönemi Su Yapıları	23
2.4.1. Menua (Şamran/Semiramis) Kanalı	25
2.4.2. Rusa (Keşiş) Gölü ve Döni Gölü barajları	28
2.4.3. Faruk Bendi	36
3. MATERYAL VE YÖNTEM	39
3.1. Ofis Çalışmaları	39
3.2. Arazi Çalışmaları	39
3.3. Arazi ve Laboratuvarda Yapılan Deneysel Çalışmalar	40
3.3.1. Schmidt çekici	40
3.3.2. Tek eksenli basınç deneyi	42
3.3.3. Nokta yükü indeks deneyi	42
3.4. Sonlu Elemanlar Metodu (SEM)	44
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	47
4.1. Antik Urartu Su Yapılarının (Van/Tuşba) Modern Yer Seçim ve Tasarım Kriterleri Açısından Değerlendirilmesi	47

	Sayfa
4.1.1. Topografya	48
4.1.2. Jeolojik yapı	52
4.1.3. Baraj yapı malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri.....	57
4.1.4. Depremsellik (Sismisite)	65
4.1.5. İklim koşulları	66
4.1.6. Göl bölgesinin hidrolojik ve morfolojik özellikleri	66
4.2. Faruk Bendinin Performansının “Ansys Workbench” Sonlu Eleman Analizi Programı ile Değerlendirilmesi	69
4.3. Genel Tartışma	79
5. SONUÇ.....	85
6. KAYNAKLAR.....	89
ÖZ GEÇMİŞ.....	93

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Van Bölgesi'nde gerçekleşen tarihsel dönem depremleri	14
Çizelge 4.1. Su yapılarının tepe uzunluğu (W), yüksekliği (H) ve vadi şekli faktörleri (K).....	48
Çizelge 4.2. Faruk Bendi çevre traverten kayaç numunelerinin bazı indeks ve dayanım özellikleri	60
Çizelge 4.3. Faruk Bendi bağlayıcı malzemesi numunelerinin nokta yükleme deneyi sonuçları ve nokta yükleme dayanım indeksleri.....	61
Çizelge 4.4. Faruk bendi yapı malzemesi, bağlayıcı malzeme ve çevre kayaç travertenin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri.....	62
Çizelge 4.5. Faruk bendi analizlerinde bendin yapı malzemesi ve bağlayıcı malzemesi için kullanılan parametreler	71
Çizelge 4.6. Faruk bendine boş ve dolu rezervuar durumlarında maksimum 0.3g ve 0.4g ivmeli sismik yükler uygulandıktan sonra bentte meydana gelen maksimum toplam deformasyon değerleri	77
Çizelge 4.7. Faruk bendine boş ve dolu rezervuar durumlarında maksimum 0.3g ve 0.4g ivmeli sismik yükler uygulandıktan sonra bentte hesaplanan maksimum gerilme değerleri	78



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	2
Şekil 2.1. Doğu Anadolu Platosu ve platoyu sınırlayan kıtasal bloklar ve kenet kuşakları (Topuz ve ark., 2017'den değiştirilmiştir).	10
Şekil 2.2. Doğu Anadolu Bölgesi'nin basitleştirilmiş jeoloji haritası ve tektonik birimleri (Şengör ve ark., 2003'den değiştirilmiştir).....	12
Şekil 2.3. Doğu Anadolu Platosu ve yakın civarının aktif fayları (Koçyiğit 2013'den değiştirilmiştir).	13
Şekil 2.4. Van ve civarında gerçekleşmiş tarihsel dönem depremlerinin en şiddetli hissedildiği yerleşim yerleri lokasyonları (Depremler: Tchalenko, 1977; Soysal ve ark., 1981; Ambraseys ve Finkel, 1995; Ambraseys ve Jackson, 1998; Guidobani ve Compastri, 2005).....	14
Şekil 2.5. Van ve yakın civarında gerçekleşmiş aletsel dönem depremleri ve son yıllarda oluşmuş bazı depremlerin odak mekanizmaları (KANDİLLİ, USGS, TÜBİTAK, EMSC).	16
Şekil 2.6. 23 Ekim 2011 Van ve sonrasında oluşan depremlerin (Mw>5) farklı kaynaklara göre odak mekanizma çözümleri ve dağılımları (EMSC) (KAN: B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü; EMSC: Avrupa Ortadoğu Sismoloji Merkezi; AZUR: Nice Üniversitesi, GeoAzur Laboratuvarı, Fransa; GFZ: Almanya Yerbilimleri Araştırma Merkezi; ERD: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Araştırma Dairesi; HARV: Harvard CMT Kataloğu; INGV: Ulusal Deprem İzleme Merkezi, İtalya. USGS: Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Dairesi).....	16
Şekil 2.7. Çalışma alanının jeoloji haritası (Sümengen, 2008'den değiştirilerek hazırlanmıştır).....	18
Şekil 2.8. Urartu Krallığı (M.Ö. 850-600) (Garbrecht, 1980'den alınmıştır).	23
Şekil 2.9. Urartu Krallığı'nın başkentleri Tuşba ve Rusahinili (Garbrecht, 1980'den alınmıştır).....	24
Şekil 2.10. Van Ovası su yönetim sistemi ve Urartu dönemi su yapıları (Garbrecht, 1987'den alınmıştır).....	25
Şekil 2.11. Günümüz Menua Kanalı'ndan bir görüntü (Öziş, 1999' dan alınmıştır).	26
Şekil 2.12. Menua Kanalı'nın çıkış kaynağının doğudan fotoğrafı (Belli, 1997'den alınmıştır).....	27

Şekil	Sayfa
Şekil 2.13. Şamran Kanalı'nın Engil çayını beton köprü (aşirtma kemeri) ile geçişi (Bildirici, 2009'dan alınmıştır).....	27
Şekil 2.14. Menua Kanalı istinat (destek) duvarları (Belli, 1997'den alınmıştır).....	28
Şekil 2.15. Berlin Pergamon Müzesi'ndeki Rusa Barajı ile ilgili çivi yazılı Urartu steli (Bildirici, 2009'dan alınmıştır).....	29
Şekil 2.16. Rusa (Keşiş) Gölü'nün günümüzden bir görüntüsü (Belli, 1997'den alınmıştır).....	30
Şekil 2.17. Rusa Gölü önu köreltilmiş güneybatı barajının batıdan görünüşü (Belli, 1997'den alınmıştır).....	31
Şekil 2.18. Döni Gölü büyük (birinci) barajının bir görüntüsü (Garbrecht, 1987'den alınmıştır).....	32
Şekil 2.19. Kısmen yıkılmış Döni Gölü ikinci barajının bir görüntüsü (Garbrecht, 1987'den alınmıştır).....	33
Şekil 2.20. Rusa Gölü kuzeybatı barajından bir görüntü (Garbrecht, 1987'den alınmıştır).....	33
Şekil 2.21. Rusa Gölü kuzeybatı barajının kuzeybatıdan görünüşü (Belli, 1997'den alınmıştır).....	34
Şekil 2.22. Sıhke Gölet'inden bir görüntü (Bildirici, 2009'dan alınmıştır).....	35
Şekil 2.23. Sıhke Göleti suları altında kalan antik Urartu bendinin kuzeybatıdan görünüşü (Belli, 1997'den alınmıştır).....	35
Şekil 2.24. Faruk Bendi'nin yıkılmadan önce membadan görünüşü (Bildirici, 2009'dan alınmıştır).....	37
Şekil 2.25. Faruk Bendi'nin yıkılmadan önce mansaptan görünüşü (Bildirici, 2009'dan alınmıştır).....	37
Şekil 2.26. Faruk Bendi'nin yıkıldıktan sonra mansaptan bir görüntüsü (Hepbostancı ve ark., 2015'den alınmıştır).....	38
Şekil 3.1. Faruk Bendi akış yukarı duvarında Schmidt çekici deneyi.....	41
Şekil 3.2. Bent yapı malzemesi ile benzerlik gösteren çevre kayaçtan alınan blok numunenin karotiyer ile kesilmesi.....	43
Şekil 3.3. Şekilsiz döküntü bağlayıcı malzeme numunesi üzerinde nokta yükleme deneyi.....	44

Şekil	Sayfa
Şekil 3.4. a) Bir barajın geometrik modeli üzerinde oluşturulmuş çözüm ağı. b) Üçgen ve kare eleman tipleri ve de eleman ve düğüm noktasını gösterir örnek.	45
Şekil 4.1. Urartu Krallığı başkentleri Tuşba ve Rusahinili'nin su yönetim sistemi ve Urartu dönemi su yapıları.	47
Şekil 4.2. Dar ve geniş U ve V şekilli vadi çeşitleri ve bir vadideki geometrik unsurlar. W: barajın tepe uzunluğu, H: baraj yüksekliği.	48
Şekil 4.3. a) Rusa KB-1 (eski) ve KB-2 (yeni) barajlarının uydu görüntüsü. b) Rusa KB-1 (eski) barajının profili. c) Rusa KB-2 (yeni) barajının profili.	49
Şekil 4.4. a) Rusa GB barajının uydu görüntüsü. b) Rusa GB barajının profili.	50
Şekil 4.5. a) Döni 1 barajının uydu görüntüsü. b) Döni-1 barajının profili.	50
Şekil 4.6. a) Faruk bendinin uydu görüntüsü. b) Faruk bendinin enine kesiti.	51
Şekil 4.7. DSİ tarafından 1960 yılında inşa edilen beton kanal ve Urartu dönemi kanalına (Menua kanalı diğer ismiyle Şamran kanalı) ait şematik gösterim ve kanala ait destek duvarları.	52
Şekil 4.8. Urartu barajlarının Bölüm 3'de verilen çalışma alanının jeoloji haritası üzerindeki konumları.	53
Şekil 4.9. a) Rusa KB-2 barajı ve üzerinde bulunduğu jeolojik birimler. b) Rusa KB-2 barajının Şekil 4.3a'da verilen hat üzerinden hazırlanmış enine kesiti.	54
Şekil 4.10. Rusa GB barajı ve üzerinde bulunduğu jeolojik birimler.	54
Şekil 4.11. Faruk bendi ve üzerinde bulunduğu jeolojik birimler.	55
Şekil 4.12. Faruk bendi güney kanadının üzerinde bulunduğu ofiyolitik birim boyunca gözlenen kütle hareketleri.	55
Şekil 4.13. Tabaka doğrultusunun baraj eksenine dik olması halindeki durumlar.	56
Şekil 4.14. Tabaka doğrultusunun ve baraj eksenine paralel olması halindeki durumlar.	57
Şekil 4.15. Faruk bendi traverten yapı malzemesinin akış yukarı duvarından görünümü.	58
Şekil 4.16. Faruk bendine yakın çevre traverten mostrasından alınan bloklardan (FB2 ve FB3) elde edilen 54 mm çapındaki silindir numuneler.	58

Şekil	Sayfa
Şekil 4.17. Traverten çevre kayaç numunelerine ait gerilme-deformasyon eğrileri.	59
Şekil 4.18. Faruk Bendi duvar yapısı ve bağlayıcı malzemesi.....	61
Şekil 4.19. Engüsner çayı boyunca gözlenen Faruk bendine ait şekilsiz bağlayıcı malzeme döküntüleri.	61
Şekil 4.20. Rusa KB barajına ait görünüm.	63
Şekil 4.21. Rusa GB barajı memba ve mansaba ait görünüm.	64
Şekil 4.22. Rusa GB barajına ait görünümü ve barajın enine kesiti.....	64
Şekil 4.23. Döni 1 barajına ait görünüm (Bakış yönü KD).....	65
Şekil 4.24. 17172 kodlu Van istasyonunun 1960-2014 yılları için yıllık toplam yağış miktarlarının sütun grafiği.	66
Şekil 4.25. Rusa Gölü güncel su toplama havzası, havza içerisindeki dereler ve havzanın kapladığı alan.	67
Şekil 4.26. Rusa Gölü'nün günümüzde ve Urartular döneminde kapladığı yüzey alanının bölgenin sayısal yükseklik modeli (DEM) üzerindeki görünümü.....	68
Şekil 4.27. Rusa Gölü'nün günümüzdeki (2544 m) ve Urartular dönemindeki (2562 m) yüzeyleri arasında kalan 3B bölgenin MOVE programındaki modeli... ..	68
Şekil 4.28. a) Faruk bendinin yıkılmadan önce membadan görünüşü. b) Faruk bendinin yıkılmadan önce mansaptan görünüşü (Bildirici, 2009'dan alınmıştır).....	69
Şekil 4.29. Faruk bendinin günümüzdeki kısmen yıkık halinin membadan görünümü.....	70
Şekil 4.30. a) Faruk bendinin düşey kesiti. b) Faruk bendinin planı.	71
Şekil 4.31. a) Faruk bendinin “Ansys Workbench” programında oluşturulmuş modeli. b) Bendin üzerinde oluşturulmuş ağ modeli.....	72
Şekil 4.32. a) Bendin modelinin ağırlık merkezi üzerindeki ağırlık kuvveti. b) Bendin memba duvarına üzerine uygulanan hidrostatik kuvvet.....	72
Şekil 4.33. Bende maksimum su kuvveti uygulandıktan sonra bentte meydana gelen gerilmelerin bendin 2B geometrik modeli üzerindeki dağılımı.....	73

- Şekil 4.34. a) Maksimum 0.3 g ivmeli yaklaşık 20 sn. süreli depremin ivme-zaman grafiği. b) Maksimum 0.4 g ivmeli yaklaşık 20 sn. süreli depremin ivme-zaman grafiği. 74
- Şekil 4.35. a) Boş rezervuar durumunda bende maksimum 0.3 g ivmeli deprem yükü uygulandıktan sonra bentte meydana gelen maksimum toplam deformasyonun bendin 2B geometrik modeli üzerindeki dağılımı. b) Dolu rezervuar durumunda bende maksimum 0.3 g ivmeli deprem yükü uygulandıktan sonra bentte meydana gelen maksimum toplam deformasyonun bendin 2B geometrik modeli üzerindeki dağılımı. 75
- Şekil 4.36. a) Boş rezervuar durumunda bende maksimum 0.4 g ivmeli deprem yükü uygulandıktan sonra bentte meydana gelen maksimum toplam deformasyonun bendin 2B geometrik modeli üzerindeki dağılımı. b) Dolu rezervuar durumunda bende maksimum 0.4 g ivmeli deprem yükü uygulandıktan sonra bentte meydana gelen maksimum toplam deformasyonun bendin 2B geometrik modeli üzerindeki dağılımı. 76
- Şekil 4.37. a) Boş rezervuar koşulunda bende maksimum 0.3g ivmeli deprem uygulandığında bentte meydana gelen maksimum gerilmenin dağılımını gösteren model. b) Boş rezervuar koşulunda bende maksimum 0.3g ivmeli deprem uygulandığında bentte meydana gelen maksimum gerilmenin dağılımını gösteren model. 77
- Şekil 4.38. a) Dolu rezervuar durumunda bende maksimum 0.3g ivmeli deprem uygulandığında bentte meydana gelen maksimum gerilmenin dağılımını gösteren model. b) Dolu rezervuar durumunda bende maksimum 0.3g ivmeli deprem uygulandığında bentte meydana gelen maksimum gerilmenin dağılımını gösteren model. 78
- Şekil 4.39. Anadolu'da inşa edilen Roma dönemi barajları: **a)** Antik Örukaya barajı (Çorum, M.S. 2.yüzyıl), **b)** Antik Dara barajı (Mardin, yaklaşık M.S. 6. yüzyıl), **c)** Çavdarhisar-Aizonai barajı (Kütahya, M.S. 1-2. yüzyıl). 80



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
B	Batı
cm	Santimetre
cm³	Santimetreküp
D	Doğu
E	Elastisite Modülü
G	Güney
g	Yerçekimi İvmesi
gr	Gram
Io	Depremin Maksimum Şiddeti
K	Kuzey
km	Kilometre
km²	Kilometrekare
MPa	Megapaskal
Ms	Yüzey Dalgası Magnitudü
Mw	Moment Magnitudü
m	Metre
m²	Metrekare
m³	Metreküp
mm	Milimetre
°C	Derece Santigrat
P	Yük
RN	Schmidt Çekici Geri Sıçrama Değeri
v	Poisson Oranı
w	Ağırlık

Kısaltmalar

Açıklama

2B	İki Boyutlu
3B	Üç Boyutlu
ASTM	Amerikan Malzeme Test Birliği
AZUR	Nice Üniversitesi, GeoAzur Laboratuvarı
BZKK	Bitlis Zagros Kenet Kuşağı
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
DAF	Doğu Anadolu Fayı
DAP	Doğu Anadolu Platosu
DEM	Sayısal Yükseklik Modeli
DSİ	Devlet Su İşleri
EMSC	Avrupa Ortadoğu Sismoloji Merkezi
ERD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Araştırma Dairesi
IS₅₀	50 mm Karot Çapına Göre Düzeltilmiş Nokta Yükleme Dayanım İndeksi
HARV	Harvard Deprem Katoluğu
ISRM	Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği
İAEKK	İzmir Ankara Erzincan Kenet Kuşağı
KAF	Kuzey Anadolu Fayı
KAN	Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
M.Ö.	Milattan Önce
M.S.	Milattan Sonra
MTA	Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü
my	Milyon Yıl
SEM	Sonlu Eleman Metodu
SRTM	Mekik Radar Topografya Görevi
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UCS	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı
USGS	Birleşik Devletler Jeologlar Birliği

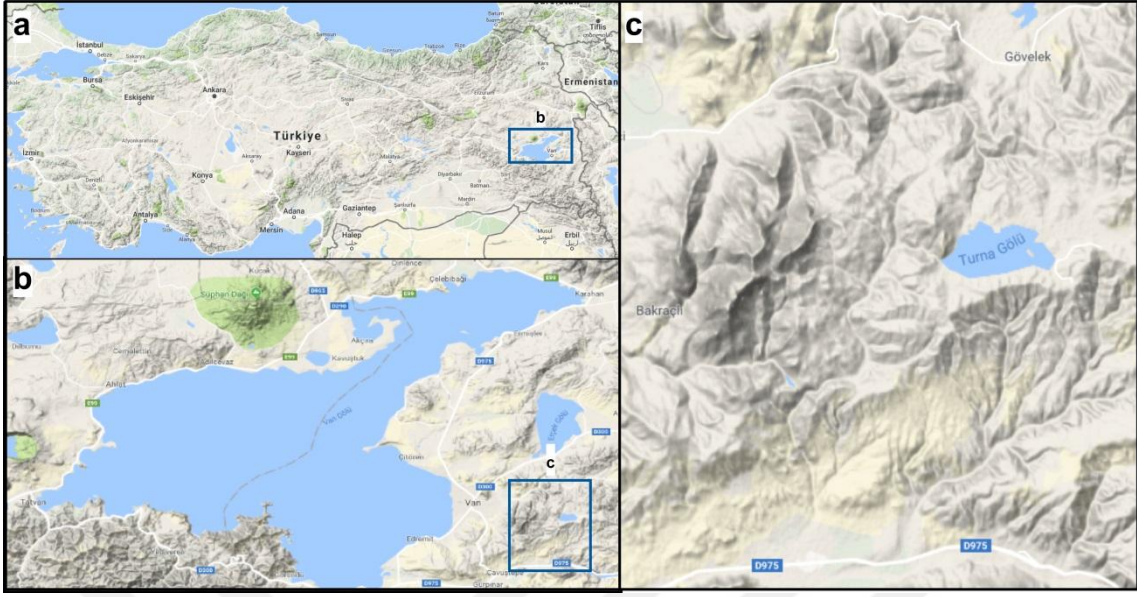
1. GİRİŞ

Anadolu toprakları üzerinde tarih boyunca birçok medeniyet gelişmiştir. Bunlardan birisi de Doğu Anadolu Bölgesi Van yöresindeki Urartulardır. Tuşba, Van, M.Ö. 850-600 yılları arasında hüküm süren Urartu Krallığı'nın başkentidir. Van Gölü'nün 1.5 km doğusunda bulunan başkent Tuşba ve Van ovası, doğuda 3200 m yükseklikte bulunan Erek Dağı ile çevrilidir. 9 km genişlikte ve 17 km uzunluğundaki Van Ovası su kaynakları açısından oldukça fakir olsa da, Van Ovası'nın doğusundaki Erek Dağı'nda ve çevresinde bulunan zengin su kaynakları ovadaki tarım faaliyetleri için bölgeye yeterli suyu sağlamıştır. Erek Dağı'nın üzerinde ve çevresinde, Van Ovası'na su sağlama amaçlı yapılmış birçok antik su yapısı bulunmaktadır. Her ne kadar bu yapıların bir kısmı 2800 yıl öncesine dayansa da, bazılarının Roma ve Osmanlı dönemine ait yapılar olduğu belirtilmektedir. Bölgedeki antik su yapılarının bir kısmı geçmiş dönemlerde hasar görmüş ve yıkılmış olsa da, Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki yoğun sismik ve volkanik faaliyetlere rağmen, önemli bir kısmı az bir restorasyonla günümüzde hala kullanılmaktadır. Bölgede bulunan antik su yapılarından en büyük ve önemlileri; Rusa barajları, Döni barajları, Faruk Bendi ve Menua (Şamran) kanalıdır.

Bu tez çalışmasının asıl amacı Tuşba, Van bölgesinde bulunan en eskisi Urartu dönemine ait olan antik su yapılarının jeo-mühendislik özelliklerinin incelenmesi ve Urartu Uygarlığının mühendislikteki bilgi seviyesinin tartışılmasıdır. Bu bağlamda, söz konusu yapılar günümüzde kullanılan modern baraj/bent yer seçim ve tasarım kriterleri açısından değerlendirilmiştir. Ayrıca, günümüze kadar gelmiş ancak kısmen yıkılmış olan Faruk bendinin dolu ve boş rezervuar durumlarındaki sismik performansı bir sonlu eleman analiz programı olan “*Ansys Workbench*” ile değerlendirilmiştir.

1.1. Çalışma Alanının Tanıtımı

Çalışma alanı Van ilinin doğusunda, Turna Gölü'nün batısında, Bakraçlı ve Gövelek köyleri civarında (Şekil 1.1) K-51 ve L-51 paftaları içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanı morfolojik olarak sarp bir bölgede yer almakta olup, asıl detaylı olarak çalışılan söz konusu antik su yapıları ise sarp yamaçlar arasındaki vadilerde ve Turna Gölü'nün batı sahili şeridi üzerinde bulunmaktadır.



Şekil 0.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

1.2. Tezin Akışı

Bu tezin giriş yani birinci bölümünde öncelikle çalışmanın amacı ve önemi belirtilmiş olup, yararlanılan kaynaklara kısaca değinilmiş ve son kısımda da çalışma alanını kısaca tanıtmıştır. İkinci bölümde çalışmada kullanılacak materyal ve yöntemler belirtilmiştir. Üçüncü bölümde çalışma alanı ve civarının jeolojisi ve tektoniği literatürdeki bilgilere dayanarak özetlenmiştir. Dördüncü bölümde Van yöresindeki Urartu dönemi su yapıları hakkında bilgiler derlenerek verilmiştir. Beşinci bölümde ise çalışma sonucunda elde edilen bulgular sunulmaktadır tartışılmıştır. Tezin altıncı ve de son bölümünde ise çalışmadan elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Önceki çalışmalar (1) Van bölgesinin jeolojisi ve (2) Van yöresi Urartu dönemi su yapıları hakkında olmak üzere iki ayrı başlık altında toplanır.

2.1. Van Bölgesinin Jeolojisi Hakkındaki Çalışmalar

Van ili ve civarının jeolojisi ile bulunduğu bölge olan Doğu Anadolu Bölgesi'nin jeolojisi günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Söz konusu bu çalışmalar ve kısa özetleri aşağıda kronolojik olarak verilmiştir.

Ternek (1953), Van Gölü'nün güneydoğu bölgesinde yaptığı çalışmada, Paleozoyik döneminde egemen olan denizel ortamın Triyas-Alt Kretase'de regresyon sebebiyle karasal ortama geçtiğini, ancak bir transgresyon olayıyla Üst Kretase'de ortamın yeniden denizel olduğunu söylemiştir. Yazar ayrıca, bölgede arazide gözlenen tektonik dokanakların bindirme özellikli olduğunu belirtmiştir.

Altınlı (1966), Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgesinde gerçekleştirdiği detaylı yapısal ve stratigrafik çalışmalar sonucunda, bölgeyi üç ana tektonik birime ayırmıştır: (1) Masifler, (2) İrandid, Torid ve Anatolid adlı üç alt birimden oluşan jeosenklinal, ortotektonik bölge veya filiş bölgesi, (3) Mijeosenklinal, paratektonik bölge veya sınır kıvrımları bölgesi.

Gelati (1975), Van Gölü'nün kuzeyinde yaptığı çalışmada, bölgenin denizel ortama Aktaniyen'de geçtiğini ve Serravaliyen'de sona erdiğini söylemiştir. Miyosen dönem sonrasında depolanmaya başlayan karasal çökellerin bölgede hâkim olan aktif volkanizma sonucu oluşmuş kısmen alkalin volkaniklerle geçişlidir. Yazar, bölgedeki etkin bu volkanizmanın Pliyosen-Pleyistosen döneminde de devam ettiğini belirtmektedir.

Ketin (1977), Van Gölü ile İran sınırı arasındaki bölgede gerçekleştirdiği çalışmada, bölgedeki geç Kretase yaşlı melanjin genellikle doğuya eğimli dilimler halinde ve daha genç filiş ile ilişkili gözlendiğini belirtmiştir. Söz konusu çalışmada ayrıca, bölgedeki aktif deformasyon zonunun sağ yönlü doğrultu atımlı faylardan meydana geldiğini ve Kuzey Anadolu Fay Sistemi'nin en doğudaki kısmını oluşturduğunu ifade etmiştir.

Şengör ve Kidd (1979), çalışmalarında, ortalama 1.5 km yükseklikteki Türk-İran Platosu'nun yer aldığı bölgedeki Neo-Tetis okyanusal litosferin son parçasının geç Miyosen'de Avrasya ve Arap kıtalarının arasında Bitlis-Zagros kenet kuşağı boyunca yok olduğunu belirtir. Yazarlar ayrıca, bölgede kıta-kıta çarpışması sonrası devam eden sıkışmayla platonun kısaldığını ve platonun yüksek kısımlarında dominant olarak kalkalkalen volkanizmanın var olduğunu söyleyerek, platonun yüzey jeolojisi ve volkanizmasıyla Tibet Platosuna büyük ölçüde benzediğini vurgular.

Dewey ve ark. (1986), Doğu Anadolu'nun neotektonik rejimi üzerine yaptıkları çalışmada, Doğu Anadolu Platosu'nun yaklaşık 12 my önce Doğu Anadolu'nun son okyanusal birimin yitiminin hemen ardından başlayan Arap ve Avrasya plakalarının çarpışması sonucu progresif gelişen kışılma ve sıkışma sonucu oluştuğunu belirtmişlerdir. Bölgede 52 km kalınlığa ulaşan kabukta sağ yönlü Kuzey Anadolu Transform Fayı ve sol yönlü Doğu Anadolu Transform Fayı ilişkili majör doğrultu atımlı faylar sıklıkla gözlenir.

Şaroğlu ve Yılmaz (1986), Doğu Anadolu'da Orta Miyosen'de başlayan neotektonik dönemde, sıkışma rejimi sonucunda kıvrımlar, bindirmeler, doğrultu atımlı faylar ve açılma çatlaklarının geliştiğini belirterek bu yapıların kontrolü sonucunda bölgede dağarası ve çek-ayır olmak üzere iki tür havzanın oluştuğunu vurgulamışlardır. Çalışmada, bölgedeki genç birimlerin bu farklı tür havzalarda karasal fasiyeste aktif yaşıt volkanizma ile çökeldiği belirtilmiştir.

Acarlar ve ark. (1991), Van Gölü'nün doğusu ve kuzeyinde MTA tarafından yürüttükleri çalışmada, bu bölgelerde yüzeyleyen kayaçların genel özelliklerini, bölgenin stratigrafisini ve yapısal özelliklerini raporlayarak bölgenin jeolojik evrimi hakkında hipotezler sunmuşlardır.

Koçyiğit ve ark. (2001), çalışmalarında Doğu Anadolu Platosu'nun üç majör yapıyla karakterize edildiğini ve şekillendiğini belirtir: (1) KB – ve KD- doğrultulu sağ yönlü-sol yönlü aktif doğrultu atımlı faylar, (2) K-G ve KKB- doğrultu açılma çatlakları ve/veya Pliyo-Kuvaterner volkanlar ve (3) 5 km kalınlıktaki çeşitli doğrultu atımlı havzalarda çökelen deforme olmamış kıtasal volkano-sedimanter sekanslar. Çalışmada, geç Serravaliyen Avrasya-Arap plakaları kıta-kıta çarpışması ve Erken Pliyosen tektonik rejim, havza tipi ve deformasyon değişimi (kıvrımlanma ve bindirme faylanmadan doğrultu atımlı faylanmaya geçiş) arasındaki dönem tektonik dönüşüm-

geçiş dönemi olarak adlandırılmıştır. Çalışmada, platoda meydana gelen depremlerin fokal mekanizma çözümlerinin K-G yönlü sıkışmayla ilişkili vurgulanmaktadır.

Örgülü ve ark. (2003), Doğu Anadolu'da meydana gelmiş küçük-orta büyüklükteki sismik aktivitelerin sismotektoniği üzerine yaptıkları çalışmada, sismik olayların çoğunun doğrultu atımlı mekanizmaya sahip olduğunu ve ters mekanizmanın seyrek olduğunu söyleyerek, bölgede kıtasal sıkışmanın başlangıcında birincil olan sıkışmalı yapısal unsurların hala aktif fakat çok daha az önemli olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Şengör ve ark. (2003), 29 sismograftan topladıkları sismik veriler üzerinden yaptıkları çalışmada, Doğu Anadolu Platosu'nun kıtasal kabuğun bilinenin aksine sadece 45 km kalınlıkta olduğunu iddia etmişlerdir. Çalışmada, ayrıca platonun manto litosferinden yoksun olduğu belirtilerek, kalın bir kabuk yerine sıcak manto ile desteklendiği vurgulanmıştır.

Göğüş ve Pysklywec (2008), numerik jeodinamik modeller kullanarak, Doğu Anadolu'da gözlenen litosferik incelmeye, plato yükselimi ve sıkışmaya bağlı gerilme gibi tektonik anomalilerin manto litosferinin delaminasyonu ile alakalı olduğunu test etmişler ve modelleme bulgularının platonun yükselmesi sırasında gelişen delaminasyona bağlı 2 km yüksekliğe ulaştığını ifade etmişlerdir.

Üner ve ark. (2010), Van Gölü Havzası'nda Kuvaterner yaşlı kumlu-siltli gölsel birimlerde çeşitli deformasyon yapılarının gözlemlendiğini söyleyerek, bu gözlemlerin bölgedeki tektonik ve sedimantolojik verilerle dayanarak sismik olduklarını ileri sürmüşlerdir. Çalışmada, bu yapıların, Kuvaterner dönemdeki aktif tektonizmaya ve bölgede 5 ve üzeri büyüklükte depremlerin sıklıkla oluştuğuna işaret ettiğini vurgulanmıştır.

Yılmaz ve ark. (2010), Doğu Anadolu'daki Maastrichtiyen öncesi tektonik birimlerin Maastrichtiyen-Kuvaterner yaşlı volkanik ve sedimanter kaya birimleriyle uyumsuz olarak üzerlenerek, bu birimlerin art arda gelişen transgresif ve regresif sekanslardan oluştuğunu belirtmişlerdir. Çalışmada, Eosen yaşlı sedimanter birimlerde olistostromal birimlerin yaygın olduğunu ve bunların ofiyolitler ve ofiyolitik melanjlardan türediği ileri sürülmüştür. Ek olarak, bölgenin önemli derecede K-G yönlü sıkışmaya maruz kalmasına rağmen, kıtasal kalınlaşmanın bölgedeki doğrultu atımlı tektonik rejimden dolayı o denli önemli olmadığı ifade edilir.

Özkaymak ve ark. (2012), 23 Ekim 2011 Tabanlı-Van depreminin sismik jeomorfolojisi ve Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki aktif tektonik yapılarla ilişkisi üzerine yaptıkları çalışmada, Doğu Anadolu'da hem sıkışmalı hem genişlemeli yapıların, gerilmeli tektonizmadan öte doğrultu atımlı neotektonik rejim ile karakterize edildiğini söylemişlerdir. Çalışmada, gözlemledikleri deprem sonrası oluşan yüzey deformasyon özelliklerinin kör ters faylanmadan kaynaklı sismotektonik yapılar olduklarını ileri sürmüşlerdir.

Koçyiğit (2013), çalışmasında 23 Ekim 2011 Tabanlı-Van depremi bölgesi, Doğu Anadolu-İran Platosu'nun batı kısmını odaklanmıştır. Çalışmada bölgedeki tektonik dönemlere dayanarak yüzeyleyen kaya birimleri iki ana kategoriye ayrılmıştır: (1) Geç Pliyosen öncesi paleotektonik birimler ve (2) Pliyo-Kuvaterner neotektonik birimler. Oldukça yoğun deforme olmuş paleotektonik birimle nerdeyse yatay konumlu neotektonik birimler tarafından açısız uyumsuzlukla üzerlenir ve yazar bu açısız uyumsuzluğu ve birimlerdeki deformasyon farkını geç Pliyosen'deki tektonik rejimin değişikliği olarak yorumlamıştır. Neotektonik rejim K-G yönlü sıkışmadan dolayı meydana gelen KB- ve KD- uzanımlı doğrultu atımlı fayların baskın olduğu fakat D-B doğrultulu ters ve bindirme faylarında aktif olduğu sistemden oluşur. Çalışmada, 7.2 (M_w) büyüklüğündeki 23 Ekim 2011 Tabanlı-Van depreminin Everek erozyonel bindirme fayından kaynaklandığı vurgulanmıştır.

Topuz ve ark. (2017), Neojen öncesi temel metamorfik kayalar üzerinde çalışmada, metamorfik ve ofiyolitik birimlerin alt Maastrichtiyen klastik kayalar ve resifal kireçtaşlarıyla uyumsuz olarak üzerlendiğini ve bunun bölgedeki metamorfik kayaların eksüstasyonunun ve ofiyolitik birimlerle karşılaşmasının erken Maastrichtiyen döneminde olduğunu ileri sürerler. Ek olarak, çalışma bulgularına göre (1) metamorfik kayalarda yüksek basınçlı metamorfizmanın bir göstergesinin olmaması, (2) ofiyolitik birimlerin allokton nitelikte olması, (3) köken yaşı geç Ordovisyen-erken Siluriyen olan metagranitlerin varlığı ve (4) metakuarsitlerdeki kırıntılı zirkonda Neoproterozoyik-erken Paleozoyik kökeninin bulunması, bölgedeki Neojen-Kuvaterner örtünün altında önemli bir kıtasal temel bileşenin varlığını işaret eder. Bu da, litosferik mantonun yok oluşunun yüksek olasılıkla plato altında gerçekleşen litosferik batmadan kaynaklandığını vurgulamaktadır.

2.2. Van Yöresi Urartu Dönemi Su Yapıları Hakkındaki Çalışmalar

Van yöresi Urartu dönemi su yapıları hakkında günümüze kadar birçok çalışma yapılmış olup, bunlardan bu tez çalışması kapsamında yararlanılan çalışmalar kronolojik olarak şu şekilde sıralanır: Öğün (1970), Burney (1972), Schnitter (1979), Garbrecht (1980), Öziş (1984), Garbrecht (1987), Belli (1994), Schnitter (1994), Belli (1997), Öziş (1999), Orhan ve ark. (2006), Bildirici (2009), Mays (2010) ve Hepbostancı ve ark. (2015). Bu çalışmaların içerikleri aşağıda kısaca belirtilmiştir.

Öğün (1970), çalışmasında Van'da bulunan Urartu sulama sistemleri üzerine yaptığı arkeolojik çalışmalarına Van ve civarının iklimsel yağış özelliklerini de dikkate alarak değinmiş ve sulama sistemi yapılarından en büyüğü olan Semiramis (Şamran) kanalı üzerine özellikle yoğunlaşmıştır.

Burney (1972), "*Anatolian Studies*" (Anadolu Çalışmaları) dergisinde yayınladığı İngilizce makalesinde Doğu Anadolu'da bulunan Urartu sulama çalışmaları hakkındaki keşiflerinden bahsetmiştir.

Schnitter (1979), Almanya'da bir teknik üniversitede Almanca yayınlanan kitabında Anadolu'da bulunan antik barajların tarihi üzerine yaptığı çalışmasını anlatmıştır.

Garbrecht (1980), İngilizce olarak yayınlanan makalesinde Urartu başkenti Tuşba'nın coğrafik özelliklerinden ve bunlara bağlı olarak başkentin su sağlama sistemine olan ihtiyacını anlatarak Tuşba'daki içme ve sulama suyu sağlama sistemi yapılarını tanımlamış ve başkentin Rusahinili'ye taşınmasıyla değişen sulama sistemine eklenen yapı unsurlarının inşa amaçlarından bahsetmiştir.

Öziş (1984), 1984'de yapılan "Türkiye'de İnşaat Mühendisliği Alanındaki Gelişmeler" adlı kongrede, Urartu döneminden günümüze kadar geçen sürede Türkiye'deki su kaynaklarıyla ilgili teknolojik gelişmeleri kronolojik olarak özetlemiştir.

Garbrecht (1987), İngilizce olarak basılan yayınında Tuşba'nın ve ikinci başkent Rusahinili'nin su temin sistemi unsurlarının inşasını kronolojik olarak anlatarak bunların bazı geometrik özellikleri ve inşasında kullanılan yapı malzemeleri hakkında bilgi vermiştir.

Belli (1994), İngilizce yayınında Doğu Anadolu Bölgesi'nde yaptığı çalışmalar sonucu keşfettiği antik sulama kanalları, yapay göller ve barajlardan bahsetmiş ve bu

yapılardan 2600 yıldır çoğu ayakta duran Urartu döneminde inşa edilmiş olanların sayısını belirlemiş ve geçmişten günümüze kadarki uygarlıklardan geçiş yolunu anlatmıştır.

Schnitter (1994), “A History of Dams The useful pyramids” isimli kitabında antik medeniyetler, Roma İmparatorluğu, Müslüman dünyası ve ortaçağ doğu Asya dönemlerinde inşa edilen barajların tarihi ve de modern baraj teknolojisinin evrimi hakkında bilgi verir.

Belli (1997), “Tarih boyunca Van” isimli kitabında Van bölgesinin prehistorik, eskiçağ ve ortaçağ dönemine ait antik eserler ve Urartu dönemine ait su yapıları ve yapıların tarihleri, geometrileri ve inşa amaçları hakkında detaylı bilgi verilir.

Öziş (1999), “Historical dams in Turkey” adlı kitabında günümüze kadar bozulmadan ayakta kalmış ve kısmen durumdaki antik barajları ve barajların uygarlık tarihini anlatmıştır.

Orhan ve ark. (2006), “Urartian Water Constructions and Hydraulics” adlı makalede Urartuların Anadolu’daki en büyük hidrolik medeniyetleri olduğunu belirtilerek 2700-2800 yıldır yaşayan Urartu barajları ve sulama kanallarının bazı coğrafik, geometrik, boyutsal, yapı malzemeleri ve de yapıların su temin ettiği ovalar ve vadiler hakkında bilgi verir.

Bildirici (2009), “Tarihi sulama, su depolama, taşkın koruma tesisleri” adlı kitabında tarihte dünyadan sulama örnekleri verir ve Anadolu’daki tarihi sulamayı geç Hitit dönemi, Urartu dönemi, Roma dönemi, Ortaçağ dönemi, Selçuklu dönemi ve Osmanlı dönemi sulama yapıları üzerinden ayrı ayrı dönemsel ve evrimsel olarak anlatır.

Mays (2010), “Ancient Water Technologies” isimli kitapta eski Mezopotamyalılar gibi en antik medeniyetlerden günümüze kadar geçen sürede dünyadaki anahtar antik hidrolik medeniyetlerin inşa ettiği su yapılarından örnekler vererek su sağlama sistemi yönetimini ve teknolojisini tartışır.

Hepbostancı ve ark. (2015), 5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu’nda yayınlanan tam makalesinde Van ve yakın çevresindeki Urartu dönemi sulama kanalı, baraj ve bentlerin yapılış amaçlarından kronolojik olarak bahsetmiş ve bu su yapılarının geometrileri, inşa teknikleri ve su temin ettiği araziler hakkında bilgi sunmuştur.

2.3. Jeoloji

Bu bölümde öncelikle çalışma alanının yer aldığı Doğu Anadolu Bölgesi'nin genel ve yapısal jeolojisi ve ardından Van Gölü ve yakın civarının tarihsel ve aletsel dönemlere dayalı depremselliği sunulacaktır. Son olarak çalışma alanı ve yakın çevresinin jeolojisi hakkında bilgi verilecektir.

2.3.1. Doğu Anadolu Bölgesi'nin genel jeolojisi

Doğu Anadolu Platosu (DAP) ortalama 2 km'lik yüksek rakımıyla Alpin-Himalayan dağ sistemi üzerindeki en geniş yüzey alanına sahip (150.000 km²) bölgelerden birisidir (Şengör ve Kidd, 1979). DAP kuzeyde İzmir-Ankara-Erzincan kenet kuşağı (İAEKK), güneyde Bitlis-Zagros kenet kuşağı (BZKK) olmak üzere iki Neo-Tetis kenet kuşağıyla sınırlanır (Şekil 2.1). Kuzeydeki okyanus Orta Eosende, güneydeki ise Oligosen-Erken Miyosen döneminde kapanmıştır (Okay ve ark., 2010). Platonun oluşumu Bitlis-Zagros kenet kuşağı boyunca Arap ve Avrasya platformları arasında gerçekleşen kıtasal çarpışma sonrası hala devam eden sıkışmayla ilişkilendirilir.

DAP, kuzeyde Doğu Pontidler, güneyde Bitlis-Pötürge Masifi, batıda Menderes-Toros Bloğu, doğuda kuzeybatı İran Bloğu olmak üzere birçok kıtasal bloğun kesiştiği yerde bulunur (Topuz ve ark, 2017) (Şekil 2.1). DAP'nun jeolojisi; paleotektonik ve neotektonik kaya paketleri ve yapıları olarak (şeklinde) açıklanabilir.

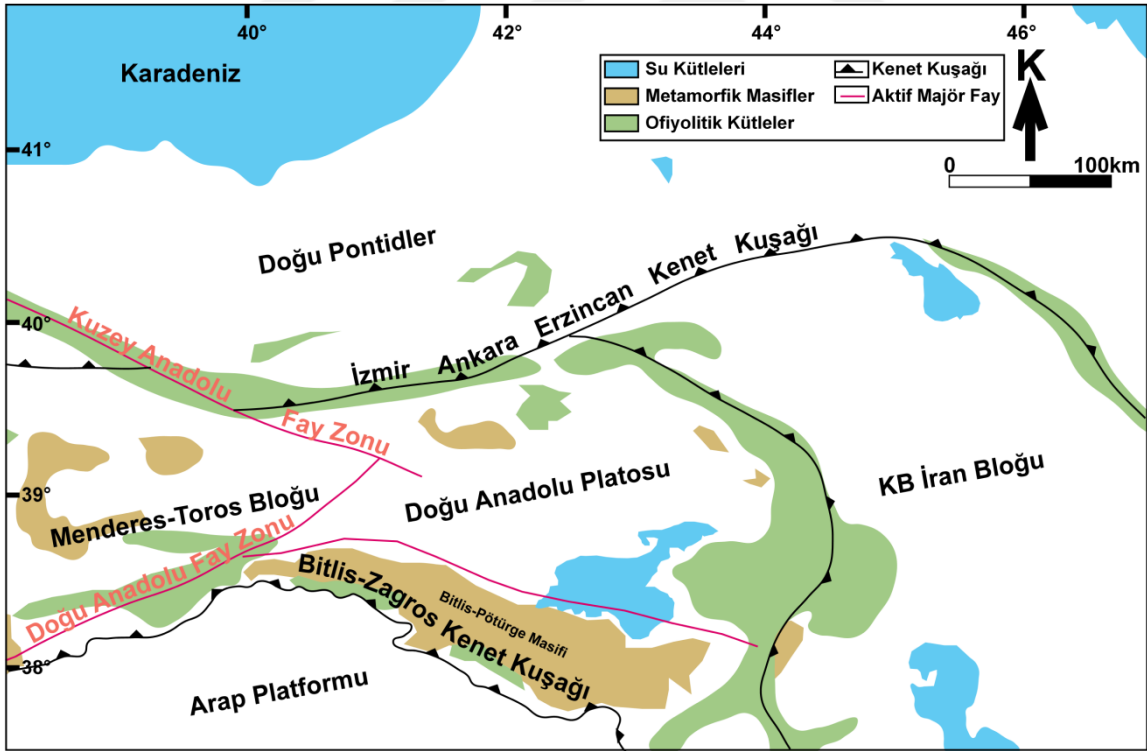
2.3.1.1. Paleotektonik yapılar ve kayalar (Paleotektonik birimler)

Paleotektonik yapılar ve kayalar üç ana tektonik birim içinde meydana gelmiştir: (1) Doğu Rodop-Pontid yayı, (2) Doğu Anadolu akresyon kompleksi ve (3) Bitlis-Pötürge Masifi.

Doğu Rodop-Pontid yayı Albian-Oligosen yaşlı güneye dönük ensialik bir magmatik yaydır ve Avrasya kıtasal marjini altına kuzeye subduksiyon (yitim) ile oluşmuştur (Yılmaz ve ark., 1997). Yaygın bir alanda gerçekleşen geri bindirme (backthrusting) Kretase ophiyolitik melanj naplarını kıtanın güney marjinine getirmiştir. Bu naplar Doğu Anadolu akresyon kompleksinin en iç bölgedeki kısımlarıdır.

Doğu-Anadolu akresyon kompleksi: Adilcevaz kireçtaşı (Akuitaniyen-Burdigaliyen: ~20-16 my: Şaroğlu ve Yılmaz, 1986) öncesi temel kayaların DAP'nda yüzeylediği bölgelerde, kompleksin geç Kretase ophiyolitik melanj ve Paleosen-Geç Oligosen filiş sekanslarından oluştuğu gözlenmiştir (Şekil 2.2). Melanj, genelde kuzeye eğimli tektonik dilimler halinde daha genç filiş ile dokanaklı bindirmeli yapılardan (imbrikat) meydana gelir (Şengör ve Yılmaz, 1981). Filiş kuzeyden güneye doğru gençleşir ve çökme ortamı Kretase'den Oligosen'e doğru gittikçe sığlaşır. Kuzeyde, Oligosen birimleri uyumsuz olarak üzerlenir (Tüysüz ve Erler, 1995).

Bitlis-Pötürge Masifi: Doğu Anadolu akresyon kompleksi, geç Kretase ve orta Eosen melanj kompleksleri üzerine allohton olarak gelen bir seri yüksek derecede deforme olmuş metamorfik masifler ile Muş kenet kuşağı boyunca bitişir. Yılmaz (1993)'e göre Muş kenet kuşağı, Bitlis-Pötürge Masifi'den oluşan Menderes-Toros Bloğu'nun en doğusunun Arap platformunun kuzey marjiniyle Erken Eosen'de çarpışmasıyla oluşmuştur.



Şekil 0.1. Doğu Anadolu Platosu ve platosu sınırlayan kıtasal bloklar ve kenet kuşakları (Topuz ve ark., 2017'den değiştirilmiştir).

2.3.1.2. Neotektonik yapılar ve kayalar (Neotektonik birimler)

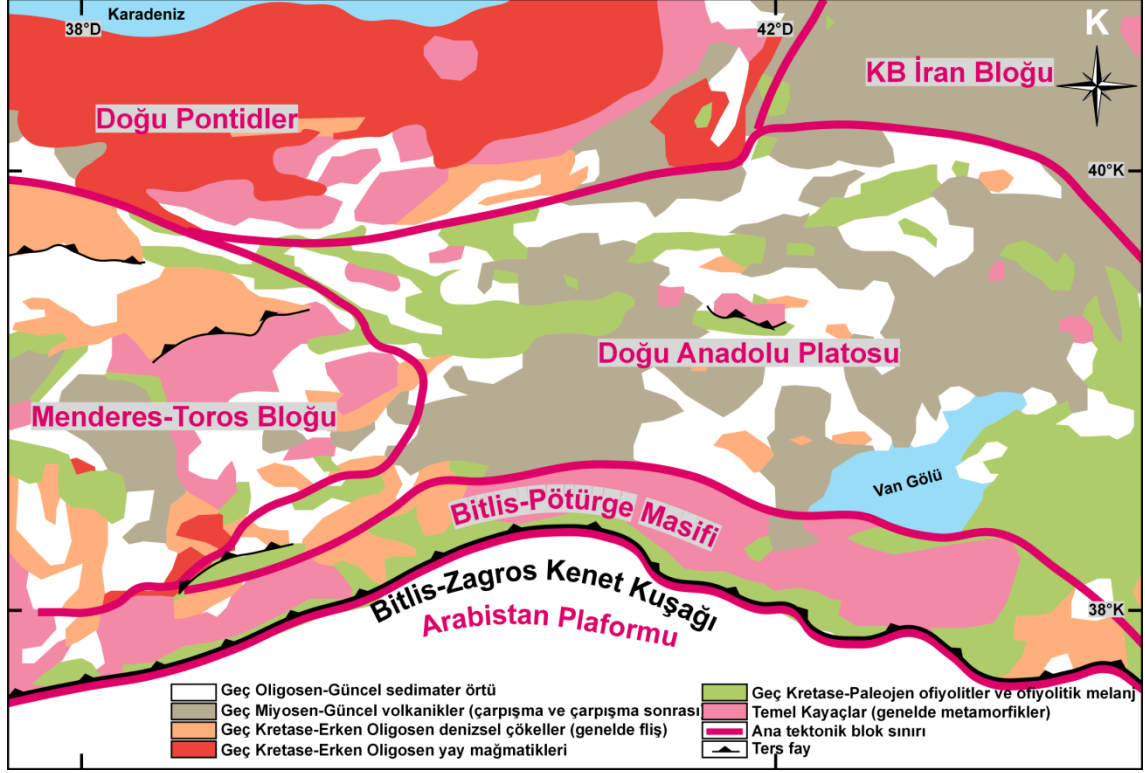
Doğu Anadolu'da neotektonik dönem Adilcevaz Kireçtaşı'nın denizden karaya yükselmesiyle ve karasal sedimantasyonun ve volkanizmanın etkinliğiyle başlamıştır. DAP'ndaki en genç denizel birim Serravaliyen yaştadır (Gelati, 1975). Bu yüzden, platonun en geç 11 my önce yükselmeye başladığı düşünülür. Platonun en yaşlı volkanikleri de aynı yaştadır, fakat bölgedeki yaygın volkanik aktivitenin başlaması, 6-7 my öncesine dayanır (Keskin ve ark., 1998). Platonun geç Miyosen-günümüz sedimanter kayaları karasal konglomeralar ve şeylli kumtaşları baskın olmak üzere bindirme faylarla sınırlanmış D-B uzanımlı bireysel havzalarda çökelmiş marl ve bağlı (subordinate) evaporitlerden oluşur (Şengör ve ark., 1985; Şaroğlu ve Yılmaz, 1986).

2.3.2. Bölgenin yapısal jeolojisi

DAP'nun en baskın ve aktif yapıları KD-GB ve GD-KB doğrultulu doğrultu atımlı faylardan ve daha az gözlenen ve genelde D-B uzanan ters faylardan oluşur (Şengör ve ark., 1985; Dewey ve ark., 1986; Bozkurt, 2001; Örgülü ve ark., 2003) (Şekil 2.3). Pliyo-Pleistosen sedimanter kayalardaki kıvrım eksen doğrultuları da genel olarak D-B uzanımlıdır (Şengör ve ark., 1985; Dewey ve ark., 1986; Şaroğlu ve Yılmaz, 1986). Bu yapısal gözlemlere dayanarak, platonun, Avrasya ve Arap platformlarının çarpışması sonucu Neo-Tetis Okyanusu'nun tamamen kapanmasını takiben devam eden sıkışmalı rejimden dolayı en az son 15 my boyunca K-G yönünde daraldığı söylenir. Günümüzde, bu daralma ters faylanmadan öte doğrultu atımlı faylarla daha aktif bir şekilde ifade edilir (Şengör ve ark., 1985). Sıkışmalı-daralmalı bu tektonik rejim sonucunda bölgede ayrıca gelişen K-G yönlü açılma çatlakları oluşmuştur ve bu yapılar bölgede neotektonik dönemde oluşmaya başlayan volkanların çıkışını denetler.

Erken Pliyosen döneminin sonlarına doğru sağ yönlü Kuzey Anadolu Fayı (KAF), sol yönlü Doğu Anadolu Fayı (DAF) ve bu fay zonları arasında Afrika okyanusal litosferine doğru kaçmaya çalışan Anadolu Plakacağı olmak üzere üç ana yapının oluştuğu önerildikten sonra (Hempton, 1987; Koçyiğit ve Beyhan, 1988), Koçyiğit ve ark. (2001), sıkışmalı-daralmalı tektonik rejimin sadece Bitlis-Zagros kenet kuşağı boyunca Geç Miyosen-Erken Pliyosen dönemleri arasında aktif olmuş olabileceğini ve bu rejimin Geç Pliyosen'de yerini sıkışmalı-genişlemeli tektonik rejime

biraktığını öne sürmüştür. Bu yeni rejimin kanıtı olarak da eşlenik doğrultu atımlı fayları ve ilişkili gelişen kaçma tektoniği sonucunda meydana gelmiş alkalın volkanik faaliyetleri göstermektedirler.

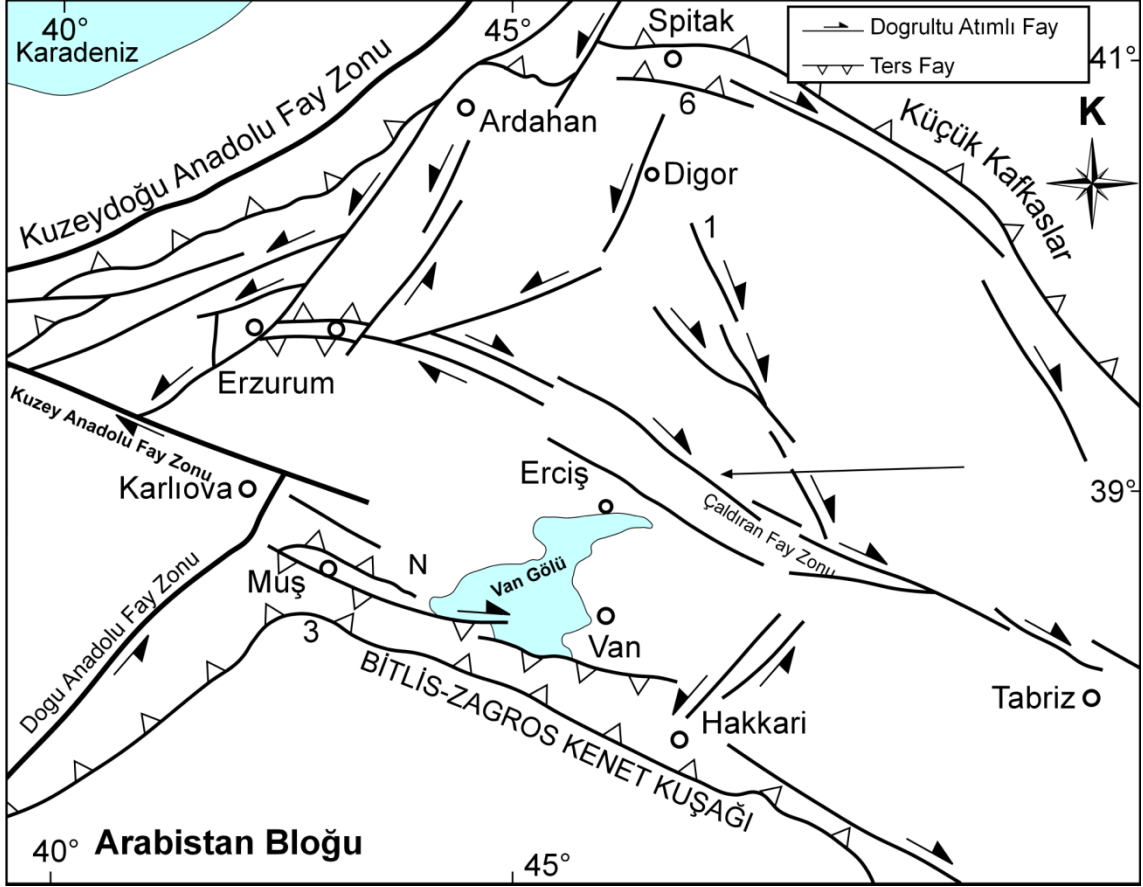


Şekil 0.2. Doğu Anadolu Bölgesi'nin basitleştirilmiş jeoloji haritası ve tektonik birimleri (Şengör ve ark., 2003'den değiştirilmiştir).

2.3.3. Van Gölü ve yakın çevresinin depremselliği

Van Gölü ve yakın civarı KAF'nın DAF ile birleştiği Karlıova Eklemi ile Zagros Fay Zonu arasında bulunur. Bölge içerisinde Çaldıran Fayı ve Erciş Fayı gibi KAF'nın devamı niteliğindeki sağ yönlü doğrultu atımlı fayların bulunması da bölgenin sismotektonik yapısını önemli derecede etkiler. Söz konusu yapıların aktifliği, tarihsel dönemden günümüze kadar birçok sismik aktiviteye sebep olmuştur (Ergin ve ark., 1967; Soysal ve ark., 1981; Ambraseys ve Finkel, 1995; Tan ve ark., 2008). Bölgede yer alan şehirlerin birçok büyük depremden etkilenerek can ve mal kayıpları verdikleri, aletsel ve tarihsel dönem deprem kataloglarında belirtilmiştir. Bölgenin yüksek derecedeki depremselliği 23 Ekim 2011 tarihinde 7.2 (Mw) büyüklüğünde Tabanlı (Van)'da gerçekleşen deprem ile de güncel olarak kanıtlanmıştır (KOERI, 2011;

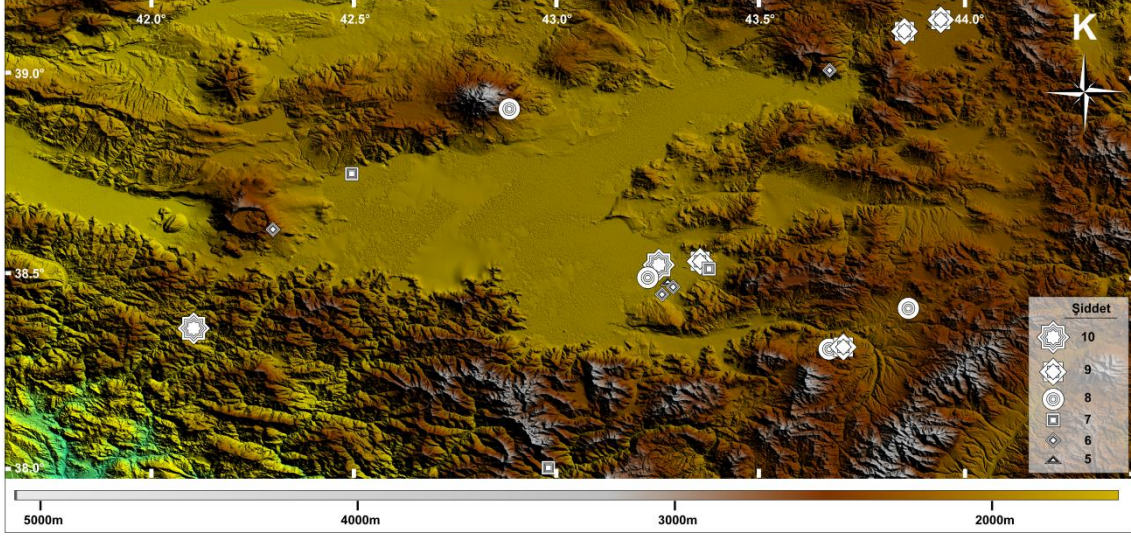
Bergman ve Türkelli, 2012; Kalafat, 2012; Kartal ve ark., 2012; Özkaymak ve ark., 2012; Koçyiğit, 2013).



Şekil 0.3. Doğu Anadolu Platosu ve yakın civarının aktif fayları (Koçyiğit 2013'den değiştirilmiştir).

2.3.3.1. Tarihsel dönem

Tarihsel dönem deprem kayıtlarına (Tchalenko, 1977; Soysal ve ark., 1981; Ambraseys ve Finkel, 1995; Ambraseys ve Jackson, 1998; Guidobani ve Compastri, 2005) göre Van bölgesinde ve çevresinde 1101 ve 1900 yılları arasında şiddetleri (Io) V ile X arasında değişen birçok deprem meydana gelmiştir (Şekil 2.4; Çizelge 2.1). Bu olaylardan bazıları çok yıkıcı nitelikte olduğundan, olaylar sırasında birçok insan hayatını kaybetmiş, binlerce yapı yıkılmış ve Nemrut volkanı yeniden harekete geçerek bazaltik lav püskürtmüştür (Soysal ve ark., 1981; Ambraseys ve Finkel, 1995). Ek olarak, bu tarihsel depremlerin süreleri, derinlikleri, büyüklükleri ve kökenleri hakkında ayrıntılı bilgi kayıtlarda mevcut değildir (Koçyiğit, 2013).



Şekil 0.4. Van ve civarında gerçekleşmiş tarihsel dönem depremlerinin en şiddetli hissedildiği yerleşim yerleri lokasyonları (Depremler: Tchalenko, 1977; Soysal ve ark., 1981; Ambraseys ve Finkel, 1995; Ambraseys ve Jackson, 1998; Guidobani ve Compastri, 2005).

Çizelge 2.1. Van Bölgesi'nde gerçekleşen tarihsel dönem depremleri

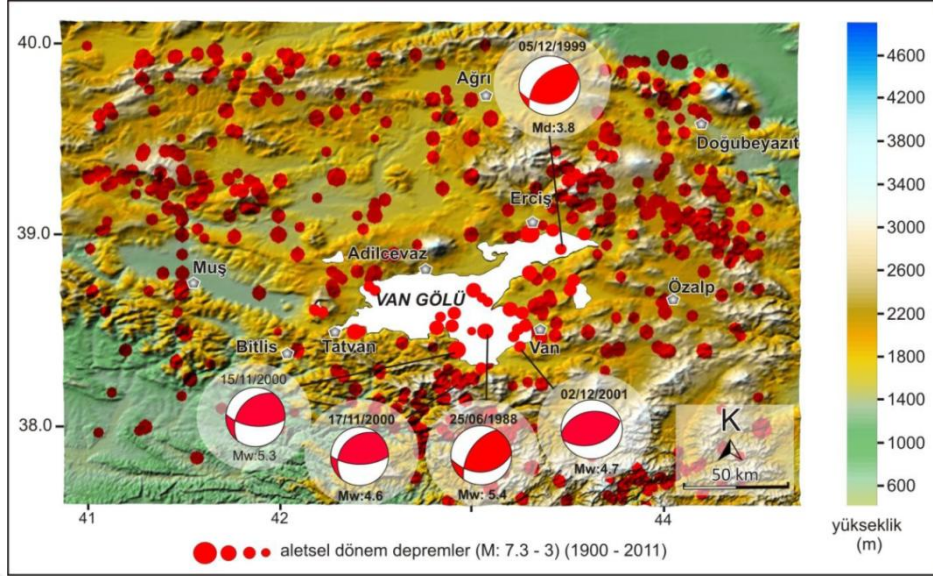
Tarih	Koordinatlar (Enlem-Boylam)	Şiddet (Io)	Coğrafik Konum	Referanslar
1900	38.47K-43.3D	VI	Van	<i>c</i>
1894	38.47K-43.3D	V	Van	<i>c</i>
30.05.1881	38.5K-43.3D	X	Van-Bitlis-Muş-Nemrut	<i>c,d,h</i>
1871	38K-43D	VII	Van	<i>a,c,h</i>
1791	39K-43.7D	VI	Van, Tebriz ve Erzurum	<i>a</i>
08.03.1715	38.4K-43.9D	VIII	Van-Erciş	<i>a,c,g,h</i>
1704	38.5K-43.4D	VII	Van	<i>a,c,g,h</i>
07.03.1701	38.5K-43.3D	VIII	Van	<i>a,c,d,g</i>
1701	38.5K-43.4D	VII	Van	<i>c,g,h</i>
14.04.1696	39.1K-43.9D	IX	Çaldıran (Van)	<i>d,h</i>
31.03.1648	38.3K-43.7D	VIII	Hoşap (Van)	<i>b,c,d,g,h</i>
1647	39.15K-44D	IX	Van, Tebriz, Muş, Bitlis	<i>c,h</i>
07.04.1646	38.3K-43.7D	IX	Van-Bitlis-Muş	<i>c,d,g,e,h</i>
1441	38.35K-42.1D	X	Bitlis-Muş-Van-Nemrut	<i>a,c,f,h</i>
1439	38.6K-42.3D	VI	Bitlis-Muş-Van-Nemrut	<i>a,c,h</i>
1276	38.9K-42.9D	VIII	Ahlat, Erciş, Van	<i>a,c,h</i>
1245	38.74K-42.5D	VII	Ahlat, Van, Bitlis, Muş	<i>a,c,h</i>
1111	38.5K-43.4D	IX	Van	<i>a,c,h</i>
1101	38.47K-43.3D	VI	Van	<i>a</i>

a: Ergin ve ark. (1967); *b*: Tchalenko, 1977; *c*: Soysal ve ark. (1981); *d*: Ambraseys ve Finkel (1995); *e*: Ambraseys ve Jackson (1998); *f*: Guidobani ve Compastri (2005); *g*: Ambraseys ve Finkel (1995); *h*: Tan ve ark. (2008).

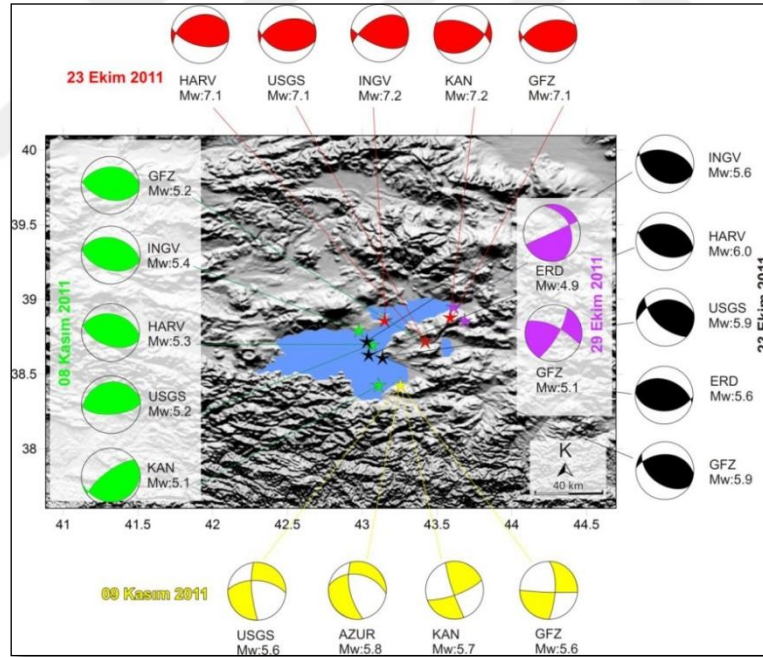
2.3.3.2. Aletsel dönem

Aletsel dönem deprem kayıtlarına göre 1900 yılından sonra Van ve yakın çevresinde büyüklüğü 3 ile 7.3 arasında değişen birçok deprem meydana gelmiştir. Bunlar arasında en büyük ve yıkıcı iki deprem 24 Kasım 1976'da 7.3 (Mw) büyüklüğünde gerçekleşen Çaldıran depremi ve 23 Ekim 2011 tarihinde 7.2 (Mw) büyüklüğünde meydana gelen Tabanlı (Van'ın 30 km kuzeyi) depremidir (KOERİ, 2011). Sağ yönlü doğrultu atımlı KB- uzanımlı Çaldıran Fayı tarafından üretilen Çaldıran depremi 55 km uzunluğunda bir yüzey kırığı oluşturmuş ve fay boyunca 3.7 m sağ yönlü yatay yer değiştirmeye sebep olmuştur (Arpat ve ark., 1977; Şaroğlu ve ark., 1984; Koçyiğit ve ark., 2001). Depremde ayrıca 3840 kişi hayatını kaybetmiş, 9232 bina ve yapıda tamamen çökmüştür (Eyidoğan ve ark., 1991). Tabanlı depremi Türkiye'de günümüze kadar gerçekleşmiş bindirme fayı kökenli en büyük sismik olaydır. Depremden sonra 12 orta boyutta ($5.0 \leq Mw \leq 5.8$), 170 küçük boyutta ($4.0 \leq Mw \leq 4.9$) ve 5400'den fazla çok küçük boyutta ($2.0 \leq Mw \leq 3.9$) artçı deprem meydana gelmiştir. Depremde 644 kişi hayatını kaybetmiş, 28532 yapı orta-ağır derecede hasar görmüş ve bunlardan bazıları artçılar sırasında tamamen yıkılmıştır (Koçyiğit, 2013). Bu iki büyük depreme ek olarak, 10 Eylül 1941'de 5.9 (Ms) büyüklüğünde Erciş'de ve 29 Temmuz 1945'de 5.8 (Ms) büyüklüğünde Van'da gerçekleşen yıkıcı depremler de bölgede ağır hasara ve fazla sayıda ölüme sebep olmuştur.

Van şehir merkezi ve yakın civarında meydana gelen depremlerin (1988, 1999, 2000, 2001, 2003 yıllarında gerçekleşmiş depremler) odak mekanizma çözümleri yanal bileşenler etkin olsa da, depremlerin baskın olarak eğim atımlı ters faylanmalardan kaynaklandığını göstermektedir (KANDİLLİ, EMSC, USGS, TÜBİTAK) (Şekil 2.5). Bölgede gerçekleşmiş en güncel deprem olan 23 Ekim 2011 Tabanlı depreminden sonra, odak merkezi farklı, merkezüstleri Van Gölü doğu kıyısı boyunca dağılan 29 Ekim, 8 ve 9 Kasım 2011 tarihlerinde sırasıyla 5.0, 5.2 ve 5.6 (Mw) büyüklüğünde üç deprem daha gerçekleşmiştir. Bu depremlerin odak mekanizma çözümleri de yoğun olarak bindirme faylanmaya işaret eder (KANDİLLİ, USGS) (Şekil 2.6).



Şekil 0.5. Van ve yakın civarında gerçekleşmiş aletsel dönem depremleri ve son yıllarda oluşmuş bazı depremlerin odak mekanizmaları (KANDİLLİ, USGS, TÜBİTAK, EMSC).



Şekil 0.6. 23 Ekim 2011 Van ve sonrasında oluşan depremlerin (Mw>5) farklı kaynaklara göre odak mekanizma çözümleri ve dağılımları (EMSC) (KAN: B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü; EMSC: Avrupa Ortadoğu Sismoloji Merkezi; AZUR: Nice Üniversitesi, GeoAzur Laboratuvarı, Fransa; GFZ: Almanya Yerbilimleri Araştırma Merkezi; ERD: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Araştırma Dairesi; HARV: Harvard CMT Kataloğu; INGV: Ulusal Deprem İzleme Merkezi, İtalya. USGS: Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Dairesi).

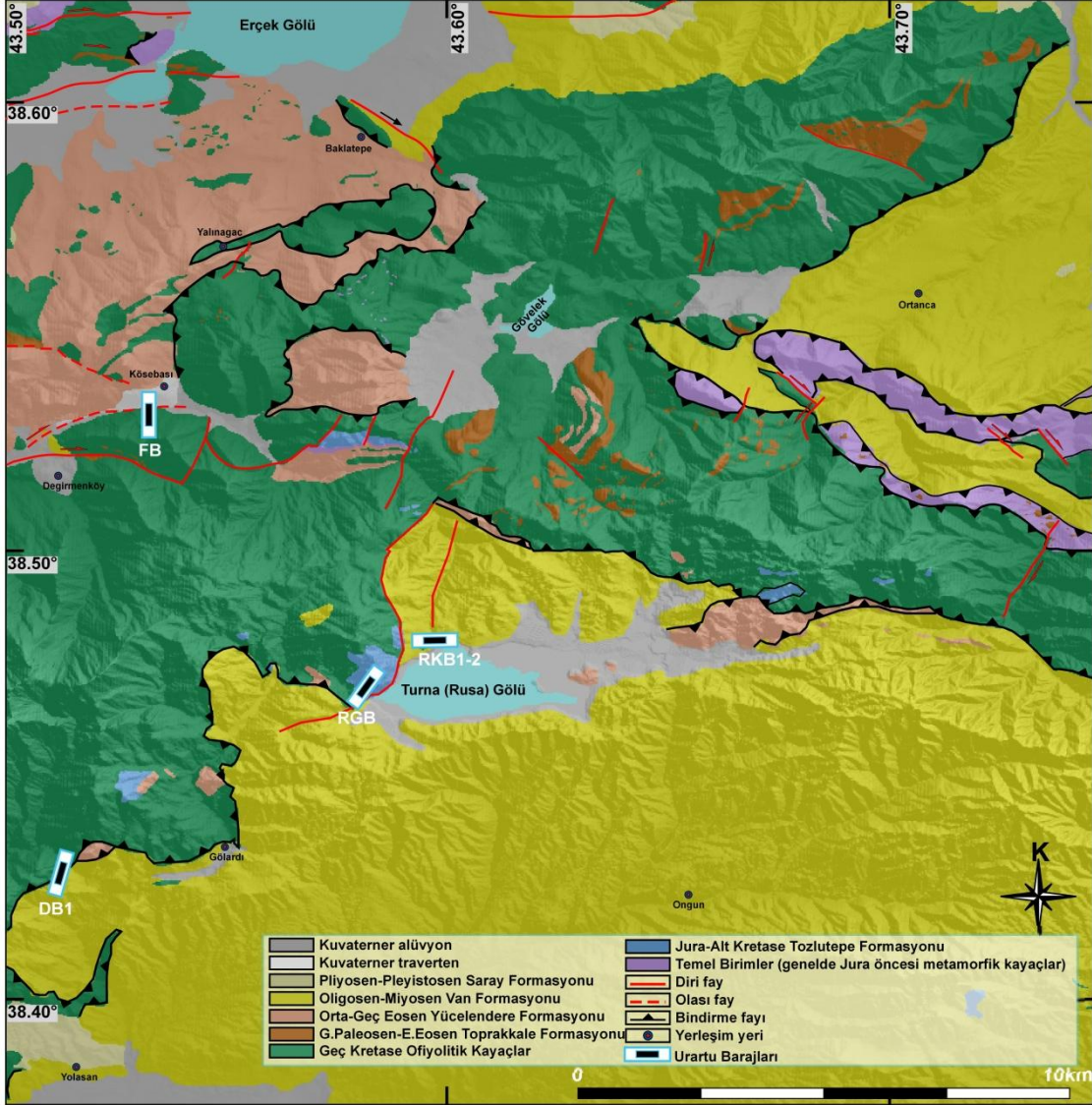
2.3.4. Çalışma alanının jeolojisi

Çalışma alanında, Miyosen öncesi ve sonrasında oluşmuş tektonik yatay hareketlerle ilksel stratigrafik konumları bozulmuş, birbirleriyle tektonik ilişkili farklı yaş ve boyutlara sahip birçok kaya birimi mevcuttur (Şekil 2.7). Karbonifer yaşlı şist, kalkşist, muskovit şist, kuvars şist, kuvarsit, mermer vb. kayalardan meydana gelen Tepedam metamorfiteğine bağlı Mermer üyesi ve Geç Permiyen yaşlı karbonatlardan oluşan Yamanyurt Formasyonu çalışma alanındaki Jura öncesi temel kayaçları oluşturur. Jura-Kretase yaşlı karbonatlar ise Tozutepe Formasyonu karbonatlarıyla temsil edilir. Maastrichtiyen-Paleosen? yaşlı bazalt, spilit, kireçtaşı, kumtaşı, silttaşı vb. kaya topluluklarından oluşan Yüksekova Karmaşığı, ofiyolitik kaya türlerinden oluşan Mehmetalan peridotiti ve ofiyolitli melanj ve olistostromlardan meydana gelen Bakışık melanj ve olistostromu Geç Kretase yaşlı ofiyolitik kayaçları oluşturur. Mezozoik ve öncesi bu birimlerle birlikte Geç Paleosen-Erken Eosen yaşlı Toprakkale Formasyonu ve Orta-Geç Eosen yaşlı Yücelendere Formasyonu bölgede genelde tektonik dilimler halinde yüzeylenir. Oligosen-Miyosen yaşlı kumtaşı, konglomera, silttaşı, kiltası vb. kayalardan oluşan Van Formasyonu bölgedeki Miyosen yaşlı kaya birimlerini temsil eder. Pliyo-Kuvaterner dönemde göl ve akarsu ortamının hâkim olmasıyla çökelen çakıltaşı, kumtaşı, kiltası ve silttaşı ardalanmasından oluşan Saray Formasyonu pliyosen-pleyistosen çökelleri temsil eder. Bazı aktif fay zonlarında gelişmiş karbonatlardan oluşan Kuvaterner travertenler ve yamaçlar boyunca yüzeylenen tutturulmamış çakıllardan ve dere ve göl yataklarında depolanmış çakıl, kum, kil ve siltten oluşan Kuvaterner alüvyonlar bölgedeki genç çökelleri ifade eder (Şekil 2.7). Bölgede yüzeylenen her birimin açıklaması aşağıda verilmiştir.

2.3.4.1. Karbonifer mermer üyesi

Şist, kuvarsit, mermer vb. kayaçlardan oluşan ve Şenel ve ark. (1984) isimlendirilen Tepedam Metamorfiteğine bağlı fosilsiz, açık renkli, kalın tabakalı, masif mermer ve rekristalize kireçtaşları ile ara seviyelerde nadir olarak bulunan ince kalkşist seviyelerinden oluşan üye Mermer üyesi olarak adlandırılır. Düşük derecede netamorfizmaya uğramış birimin yaklaşık kalınlığı 150 m dir. Alt ilişkisi tektonik olan

birimi Yamanyurt Formasyonu uyumsuz olarak üzerler. Birim Saydamer (1976) tarafından Karbonifer olarak yaşlandırılmıştır.



Şekil 0.7. Çalışma alanının jeoloji haritası (Sümengen, 2008'den değiştirilerek hazırlanmıştır).

2.3.4.2. Yamanyurt formasyonu

Şenel ve ark. (1984) tarafından isimlendirilen Yamanyurt Formasyonu orta-kalın tabakalı koyu gri-siyah renklerinde kristalize kireçtaşı, mermer ve dolomitlerden oluşur. Bu metakarbonatlar içinde ara ara ince şeyl ve şist tabakaları gözlenir. Kalınlığı 400 m civarındaki düşük derecede metamorfizma geçirmiş birim, gözlenen deforme *Mizzia* sp.

fosillerine dayanarak Geç Permiyen olarak yaşlandırılmıştır (Saydamer, 1976; Şenel ve ark., 1984).

2.3.4.3. Tozutepe formasyonu

Orta-kalın tabakalı gri-krem renkli, alg içeren dolomitik kireçtaşlarından ve alt kesimlerinde bulunan orta-kalın tabakalı kirli sarı, gri, bej, kahverengimsi kuvarsit ve kristalize kireçtaşlarından oluşan Tozutepe Formasyonu Acarlar ve Türkecen (1986) tarafından adlandırılmıştır. Birim içerisinde yer yer kumtaşı, çörtlü kireçtaşı ve kırmızımsı mikrit seviyeleri de gözlenir. Yaklaşık 1500 m kalınlıktaki birimin alt ilişkisi tektoniktir. Az sayıda bulunan *Trocholina* sp., *Valvulina* sp., *Pseudocyclammina* sp. ve *Ophthalmidium* sp. fosillerine göre birim Jura-Erken Kretase olarak yaşlandırılmıştır.

2.3.4.4. Mehmetalan peridotiti

Şenel ve ark. (1984) tarafından adlandırılan Mehmetalan peridotiti serpantinit, serpantinleşmiş harzburjit, dunit, gabro, diyabaz vb. kayalardan oluşur. Birimin bazı kısımlarında ekaylı yapıya bağlı metagabro ve metadiyabazlar gelişmiştir. Birim, Bakışık melanaj ve Olistostromu üzerinde tektonik olarak bulunur. Yaklaşık 450 m kalınlığa sahip olan biriminin oluşum yaşının Kretase, yerleşim yaşının ise Geç Kretase olduğu öne sürülür (Şenel ve ark., 1984). Birim bölgede gerçekleşen yatay hareketler sonucunda bölgeye tekrar tekrar aktarılmıştır.

2.3.4.5. Bakışık melanaj ve olistostromu

Ofiyolitli melanaj ve olistostromdan meydana gelen birim Şenel ve ark. (1984) tarafından adlandırılmıştır. Karmaşık bir yapıya sahip olan birim serpantinit, harzburjit, dunit, gabro, radyolarit, çört, şeyl, kireçtaşı, metamorfik kumtaşı, bazik volkanit vb. kayalardan oluşur. Birim içerisinde büyük boyutta mermer, dolomit ve bazik volkanitlerden oluşan tektonik dilimler yer alır. Birimde kumtaşı, konglomera ve siltaşı vb. yer yer olistostrom karakterli kırıntılı kayalar da gözlenir.

Kalınlığı 400 m ye ulaşan birimin kaya türü yanal yönde çok sık değişim gösterir. Alt ve üst ilişkisi tektonik olan birimi, genellikle Geç Paleosen-Eosen ve Oligo-Miyosen yaşlı kaya birimleri uyumsuz olarak üzerler. Geç Kretase sonlarında

oluşan birim, Eosen ve Miyosen’de bölgede meydana gelen yatay hareketlerle güneye taşınarak daha kaotik bir yapı kazanmıştır. Bu taşınma sırasında, Paleosen-Eosen yaşlı formasyonlar birime tektonik dilimler halinde dâhil olmuştur.

2.3.4.6. Yüksekova karmaşığı

Genel olarak volkano-sedimanter kayalardan ve kireçtaşlarından oluşan birim Perinçek (1979) tarafından Yüksekova Karmaşığı olarak isimlendirilmiştir. Karmaşık, spilit, spilitleşmiş bazalt, bazalt, killi kireçtaşı, gabro, tuf, şeyl, kumtaşı, konglomera vb. kaya birimlerinden meydana gelir. Kireçtaşları açık kırmızı-krem renkli, yumrulu ve çakıllı planktonik foraminifer içerir ve volkanitlerle ardalanmalı olarak bulunur. Kireçtaşları aynı zamanda yer yer radyolaritlerle yanal ve düşey geçişlidir. Çakıllarının bir kısmı Yüksekova karmaşığından türeyen konglomeralar ve çakılcıklı kumtaşları yanal yönde kireçtaşları içerisinde kamalanırlar ve çört, radyolarit, kırmızı-krem renkli kireçtaşı ve volkanik kökenli taneleri kapsarlar. Volkanitler yastık yapısındadır. Lav parçaları kırmızı renkli kireçtaşları içinde, kireçtaşının da lavlar içinde merccekler halinde gözlenir. Birim içerisinde yer yer tektonik ilişkili granit sokulumları ve serpantinit tektonik dilimleri de bulunur.

Karmaşık içerisindeki kireçtaşları Kandilli kireçtaşı olarak ayırtlanmıştır. Bu kireçtaşları belirsiz tabakalanmalı, açık kırmızı, krem renkli, planktonik foraminiferli ve bazen çört yumruludur ve volkanitlerle girik ve ardalanmalı olarak gözlenirler. Aşırı deformasyondan dolayı birim genelde karmaşık içerisinde blok halindedir. Birim içerisinde ayrıca orta-kalın tabakalı kireçtaşı ve volkanit kökenli konglomeralar da bulunur. Karmaşık içerisinde ayırtlanan bir diğer birim Çardak volkanitidir. Bu birim yeşilimsi gri, yeşilimsi kahve, koyu kahve renklerinde, genelde masif, yer yer yastık şekilli ve bazı kısımlarda aglomera seviyeli olivinli bazalt, spilit ve spilitleşmiş bazaltlardan oluşur. Birimin üst seviyelerinde kırmızı renkli mikrit-killi mikrit ara seviyeleri ve merccekleri de gözlenir.

2500 m kalınlıktaki Yüksekova Karmaşığı yanal ve düşey yönde sık sık kaya türü değişimi gösterir. Birimin alt ve üst ilişkili tektoniktir ve üzerini Geç Paleosen-Eosen yaşlı Toprakkale Formasyonu uyumsuz olarak örter. Birim, bazik volkanizmanın hâkim olduğu bir havza ortamında çökelmiştir.

Birim, saptanan *Globotruncana contusa* (Cushman), *Globotruncana stuarti* (de Lapparent), *Globotruncana arca* (Cushman), *Globorotalia* cf. *velascoensis* (Cushman) vb. fosillerinden dolayı Maastrihtriye-Paleosen? yaşlı kabul edilmiştir.

2.3.4.7. Toprakkale formasyonu

Acarlar ve ark. (1991) tarafından adlandırılan Toprakkale Formasyonu krem, kısmen gri renkli, kalın tabakalı ve yer yer breşik neritik kireçtaşları ile temsil edilir. Bol fosilli olan birimde yer yer dolomitik kireçtaşları izlenir. Kalınlığı 1500 m'ye ulaşan birimin alt ve üst ilişkisi tektoniktir. Karbonat şelf ortamında çökelen birimde saptanan *Miscellanea* cf. *Miscella* d'Archiac-Haime, *Anatoliella ozalpiensis* Sirel, *Dictyokathina vanica* Sirel, *Miscellanea* sp., *Dictyokathina* sp., *Eponides* sp., *Discocyclina* sp., *Alveolina* sp. vb. fosillerine göre birim Geç Paleosen-Erken Eosen olarak yaşlandırılmıştır (Acarlar ve ark., 1991).

2.3.4.8. Yücelendere formasyonu

Şenel ve ark. (1984) tarafından isimlendirilen birim genellikle kırıntılı kayalardan meydana gelir. Formasyon, genelde kırmızı, sarımsı renkli, pelajik-yarı pelajik kireçtaşı ve ince taneli türbiditik kumtaşı, çamurtaşı ve marn ardalanmasıyla temsil edilir. İçinde ayrıca kötü boylanmış çakıltaşı ve çörtlü kireçtaşı seviyeleri de bulunur. Birim Oligo-Miyosen yaşlı Van Formasyonu üzerinde tektonik olarak yer alır ve üzerine geçişli olarak Çobanoğlu formasyonu gelir.

Türbidit akıntılarının etkin olduğu yamaç havza ortamında çökelen birimde gözlenen *Globorotalia* sp., *Globigerina* sp., *Discocyclina* sp., *Anomalina* sp., *Globigerinidae*, *Rotaliidae*, *Textulariidae* fosillerine göre birimin yaşı Erken-Orta Eosen olarak tespit edilmiştir (Acarlar ve ark., 1991).

2.3.4.9. Van formasyonu

Genel olarak kumtaşı, kıltaşı, silttaşı ve kalkarenit ardalanmasından oluşan birim Acarlar ve ark. (1991) tarafından adlandırılmıştır. Birimdeki türbiditik özellikteki ince-orta taneli kumtaşları orta-kalın tabakalanma gösterir. Kumtaşlarında taban yapıları ve konvolüt laminalanma iyi gelişmiştir ve alt sınırı aşınmalı, üst sınırı ise kıltaşları ile

geçişlidir. Kumtaşları ayrıca tüfit ve olistostromal çakıltası seviyeleri ile ardalanır. Birimdeki kalkarenit gri, sarımsı gri renkli ve ince-orta tabakalıdır. Formasyon içerisinde daha yaşlı kaya türleri olistolit olarak gözlenir. Kalınlığı 1200 m olan birim daha yaşlı formasyonları açısız uyumsuzlukla üzerler.

Formasyonun tabanında gözlenen *Phyllocoenia lucassiana* (Defrance), *Hydronophyllia oligocenia* Barta-Calmus, *Cereiphyllia* cf. *tenuis* (Reuss), *Heliastrea canalıs* Vaughan, *Astrocoenia bodellei* Barta-Calmus vb. mercan fosilleri (Acarlar ve ark., 1991) alt kesim için Oligosen yaşını işaret eder. Daha üst düzeylerde saptanan *Tarbellastraea conoidea* (Reuss), *Porites collegniana* Michelin, *Astrocoenia ramosa* (Sowerby), *Heliastrea nerthensis* Chevalier, *Cladocora* cf. *manipulata* (Michelin) gibi mercan fosillerine (Acarlar ve ark., 1991) ek olarak *Lepidocyclina* cf. *Tournoueri* (Lemode ve Douville), *Miogypsina* cf. *İntermedia* Drooger, M. *İrregulatis* (Michelotti), *Miogypsinoides* cf. *Dehartii* Van Der Vlerk (Acarlar ve ark., 1991), *Globigerinoides* cf. *Trilobus* (Reuss), G. *Sicanus* Stefani, *Globorotalia obesa* Bolli, *Globoquadrina* cf. *Dehiscens* (Chapman-Parr Collins), *Catapsydrax dissimilis* (Cushman-Bermudez) gibi saptanan fosiller Erken Miyosen yaşını gösterir. Formasyon saptanan fosil topluluğuna dayanarak Oligosen-Erken Miyosen olarak yaşlandırılmıştır. Transgresif özellik gösteren birim, plaj, şelf ve denizaltı yelpaze ortamında çökelmiştir.

2.3.4.10. Saray formasyonu

Şenel ve ark. (1984) tarafından adlandırılan birim, genellikle çakıltası, kumtaşı, kıltaşı ve siltaşı ardalanmasından meydana gelir. Birimdeki orta-kalın tabakalı çakıltaları iri taneli, yer yer masif ve kötü boylanmalıdır. Daha çok birimin üst seviyelerine yakın kısımlarında gözlenen kumtaşları ise kirli sarı, açık gri ince-orta tabakalı, kötü boylanmalıdır. Birimin üst düzeyinde kıltaşı ve siltaşları ve bunlar içerisinde yer yer gözlenen killi kireçtaşı bulunur. Formasyon tabakaları genel olarak yatay konumdadır.

Göl ve akarsu ortamında çökelen birimin yaşı, kireçtaşlarında gözlenen mollusk kavkı izlerine göre Pliyosen-Pleyistosen olarak kabul edilmiştir (Şenel ve ark., 1984).

2.3.4.11. Kuvaterner traverten

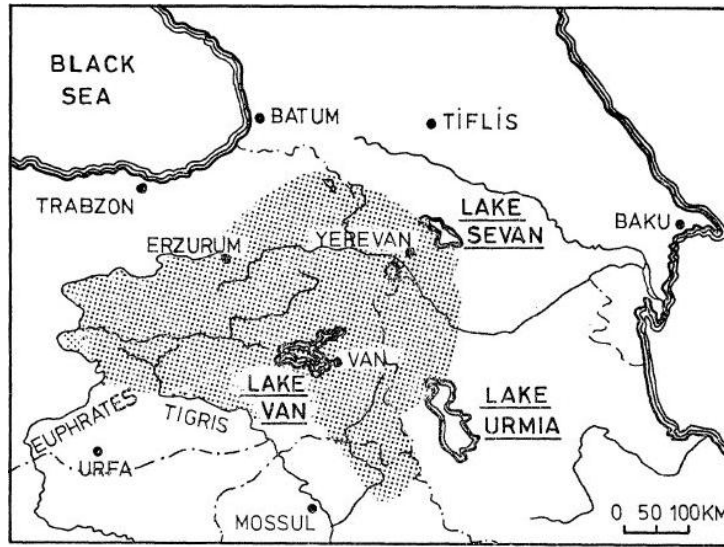
Bazı gelişmiş fay zonlarında oluşmuş karbonatlardır.

2.3.4.12. Kuvaterner alüvyon

Dere ve göl yataklarında çökelmiş, çakıl, kum, kil, silt ve dik yamaçlarda tutturulmamış çakıllardan oluşan yamaç döküntüleri günümüz çökel topluluğunu temsil eder.

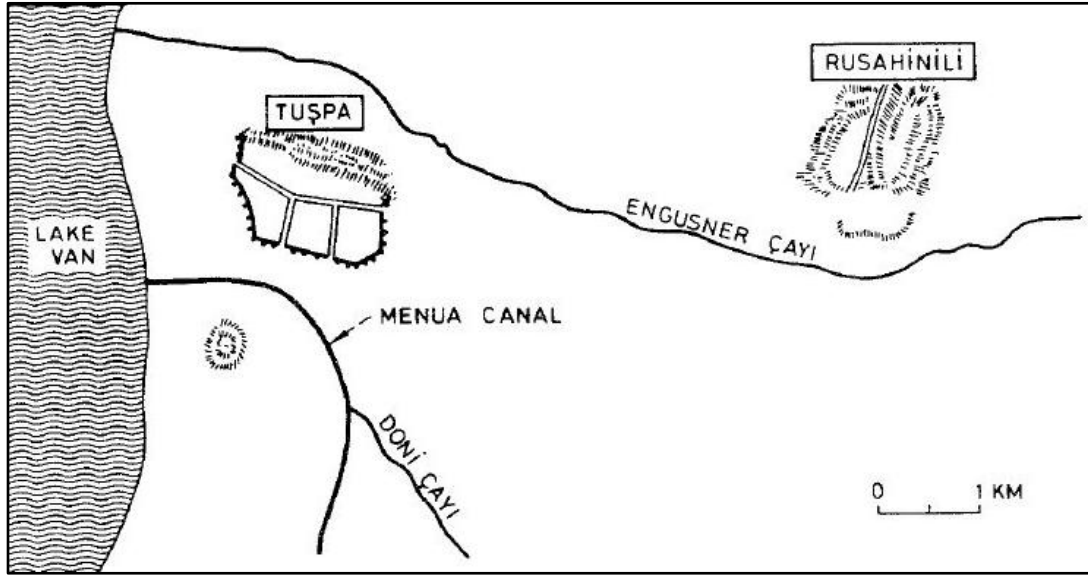
2.4. Urartu Dönemi Su Yapıları

Urartular adı tarihte ilk kez M.Ö. 1273 yılında Asur yazılı kaynaklarında “Uruatri” ismiyle bir ülkeler federasyonu olarak görünse de M.Ö. 850-600 yılları arasında hüküm süren Urartu Krallığı Doğu Anadolu’da Van Gölü çevresinde Kral Sardur I tarafından kurulmuştur (Şekil 2.8). Van’ın modern şehri Tuşba (Van Kale) M.Ö. 830 yılı civarında Sardur I tarafından krallığın başkenti olarak seçilmiştir. Yerel su potansiyeli düşük olmasıyla birlikte, Tuşba’nın başkent seçilmesi tamamen askeri ve siyasal sebeplere dayalıydı. Krallığın başkenti daha sonra M.Ö. 700 yılı civarında Kral Rusa II tarafından Tuşba’dan Rusahinili (Toprak Kale)’ye taşınmıştır (Mays, 2010) (Şekil 2.9).



Şekil 0.8. Urartu Krallığı (M.Ö. 850-600) (Garbrecht, 1980’den alınmıştır).

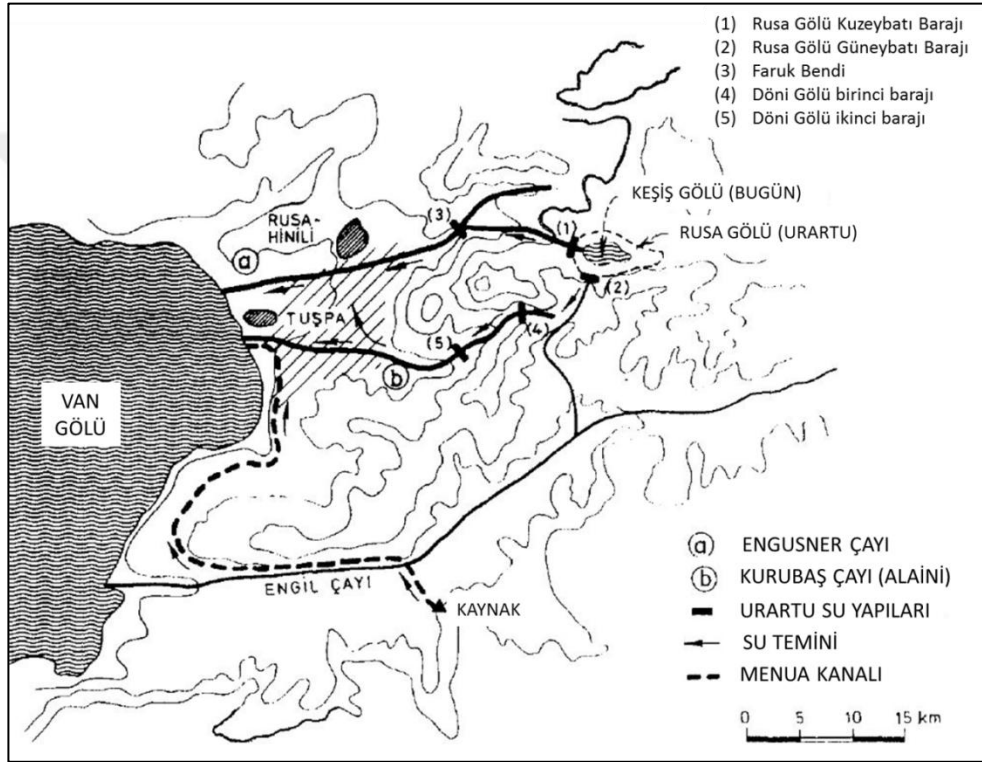
Krallığın kurulduğu bölge dağlık bir karaktere sahipti ve deniz seviyesinden ortalama 1500-2000 metre yükseklikte bulunmaktaydı. Bu dağlık bölgede oturmaya elverişli koşullar yalnızca alüvyal vadilerde mevcuttu. Bölge kışların ıslak ve soğuk, yazların sıcak ve kuru olduğu karasal iklim hâkimiyeti altındaydı. Mayıs ve Eylül ayları arasındaki dönemde ise düşük yağış, yüksek sıcaklık ve buharlaşma baskındı. Bu çevresel ve iklimsel koşullar altında, yoğun olarak yerleşilen vadilerde yoğun sulanmış tarım yeni serpilmiş Urartu medeniyetinin gelişmesi için bir ön koşul teşkil ediyordu.



Şekil 0.9. Urartu Krallığı'nın başkentleri Tuşba ve Rusahinili (Garbrecht, 1980'den alınmıştır).

Van Gölü'nün suyu yüksek sodyum karbonat içeriği, 9.8 lik pH değeriyle yüksek alkaliliği ve de %22 tuzluluk oranından (Garbrecht 1980; Litt et al., 2007) dolayı içilebilir değildi. Yerel su kaynakları ise kısıtlıydı ve Tuşba (Van) Ovası'na akan Engüsner ve Doni çayları (Şekil 2.9) tüm yıl boyunca su taşımıyorlardı. 9 km genişlikte ve 17 km uzunluğundaki Tuşba Ovası su kaynakları açısından oldukça fakir olsa da, Van Ovası'nın doğusunda 3200 m yükseklikteki Ereğ Dağı'nda zengin su kaynakları bulunmaktaydı. Hem krallık halkının hem de tarımsal faaliyetlerin ihtiyaçlarını karşılamak için ovaya güvenli ve sabit su temini gerekiyordu. Engil Çayı vadisi yakınındaki güçlü bir su pınarı ve Keşiş Gölü doğal su rezervuarı elverişli su kaynaklarının temelini oluşturdu. Urartu Krallığı'nın su mühendisleri bu su kaynaklarını temel alarak üzere birçok baraj, su bendi ve su(lama) kanalı inşa etmiştir. Bölgedeki

antik su yapılarının çoğu geçmiş dönemlerde meydana gelmiş taşkın, erozyon, deprem ve heyelan kaynaklı hasar görmüş olsa da, Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki yoğun sismik ve volkanik faaliyetlere rağmen, çoğu az bir restorasyonla günümüzde hala Erek Dağı'nın batısından Van Gölü'ne kadar 150 km²lik alanı sulamak için kullanılmaktadır (Belli, 1994). Bölgede bulunan antik su yapılarından en büyükleri ve en önemlileri olan Menua (Şamran/Semiramis) Kanalı, Rusa (Keşiş) Gölü barajları, Döni Barajı, Döni Bendi ve Faruk Bendi'nin (Şekil 2.10) özellikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 0.10. Van Ovası su yönetim sistemi ve Urartu dönemi su yapıları (Garbrecht, 1987'den alınmıştır).

2.4.1. Menua (Şamran/Semiramis) Kanalı

Menua Kanalı (Şekil 2.11) büyük Urartu kralı Menua (M.Ö. 810-786) tarafından krallığın o zamanki başkenti Tuşba nüfusuna ve Tuşba Ovası'ndaki tarımsal alanlara su temin etmek amaçlarıyla yaptırılmıştır (Garbrecht, 1980; Belli, 1997). Van'ın kuş uçuşu 50 km güneyindeki Gürpınar Ovası'ndan Van Ovası'na su getiren ortalama genişliği 3.5-4 m olan kanal yaklaşık 56 km uzunluktadır (Şekil 2.10). Yıllık toplamda ortalama

75 milyon m³ su taşıyan kanaldaki suyun ortalama debisi 3-4 m³/s dir ve kurak dönemde dahi 2 m³/s altına düşmez (Garbrecht, 1987).



Şekil 0.11. Günümüz Menua Kanalı'ndan bir görüntü (Öziş, 1999' dan alınmıştır).

Kanalın çıkış kaynağı Gürpınar ilçesinin 6 km güneybatısındaki Yukarı Kaymaz (Mecingir) köyünün 1 km güneydoğusunda bulunan 1760 m kottaki büyük su pınarıdır (Garbrecht, 1987; Bildirici, 2009) (Şekil 2.10 ve 2.12). Su 37-38 m çapındaki bir alandan çıkar ve debisi 6-10 m³/s arasında değişir (Garbrecht, 1980; 1987). Normalde 5 km kuzeyindeki Engil çayına akması gereken fişkırان kaynak suyu öncelikle toprak bir kanalın içinde kuzeye toplanır ve kanalla doğudan batıya doğru akan Engil çayının sağ kıyısına bir aşırma kemeri (köprü) ile geçirilir (Şekil 2.13). Kemerden sonra kanal Engil Çayı'nı vadisinin kuzey yamacından batıya doğru takip eder. Kaynağın yaklaşık 25 km aşağısında, kanal kuzeye döner ve Van Gölü'nün doğu kıyısından kuzeye doğru akan suyu antik kotu 1646 m olan Tuşba Ovası'na ulaşır (Şekil 2.10). Van Gölü doğusundaki arazinin kayalık ve engebeli elverişli olmayan vadilerine kanalın suyunu belirli seviyede akıtılabilmek için iri kalker taşlardan boyları 20 metreye ulaşan yüksek istinat (destek) duvarları örülmüştür (Garbrecht, 1980; 1987) (Şekil 2.14). Duvarlar bindirme tekniği ile yapılmıştır ve eğim oranı 4-9 m arasında değişmektedir (Belli, 1997).



Şekil 0.12. Menua Kanalı'nın çıkış kaynağının doğudan fotoğrafı (Belli, 1997'den alınmıştır).



Şekil 0.13. Şamran Kanalı'nın Engil çayını beton köprü (aşirtma kemeri) ile geçişi (Bildirci, 2009'dan alınmıştır).



Şekil 0.14. Menua Kanalı istinat (destek) duvarları (Belli, 1997'den alınmıştır).

Yapıldığı günden günümüze kadar 2800 yıldır bozulmadan varlığını koruyan kanalın sadece orta kısmı 1950 yılında modern beton kanalla orijinal halinin bakımı çok masraflı olduğundan dolayı değiştirilmiştir (Garbrecht, 1980). Menua sulama kanalı günümüzde Van Ovası'ndaki bahçeleri sulamaya devam etmekle birlikte ayrıca geçtiği yerlerde bulunan toplamda yaklaşık 5000 hektarlık tarla, sebze ve meyve bahçelerine de su sağlayarak hayat verir (Garbrecht, 1980; Belli, 1997, Mays, 2010).

2.4.2. Rusa (Keşiş) Gölü ve Döni Gölü barajları

M.Ö. 700 yılı civarında, Kral II. Rusa (M.Ö. 685-645) Urartu Krallığı'nın başkentini Tuşba'nın 5 km doğusundaki kayalık dağ olan Rusahinili (Toprak Kale)'ye taşımıştır (Şekil 2.9). Eski başkent Tuşba'nın bahçeleri ve yaşam alanları terk edilmediğinden dolayı Menua kanalı buraya içme ve sulama suyu sağlamaya devam etmek zorundaydı. Bu sebeple yeni başkent ve çevresinin su teminine ihtiyacı vardı. Bu bağlamda inşa edilen Rusa barajlarının kim tarafından ve hangi amaçlarla yaptırıldığına dair bilgileri içeren çivi yazılı stel (Şekil 2.15), 1891 yılında W. Belck tarafından Van Ovası'nın doğusundaki Erek Dağı üzerindeki Rusa Gölü kıyısında bulunmuş ve daha sonra yaklaşık 120 yıl önce Berlin'deki Pergamon (Bergama) Müzesi'ne kaçırılmıştır (Garbrecht, 1980; 1987; Belli, 1997).



Şekil 0.15. Berlin Pergamon Müzesi'ndeki Rusa Barajı ile ilgili çivi yazılı Urartu steli (Bildirici, 2009'dan alınmıştır).

Van Gölü'nün 35 km doğusunda Erek Dağı'nın 2544 m kotunda yağmur suyunun ve baharda eriyen karların toplandığı 7 km²lik alana yayılan bir çöküntü mevcuttu. Burada biriken 40 milyon m³ ten fazla su çöküntünün kuzeybatı köşesinden Van Gölü'ne doğru drene oluyordu. Kral II. Rusa bu çıkışı bir baraj (kuzeybatı duvarı-barajı) ile kapatarak çöküntüyü Rusa Gölü adında bir yapay göl haline getirdi (Şekil 2.16). Yükselen göl seviyesi suyun gölün güneyinden akmasına sebep olunca kral ikinci bir baraj (güneybatı duvarı-barajı) inşa ettirdi ve barajdaki suyu yeni başkent Rusahinili'ye yönlendirdi (Burney, 1972; Garbrecht, 1980; Öziş, 1981; Belli, 1997).



Şekil 0.16. Rusa (Keşiş) Gölü'nün günümüzden bir görüntüsü (Belli, 1997'den alınmıştır).

Güneybatı barajı hem dar hem de kayalık bir vadi üzerine inşa edilmiştir (Şekil 2.17). Baraj duvarının sağ tarafında $0.27\text{m} \times 0.95\text{m}^2$ boyutunda akış yukarı (mamba) taraftan kapatılabilen bir savak (çıkış) bulunur (Garbrecht, 1980). Yapının şu anki konumu ve yüksekliği Urartular döneminde Rusa Gölü'nün şu anki seviyesinden 10 m yüksek olduğunu gösterir ki bu da güneybatı barajının Urartular döneminde inşa edildiğinde bugünkü restore edilmiş halinden daha yüksek olduğunu ima eder. Gölün bugünkü rezervuarı yaklaşık 20 milyon m^3 olmakla birlikte, Urartular zamanında muhtemel rezervuarın 100 milyon m^3 civarında olduğu tahmin edilir (Garbrecht, 1980).



Şekil 0.17. Rusa Gölü önü köreltilmiş güneybatı barajının batıdan görünüşü (Belli, 1997'den alınmıştır).

Güneybatı barajından geçen suyun normalde Engil Çayı vadisinden geçerek Van Gölü'ne ulaşması gerekiyordu. Göldeki sudan hem Tuşba hem de Rusahinili'nin faydalanması için, barajdaki su dar ve kayalıklı bir vadiden geçerek bugünkü adı Kurubaş Çayı olarak bilinen Döni Çayı drenaj alanına yönlendirilir ve Döni Gölü'nde dinlendirilirdi. Döni Gölü suyunu kendi birikme havzasında tutmak ve buradaki suyun sızıntısını kesmek için vadisinde on tane kadar küçük baraj inşa edilmiştir. Bunlardan sadece üç tanesi tamamen ya da kısmen korunmuş olup iki tanesi günümüzde hala Van Ovası'nı sulamak için kullanılmaktadır. Bu iki Döni Gölü barajından birincisinden (Şekil 2.18) çıkan su batıya doğru akarak Van Ovası'nın güneydoğusundaki Menua kanalının sulamadığı alanları sulamak için kullanılıyordu ve baraj günümüzde hala işlevini sürdürmektedir. Döni Gölü'ndeki ikinci baraj (Şekil 2.19) günümüzde kısmen korunmakta olup (Garbrecht, 1987) hakkında literatürde başka herhangi bir bilgi bulunmamaktadır.

Rusa Gölü güneybatı barajının suya bakan ön kısmı, Van Ovası'nın kuzeydoğu tarafına daha çok su göndermek amaçlı, 1880'li yıllarda Osmanlı Hükümeti tarafından toprak yığdırılarak köreltilmiştir. Bu sebeple, barajın bu duvarı yaklaşık 150 yıldan beri çalışmamaktadır. Baraj günümüzde hala varlığını iyi korunmuş olarak sürdürmektedir (Şekil 2.17).



Şekil 0.18. Döni Gölü büyük (birinci) barajının bir görüntüsü (Garbrecht, 1987'den alınmıştır).

Rusa Gölü güneybatı barajının önünün kapatılmasından sonra, yoğun kar yağışlı bir kış ve çok ıslak bir ilkbahar sonrası barajda biriken sular kuzeybatı barajında yüksek basınç yaratarak bu barajın 1891'de şiddetle yıkılmasına sebep olmuştur (Garbrecht, 1980; 1987; Belli, 1997). Tuşba ve Rusahinili ovalarının su ihtiyacından dolayı, orijinalinde muhtemelen daha yüksek olan barajın 50 m kadar akış yukarısına 1894'de daha küçük bir baraj yapılmıştır ve bu barajın yüksekliği daha sonra 1952'de yükseltilmiştir (Garbrecht, 1980; 1987) (Şekil 2.20).



Şekil 0.19. Kısmen yıkılmış Döni Gölü ikinci barajının bir görüntüsü (Garbrecht, 1987'den alınmıştır).



Şekil 0.20. Rusa Gölü kuzeybatı barajından bir görüntü (Garbrecht, 1987'den alınmıştır).

Baraj günümüzde hala kullanılmaktadır ve barajda bulunan savak $0.65 \times 0.65 \text{ m}^2$ boyutunda olup $2.5\text{-}3 \text{ m}^3/\text{s}$ su drene etme kapasitesine sahiptir (Şekil 2.21) (Garbrecht,

1980, Bildirici, 2009). Barajın duvarı, Rusa Barajı güneybatı duvarı gibi arka arkaya inşa edilen iki ayrı duvardan meydana gelir. Bunlardan daha batıdaki duvar 15 m genişliğinde, ikinci duvar ise 11.5 m genişliğindedir. Bu duvarlar arasındaki dolgu ise 5 m genişliğinde olup kuzeybatı barajının toplam genişliği 31.5 m dir. Baraj bu genişlikle Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan Urartu barajlarının en genişini temsil etmektedir. Bu barajdan çıkarak batıya doğru akan sular Van Ovası'nın kuzeydoğusundaki 1761 m kotundaki Sıhke Göleti'nde (Şekil 2.22) toplanmaktadır. Barajdan çıkan su çok dar ve dik bir vadi içerisinde hızlıca aktığı için suyun daha düzenli akması ve Sıhke Göleti'nin toprakla dolmasını engellemek için, göletin 6-6,5 km doğusunda Köşebaşı Barajı yapılmıştır. Rusa Barajı'ndan çıkan su bu baraja kadar yaklaşık 14-15 km mesafe kat eder. Bu barajın duvarı doğu-batı yönünde çok dar bir vadi içerisine inşa edilmiştir. Fakat duvarın büyük bir kısmı çok hızlı akan sudan dolayı yıkılmıştır ve günümüzde sadece kuzey kısmından bir kısmı varlığını sürdürmektedir (Belli, 1997).



Şekil 0.21. Rusa Gölü kuzeybatı barajının kuzeybatıdan görünüşü (Belli, 1997'den alınmıştır).

Rusa Barajı'nın suyu Sıhke Göleti'ne kadar ise 21 km mesafeyle akar. Göletin güney kısmında yarım ay biçiminde 342 m uzunlukta ve 6-17 m genişlikte bir bent bulunur. Urartular döneminde yapıldığı düşünülen bent Osmanlı döneminde büyük bir tadilat geçirmiştir. 1948 yılında yıkıldığı düşünülen antik bent sonrası, günümüzden yaklaşık 60 yıl önce Van DSİ Bölge Müdürlüğü tarafından yeni bir duvar inşa edilerek

gölün alanı büyütülmüştür. Bu sebeple, eski bent göl alanının ortasında sular altında kalsa da su seviyesinin düştüğü sonbahar mevsiminde kısmen veya tümüyle ortaya çıkmaktadır (Şekil 2.23). Göletten Urartular zamanında Alaini, günümüzde ise Akköprü deresi olarak akan sular Urartular zamanında olduğu gibi şu anda da Van Ovası'nın sulanamayan kuzeydoğu kısmındaki yaklaşık 500 hektarlık tarım alanlarına su temin eder (Belli, 1997).



Şekil 0.22. Sihke Gölet'inden bir görüntü (Bildirici, 2009'dan alınmıştır).



Şekil 0.23. Sihke Göleti suları altında kalan antik Urartu bendinin kuzeybatıdan görünüşü (Belli, 1997'den alınmıştır).

2.4.3. Faruk Bendi

Faruk Bendi, Rusahinili ile Rusa Gölü'nün tam ortasında Engüsner Çayı vadisi üzerinde Rusa Gölü kuzeybatı barajından gelen suyun kuzeyden akan bir dere ile kesiştiği noktada yer alır (Garbrecht, 1980; 1987; Bildirici, 2009) (Şekil 2.10). Bendi yapım sebebinin; seli önlemek (Orhan ve ark., 2006; Bildirici, 2009), Rusa Gölü kuzeybatı barajının yıkımından sonra baraj gölündeki su kaybını engelleyerek su toplamak (Garbrecht, 1980;1987) ve aşağı kesimlerdeki arazilere su temin etmek (Schnitter, 1979; Öziş, 1984, 1999) olduğu söylenir. İkincil görevi ise ulaşım amaçlı köprü olarak kullanılmasıdır (Orhan ve ark., 2006). Bendi yapımında kireçtaşı kesme taşları ve bağlayıcı malzeme olarak da kireçtaşı, kum ve keçi saçı karışımı kullanılmıştır (Orhan ve ark., 2006). Yapım tekniğine bakıldığında bendin Urartulara değil de Romalılara ait olduğu söylene de (Garbrecht, 1980; 1987), Urartular döneminde inşa edilen yapıya Roma ve Osmanlı dönemlerinde eklemeler yapıldığı da söylenir (Orhan ve ark., 2006; Bildirici, 2009). Bendi İran-İlhanlı barajlarıyla olan yapısal benzerliğinden dolayı Selçuklu dönemine ait olması da olasıdır (Öziş, 1999). Bendi memba tarafı düzgün dört köşe taşlardan inşa edilmiş olup diktir. Mansap tarafı duvarı ise aşağıya doğru kalınlaşır. Bendi memba tarafında yarım daire kemerli bir yapı mevcuttur (Şekil 2.24). Mansap tarafında ise iki çıkış bulunmakta olup alt tarafta olan dikdörtgen üst taraftaki ise kemerli dairedir (Bildirici, 2009) (Şekil 2.25). Bendi duvarı "Opus Cementitium" şeklinde inşa edilmiştir. Opus Cementitium Roma döneminde yapılmış bir tür betondur ve kalıp taşların arasının taş kırıkları ve killi kalker-doğal puzolan-tuğla tozu harcıyla doldurulmasıyla elde edilir. Bu yapı tarzı Romalılara ait pek çok yapıda mevcuttur (Bildirici, 2009). Bende bu Roma betonu üzerine 75 cm arayla bir ahşap ızgara konularak yapıya 2-3 m kadar kesme taşlarla ilave yapıldığı gözlenir. Ahşaptan yapılan karbon 14 analizi 1760 ile 1850 arası dönemi işaret eder ve bu da ilavenin Osmanlı döneminde yapıldığını gösterir (Garbrecht, 1991; Öziş, 1999). Sonuç olarak bent Urartu döneminden Osmanlı dönemine kadar tarihlenir. Bendi 60 yıl önce meydana gelen depremlerden dolayı çatlayarak (Orhan ve ark., 2006) ikiye ayrıldığı söylene de Bildirici (2009) raporunda bendi gövdesinin 1961 yılında define avcıları ve kaçak kazıcıların patlatması sonucu çatlatılarak ikiye ayrıldığı iddia edilir. Barajın büyük kısmı ise 1988-1989 yıllarında yıkılmıştır (Garbrecht, 1991, Öziş, 1999, Bildirici,

2009) (Şekil 2.26). Garbrecht (1991) yıkılmanın yapının temelinin doğru kurulmadığından temel kaymasından dolayı yıkıldığı görüşündedir.



Şekil 0.24. Faruk Bendi'nin yıkılmadan önce membadan görünüşü (Bildirici, 2009'dan alınmıştır).



Şekil 0.25. Faruk Bendi'nin yıkılmadan önce mansaptan görünüşü (Bildirici, 2009'dan alınmıştır).



Şekil 0.26. Faruk Bendi'nin yıkıldıktan sonra mansaptan bir görüntüsü (Hepbostancı ve ark., 2015'den alınmıştır).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tuşba, Van bölgesinde bulunan en eskisi Urartu dönemine ait olan antik su yapıların jeo-mühendislik özelliklerin çalışılması, (1) ofis, (2) arazi ve (3) laboratuvar çalışmaları olmak üzere üç ayrı aşamada gerçekleşmiş ve aşağıda açıklanmıştır.

3.1. Ofis Çalışmaları

Ofis çalışmaları kapsamında, Urartu barajları üzerine yapılan farklı disiplinlerdeki önceki çalışmalar derlenmiş ve literatür arşivi oluşturularak tez çalışması öncesi genel bilgiler elde edilmiştir. Çalışma alanının jeolojisi, Van ve yakın çevresi ve de bulunduğu bölge olan Doğu Anadolu Bölgesi'nin jeolojisi, tektoniği ve depremselliği üzerine yayınlanmış çalışmalar ışığında oluşturulmuştur. Çalışma alanını kapsayan K51D3, K51D4, L51A1 ve L51A2 pafta numaralı 1/25.000 ölçekli haritalar ve bağlı oldukları 1/100.000 ölçekli haritalar ve raporları Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğü'nden elde edilmiş ve bu haritalarla birlikte Google Earth üzerindeki uydu görüntüleri ve bölgenin sayısal yükseklik modeli (SRTM verisi-açık kaynak) kullanılarak, çalışma alanının jeoloji haritası *Global Mapper* ve *Freehand MX* paket programları kullanılarak hazırlanmıştır.

Ayrıca, Faruk Bendi'nin araziden elde edilen geometrisi çizilmiş ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler ve bölgeyi karakterize eden bazı depremlerin ivme kayıtları kullanılarak Faruk bendinin performansı "*Ansys Workbench*" programında sonlu eleman analizi ile değerlendirilmiştir. Bunlarla beraber, ofis çalışmaları; elde edilen diğer tüm verilerin değerlendirilmesi, yorumlanması, figür, çizelge ve grafiklerin bilgisayar ortamında *Microsoft Office* ve *Freehand MX* gibi çeşitli programlar kullanılarak hazırlanmasını içermektedir.

3.2. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları kapsamında söz konusu Urartu su yapılarının yerleri literatürdeki topografik haritalar üzerindeki yerlerinden faydalanarak yerinde ziyaret edilmiş ve konumları GPS ile kaydedilmiştir. Yapıların üzerinde bulunduğu jeolojik birimler tanımlanmıştır. Yapıların geometrileri şerit metre ve pusula kullanılarak

ölçülmüştür. Yapılarda kullanılan malzemeler yerlerinde incelenmiştir. Faruk bendinin yapımında kullanılan ana malzemenin (traverten) yakın çevresinde mostra veren travertenler ile olan benzerliği tahribatsız deney yöntemleri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda bendin akış aşağı ve akış yukarı duvarlarından ve de mostradan olmak üzere Schmidt çekici ile ölçümler yapılmış ve (Şekil 3.1) yapıda kullanılan travertenler ile çevrede mostra veren travertenler arasındaki benzerlik ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu çalışma sonrasında benzer değer veren mostradan blok boyutlarında örnekler temin edilmiş ve laboratuvar ortamına getirilmiştir. Söz konusu örneklerin seçiminde süreksizlik içermemelerine dikkat edilmiştir. Ayrıca, kısmen yıkılmış halde bulunan Faruk Bendine ait bağlayıcı malzeme Engüsner çayı boyunca döküntü olarak gözlenmiş ve söz konusu malzemenin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yeterli sayıda örnek dere yatağı boyunca temin edilmiş ve laboratuvar ortamına getirilmiştir.

3.3. Arazi ve Laboratuvarda Yapılan Deneysel Çalışmalar

Faruk bendi yapı malzemesi olarak kullanılan travertenler üzerinde yapılan Schmidt çekici uygulamaları sonrasında, benzer özellik sergileyen çevre mostralardan elde edilen blok örnekler üzerinde karot örnekleri alınmıştır. Hazırlanan örnekler üzerinde tek eksenli sıkışma dayanımı ve özgül birim ağırlık ölçümü yapılmıştır. Ayrıca Faruk Bendi bağlayıcı malzemesinin döküntülerinden alınan örneklerin özgül birim ağırlıkları belirlenmiş ve nokta yükleme indeksi deneyi yapılmıştır. Bu kapsamda, gerek arazide gerekse de laboratuvarda uygulanan deneyler hakkında bilgiler ve her bir deneyde uygulanan standart yöntemler aşağıda alt başlıklar altında sunulmuştur.

3.3.1. Schmidt çekici

Schmidt çekici gerek arazide gerekse laboratuvarda kaya ve beton gibi malzemeler üzerinde uygulanan tahribatsız bir deney yöntemidir. Schmidt çekici, kaya örnekleri üzerine bastırılmakta ve yayın sıkışmasından dolayı zımba kuvvetle örnekler üzerine çarpmaktadır (Şekil 3.1). Bu çarpmayla elde edilen geri sıçrama değeri mekanik kadran üzerinden okunmaktadır. ASTM standartlarında kaya bloğu üzerinde 10 atış yapılarak ortalaması alınmaktadır. Ortalama değerden ± 7 birime sahip okumalar

çıkartılarak geri kalan değerlerin tekrar ortalaması alınmaktadır. ISRM (2007) standartlarında ise 10 ayrı atışın en yüksek %50 si alınarak ortalama geri sıçrama değerleri elde edilmektedir.



Şekil 0.1. Faruk Bendi akış yukarı duvarında Schmidt çekici deneyi.

Çalışmada ASTM (2001) standartları dikkate alınmış ve N-Tipi Schmidt çekici kullanılmıştır. Arazide deneye başlamadan önce, laboratuvarda örs yardımıyla, Schmidt çekicinin kalibrasyonu yapılmıştır. Faruk bendi duvar yapısında olduğu gibi, laboratuvar ortamına getirilen çevre kayalara ait bloklar üzerinde de çekicinin oryantasyonundan kaynaklı olabilecek hataların azaltılması amacıyla, Schmidt çekici her zaman yatay düzlemde uygulanmıştır. Arazide yapılan uygulamalarda olabildiğince pürüzsüz yüzeylerin seçilmesine dikkat edilmiş ve laboratuvar ortamına getirilen bloklar ise yüzeyleri temizlenerek pürüzsüz yüzeyler oluşturulmuştur. Her blok üzerinde, geri sıçrama değerleri kaydedilip, ortalama Schmidt geri sıçrama değeri belirlenmiştir.

3.3.2. Tek eksenli basınç deneyi

Tek eksenli sıkışma dayanımı, kaya veya beton gibi malzemelerin dayanım özelliklerini tanımlayan önemli parametrelerden bir tanesidir. Tek eksenli sıkışma dayanımı küp veya silindirik (karot) örnekler üzerinde uygulanmaktadır. Silindirik örneklerde boy/çap oranı 2.0-2.5 arasında olacak şekilde, alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel ve herhangi bir kırık çatlak içermeyen karot örnekleri üzerinde gerçekleştirilir. Tek eksenli basınç deneyinde yükleme, hızın ayarlanabildiği hidrolik pres yardımı ile sabit bir hızla eksenel olarak yapılmaktadır. Örneklerin, 2 ile 15 dakika içerisinde yenilebilmesi için gerekli olan yük değeri kaydedilir.

Bu çalışmada traverten mostrasından toplanan blokların dayanım özelliklerini belirlemek için karot örneklerin elde edilmesi sağlanmıştır. Şekil 2.2’de gösterildiği gibi, kaya blokları karot alma makinesine yerleştirilip, sabitlenmiştir. Karotların elde edilmesinde çapı NX olan karotiyer kullanılmıştır. Uygulama sırasında karotların yeterli boy/çap (L/D) oranına sahip olmasına özen gösterilmiştir. Elde edilen karotların alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel ve pürüzsüz olacak şekilde düzeltilmiştir. Alınan silindirik karot örneklerin doğal birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi için kaya bloklarından elde edilen karot örneklerinin boy ve çap değerleri kumpasla (0.01 mm duyarlılıkta) ölçülmüş ve numunelerin ağırlıkları (W) hassas terazide tartılmıştır. Tek eksenli sıkışma deneyleri sonrasında her numune için gerilme-deformasyon eğrisi, kayacın tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS), eksenel ve yanal birim deformasyonları elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler kullanılarak kayaçların elastisite modülü (E), poisson oranı (ν) gibi mühendislik parametreleri hesaplanmıştır.

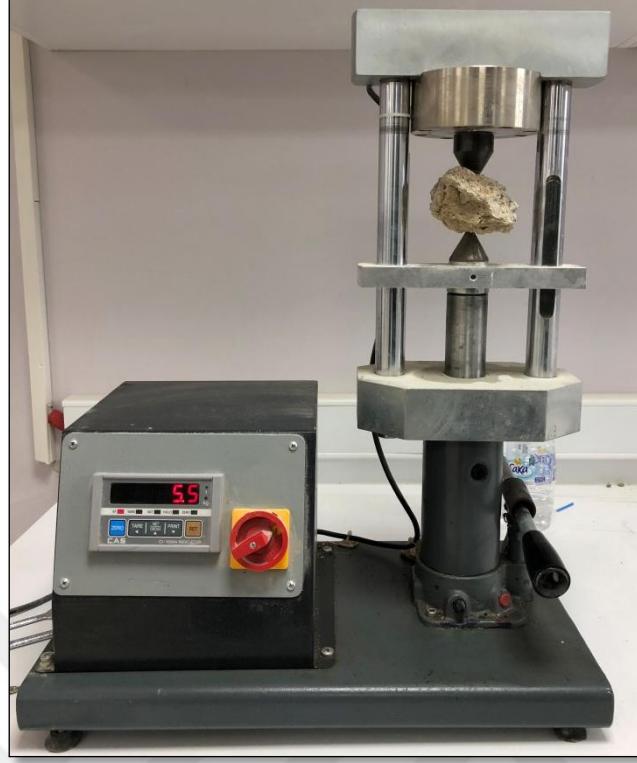
3.3.3. Nokta yükü indeks deneyi

Nokta yükü indeks deneyinde, uygulanan yük konik başlıklar aracılığıyla uygulanmaktadır. Bu deney için silindirik karot örneklerinin yanı sıra, blok ve düzensiz şekilli örnekler de kullanılabilir. Karot örneği konik yükleme başlıklarının arasına karot eksenine dik veya paralel konumda yerleştirilebilir. Bu nedenle nokta yükleme deneyi çapsal ve eksenel olarak gerçekleştirilebilir. Ayrıca blok ve düzensiz örneklerde de nokta yükü dayanım indeksi değerleri elde edilmektedir.



Şekil 0.2. Bent yapı malzemesi ile benzerlik gösteren çevre kayaktan alınan blok numunenin karotiyer ile kesilmesi.

Araştırmada Faruk bendinde kayalar arasında bağlayıcı malzeme olarak kullanılan ve genellikle ofiyolit, kireçtaşı ve traverten çakıllarının beyaz ve sarımsı kumtaşı ve kıltaşından oluşan döküntüleri üzerinde nokta yükü dayanım indeksi deneyleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3). Söz konusu örnekler kuru olarak deneye tabi tutulmuştur. Deney sonrasında elde edilen nokta yükü indeks değerleri ile dayanım değerleri arasındaki ilişkilerden yararlanılarak söz konusu bağlayıcı malzemenin dayanım değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda Broch ve Franklin (1972) tek eksenli sıkışma dayanımının, nokta yükü dayanım indeksi ile 24 değerinin çarpılmasıyla elde edilebileceğini rapor etmiştir. Benzer olarak farklı araştırmacılar farklı katsayı değerlerini önermektedir. Bieniawski (1975) bu katsayının 23 olması gerektiğini önermiştir. Sönmez ve Osman (2008) bu sayının 5 ile 55 gibi geniş bir aralık içerisinde değerlendirilmesi gerektiğini rapor etmiştir. Bu çalışmada Karaman ve Kesimal (2012)'in farklı kayaç tipleri üzerinde elde ettiği deneysel eşitlik kullanılarak, söz konusu bağlayıcı malzemelerin dayanım değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır.



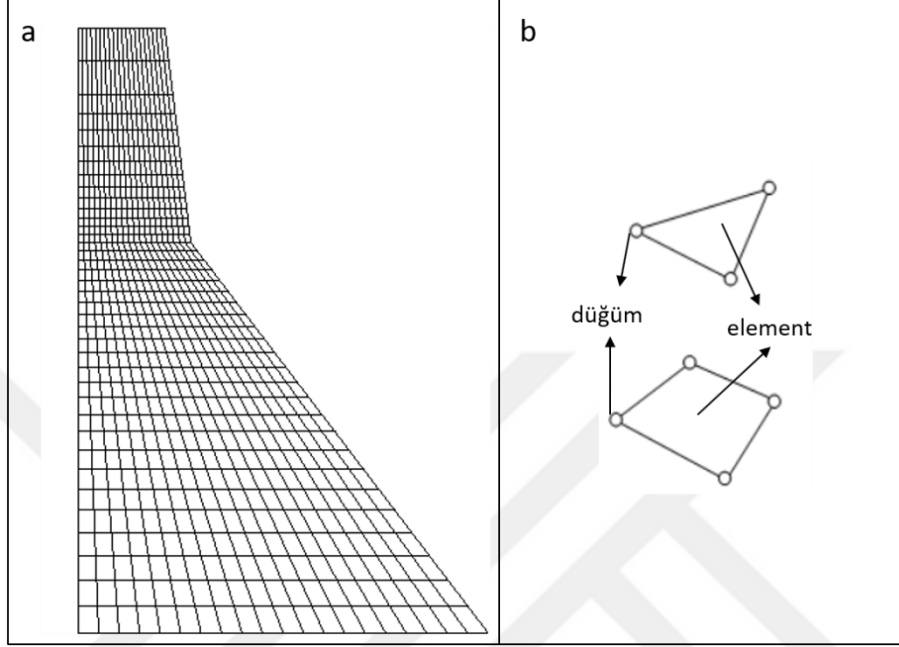
Şekil 0.3. Şekilsiz döküntü bağlayıcı malzeme numunesi üzerinde nokta yükleme deneyi.

3.4. Sonlu Elemanlar Metodu (SEM)

Sonlu elemanlar metodu (SEM) bir numerik analiz yöntemidir. Numerik analizler elle yapılması mümkün olmayan analitik çözümü zor veya olanaksız karmaşık problemleri çözmek için kullanılan yöntemlerin bütünüdür.

SEM özellikle katı mekaniği ve akışkanlar mekaniği gibi problemlerin çözümü için oluşturulan bir modelin gerçek dünya kuvvetlerine, titreşime, ısıya, sıvı akışına ve diğer fiziksel etkiler karşısında oluşacak deformasyonun hesaplanmasında kullanılan bilgisayar tabanlı çalışan bir yöntemdir. Bu yöntemde modeller sonlu sayıda elemanlara (element) bölünür (Şekil 3.4a). Oluşturulan elemanlar dörtgen veya üçgen şeklinde (iki boyutta) olabilir (Şekil 3.4b). Bu elemanlar belli noktalardan birbirleriyle bağlanır ve bu noktalara düğüm (node) denir (Şekil 3.4b). Her bir elemandaki yer değiştirmeler doğrudan düğüm noktalarındaki yer değiştirmelerle ilişkilidir. Düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler ise elemanların gerilmeleriyle ilişkilidir. SEM bu düğümlerdeki yer değiştirmeleri çözmeye çalışır. Böylece gerilme yaklaşık olarak uygulanan yüke eşit bulunur. Bu düğüm noktaları mutlaka belli noktalardan hareketsiz bir şekilde

sabitlenmelidir. SEM düğüm noktaları için tanımlanmış şartları, cebrik lineer denklemlere çevirir, önce bu denklemler çözülür ve bütün elemanlardaki gerçek gerilmeleri bulmaya çalışır.



Şekil 0.4. a) Bir barajın geometrik modeli üzerinde oluşturulmuş çözüm ağı. b) Üçgen ve kare eleman tipleri ve de eleman ve düğüm noktasını gösterir örnek.

SEM ile çalışan bir programın analiz çözümlemesi için öncelikle analiz edilecek modelin geometrisi çizilir. Bu program içerisinde yapılır veya başka tasarım/çizim programları kullanılarak oluşturulan model SEM programı içine aktarılır. Daha sonra model küçük elemanlara bölünerek çözüm ağı oluşturulur. Bu program tarafından otomatik yapılır veya analiz sonrasında daha gerçekçi sonuçlar elde etmek için (optimizasyon) manuel olarak daha sık ağ üretimi yapılır ve daha fazla küçük elemanlar elde edilir. Sonra, modeli oluşturan malzemelerin yoğunluk, poisson oranı ve elastisite modülü gibi parametreleri girilir. Bir sonraki adımda modele sınır koşulları tanımlanır. Mesela katı mekaniği için modele destek noktaları eklenir. Ardından, modele etki edecek kuvvetler ve uygulama noktaları tanımlanır. Son olarak, analiz çözümlemesi yapılır ve çizelge, grafik, animasyon ve şekiller vb. ile ifade edilen sonuçlar yorumlanır.

Bu çalışmada Faruk bendinin performans değerlendirmesi su yükü ve sismik yükler altında gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda öncelikle arazi çalışmalarında elde edilen bendin geometrisi iki boyutlu düşey kesit modeli şeklinde Ansys programına

aktarılmıştır. Analiz için gerekli olan materyal parametreleri arazi ve laboratuvarından elde edilen veriler ile tanımlanmıştır. Oluşturulan 2B geometrik model üzerinde ağ üretilerek sonlu eleman analizi çözümlenmesi tanımlanan noktalar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Su ve sismik yükler uygulandıktan sonra bent gövdesinde meydana gelen toplam deformasyon (yer değiştirme) değerleri grafiksel ve görsel olarak elde edilmiştir.

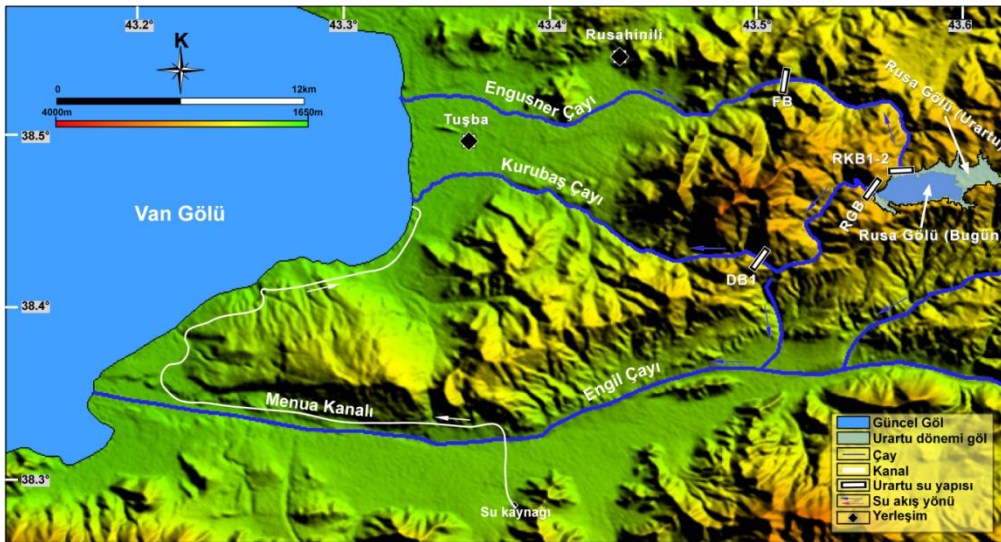


4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Antik Urartu Su Yapılarının (Van/Tuşba) Modern Yer Seçim ve Tasarım Kriterleri Açısından Değerlendirilmesi

Günümüz dünyasında olduğu gibi, sadece mevcut su yönetimi problemlerinin değil, aynı zamanda bu yüksek derecede karmaşık sistemlerin yer seçiminde, planlanması ve tasarlanmasında da tarihte öncü medeniyetlerin olduğu takdir edilmelidir. Bu eski tarihi yapıların inşası ve tasarımı, dönemin teknolojik gelişmelere saygılı modern büyük ölçekli projelerle karşılaştırılabilir. Bu bağlamda Urartu Krallığı'nın başkenti Tuşba'da inşa edilen Urartu su yapıları, Anadolu'da tarihi su temin sistemlerinin en iyi örneğidir.

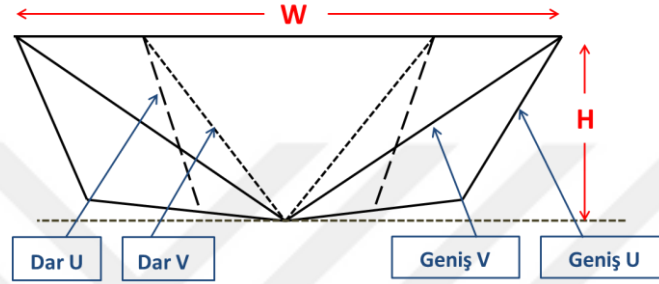
Bu bölümde, Van yöresi Urartu su yapılarından söz konusu çalışma alanındaki, Menua Kanalı, Rusa KB barajı (eski ve mevcut) barajı, Rusa GB barajı, Faruk bendi ve Döni 1 barajlarının (Şekil 4.1) günümüz baraj yeri seçim ve tasarım kriterleri içerisinde yer alan bazı kriterler açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu kriterler; topografya ve jeolojik yapı, baraj için uygun malzemelerin mevcudiyeti ve yapı malzemesinin fiziksel özellikleri, depremsellik, iklim ve hidrolojik koşullardır. Bu kapsamda elde edilen veriler ve değerlendirme sonuçları aşağıda sunulmuştur.



Şekil 0.1. Urartu Krallığı başkentleri Tuşba ve Rusahinili'nin su yönetim sistemi ve Urartu dönemi su yapıları.

4.1.1. Topografya

Topografya baraj yer seçiminde dikkate alınan önemli faktörlerden birisidir. Vadi şekli baraj tipinin seçiminde önemli rol oynamaktadır. Şekil 4.2’de verildiği gibi vadi faktörü vadinin genişliğinin yüksekliğine olan oranıdır. Bu faktöre bağlı olarak vadiler; U şekilli (dar veya geniş), V şekilli (dar veya geniş) ya da geniş, yay şekilli düz vadi olabilir.



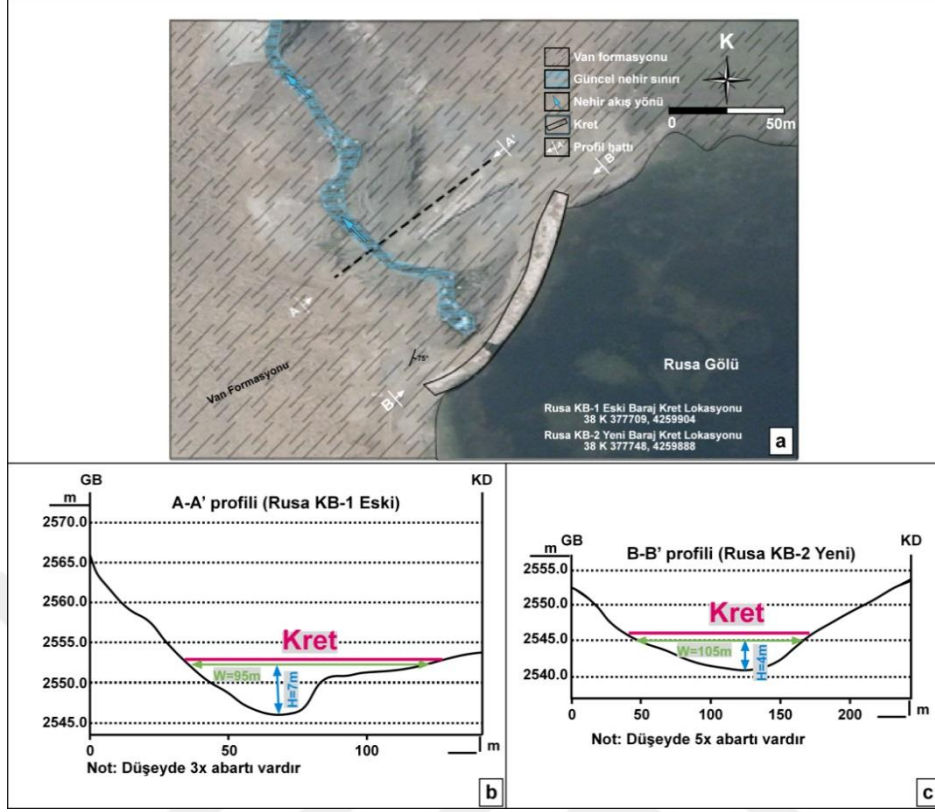
Şekil 0.2. Dar ve geniş U ve V şekilli vadi çeşitleri ve bir vadideki geometrik unsurlar. W: barajın tepe uzunluğu, H: baraj yüksekliği.

Kaya ve toprak dolgu barajlar genellikle geniş vadiler üzerine inşa edilir. Bu tip barajlar abatman desteğine ihtiyaç duymadan kendi ağırlıkları ile statik su kuvvetine karşı direnç gösterirler. Çalışma konusu Rusa KB, Rusa GB ve Döni-1 barajları ve Faruk Bendi'nin uydu görüntüleri ve kret eksenine dik çizilmiş profilleri veya enine kesitleri Şekil 4.3-4.6’da sırasıyla verilmiştir.

Barajların hazırlanan profilleri veya enine kesitlerinde gösterilen baraj tepe yüksekliği (W) ve baraj yüksekliği (H), ve bu parametreler kullanılarak hesaplanan vadi şekli faktörleri (K) Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Su yapılarının tepe uzunluğu (W), yüksekliği (H) ve vadi şekli faktörleri (K)

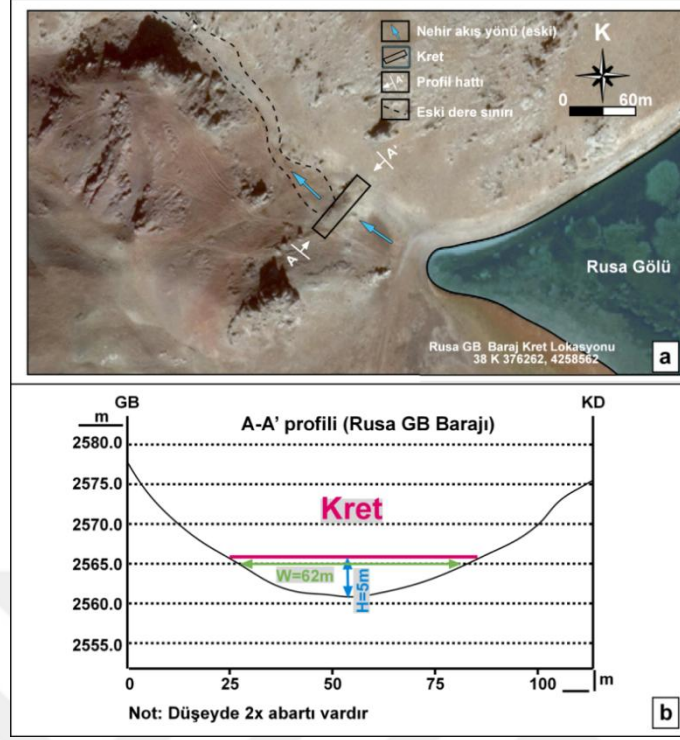
Su yapısı	W (m)	H (m)	K
Rusa KB (eski) barajı	95	7	13.57
Rusa KB (yeni) barajı	105	4	26
Rusa GB barajı	62	5	12.4
Döni-1 barajı	89	6.7	13.28
Faruk bendi	31.4	12.9	2.43



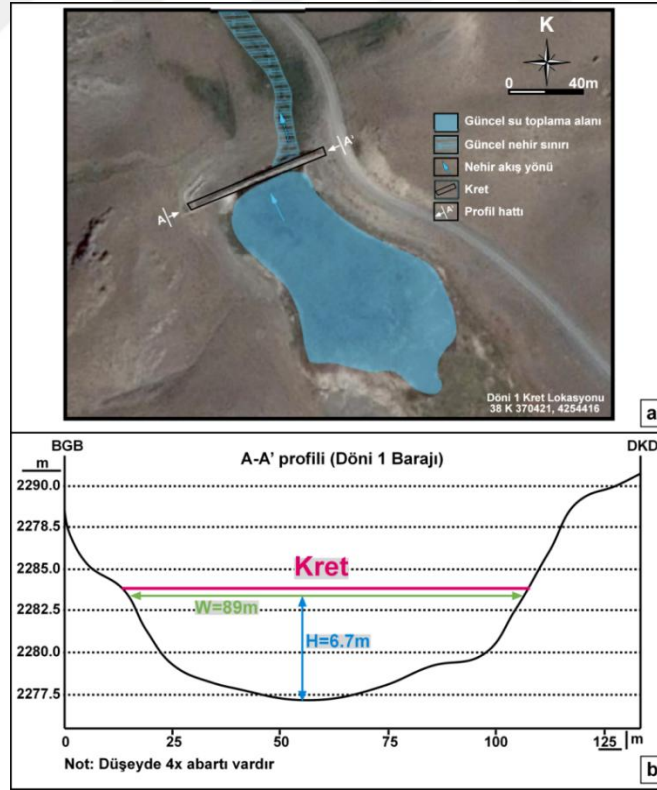
Şekil 0.3. a) Rusa KB-1 (eski) ve KB-2 (yeni) barajlarının uydu görüntüsü. b) Rusa KB-1 (eski) barajının profili. c) Rusa KB-2 (yeni) barajının profili.

Çizelge 4.1'e göre, Faruk Bendi dışındaki tüm barajlar geniş vadi içerisinde olup hesaplanan vadi şekli faktörü $K > 6$ dır. Faruk bendi için hesaplanan vadi şekli faktörü $K < 3$ dür. Faruk Bendi boğaz tipi vadi içerisinde yer almaktadır.

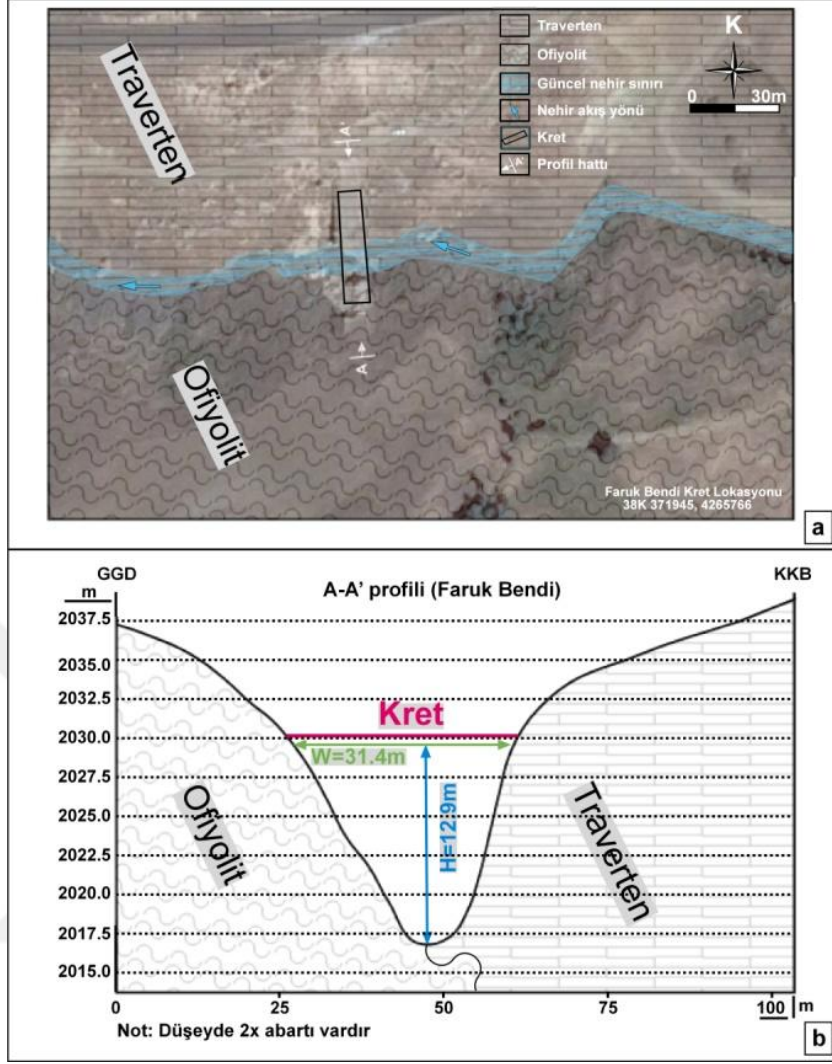
Van yöresindeki Urartu dönemi su yapıları Rusa GB barajı haricinde duvar örgü baraj tipi (Masonry dam) özelliğindedir. Bu tip barajlar kaya duvar şeklinde inşa edilmekte ve kayalar arasında çoğunlukla bağlayıcı bir malzeme kullanılmaktadır. Genellikle sağlam kayalar üzerine inşa edilirler. Urartu barajları duvar örgü baraj özelliğini yansıtsa da, büyük çoğunluğunda bağlayıcı malzemenin kullanılmadığı ve duvarlar arasında iri ve ince malzemelerden oluşan dolgunun kullanılmasıyla dikkat çekmektedir. Diğer taraftan Rusa GB barajı ise iki kaya dolgu arasında yer alan yarı geçirimli/geçirimsiz kil çekirdek yapısıyla dolgu tip baraj (Earth-fill dam) özelliği yansıtmaktadır. Bu barajın taban genişliğinin yüksekliğine oranı yaklaşık 5.5 dir ve sağlam kaya üzerine bulunan akarsu çökelleri üzerine inşa edilmiştir. Genellikle geniş vadi üzerinde inşa edilen barajlar, üzerinde buldukları vadi şekilleri ile yüksek derecede uyumluluğa sahiptirler.



Şekil 0.4. a) Rusa GB barajının uydu görüntüsü. b) Rusa GB barajının profili.

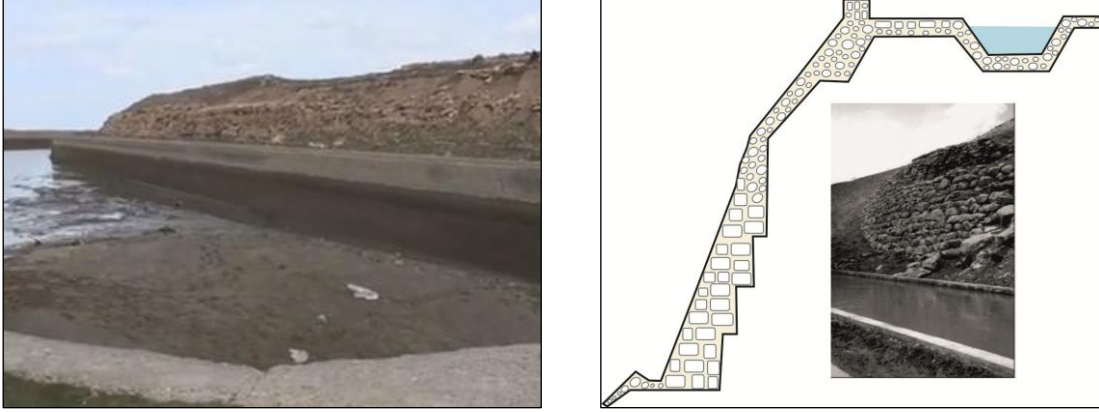


Şekil 0.5. a) Döni 1 barajının uydu görüntüsü. b) Döni-1 barajının profili.



Şekil 0.6. a) Faruk bendinin uydu görüntüsü. b) Faruk bendinin enine kesiti.

Diğer taraftan, çalışma alanında kısmen kalıntıları bulunan Menua kanalının sayısal yükseklik modeli üzerindeki konumu incelendiğinde (Şekil 4.1), suyun doğal akış yönünün dikkate alınarak kanalın topografik kontör çizgilerine paralel olacak şekilde dizayn edildiği görülür. Bu topografik uygunluk yakın geçmişte (1960 yılında DSİ tarafından) Menua kanalı kalıntılarının yakın konumunda bulunan ve betondan inşa edilen kanal içinde kullanılmaktadır. Yaklaşık 20-25 km kadar devam eden bu beton kanal, çoğu zaman Menua kanalı olarak resmedilmektedir (Şekil 4.7).



Şekil 0.7. DSİ tarafından 1960 yılında inşa edilen beton kanal ve Urartu dönemi kanalına (Menua kanalı diğer ismiyle Şamran kanalı) ait şematik gösterim ve kanala ait destek duvarları.

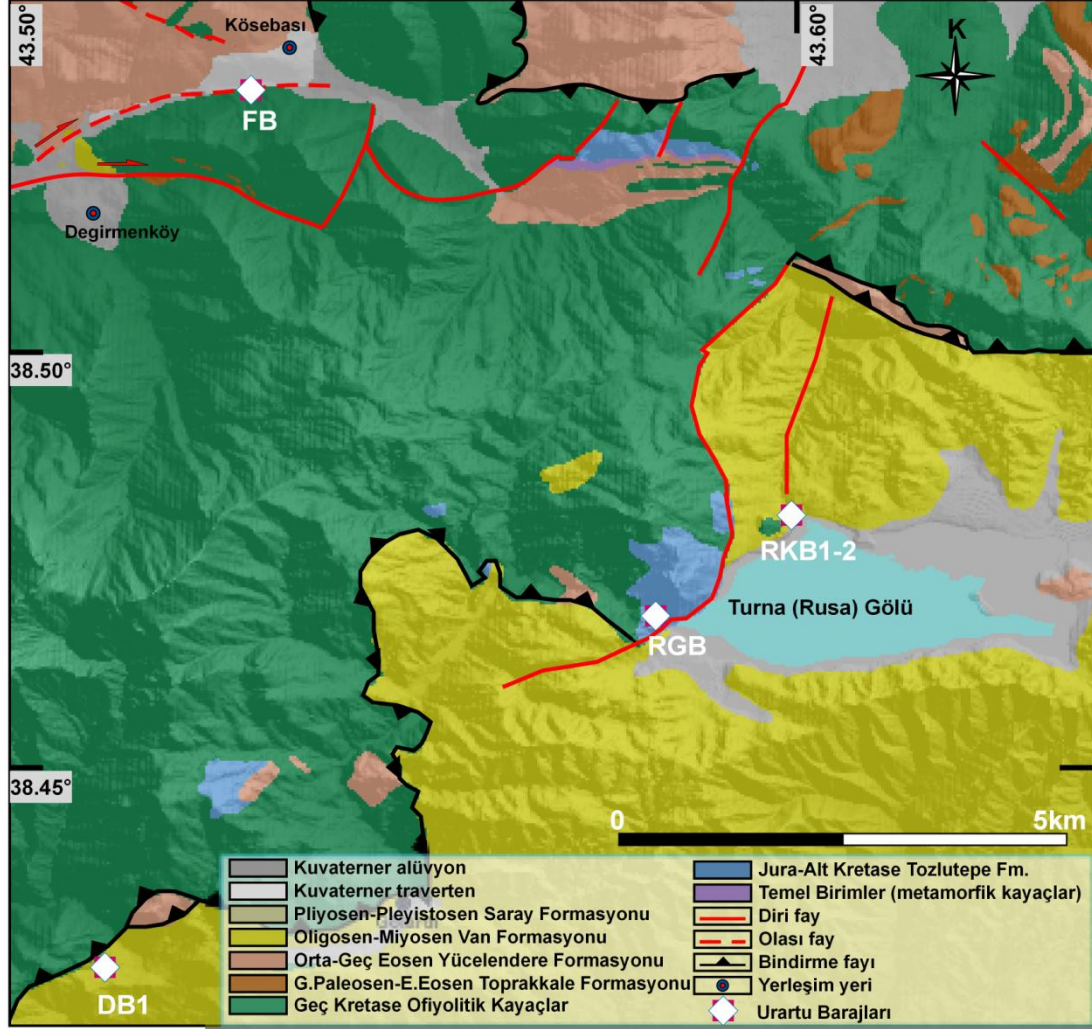
4.1.2. Jeolojik yapı

Baraj yerinin jeolojik yapısı baraj yapımına etki eden faktörlerden bir diğeridir. Baraj yeri temelinde ve vadi yamaçlarında bulunan kayaçların taşıma güçleri, geçirimsizliği, boşluk oranı (gözenekliliği), fiziksel ve mekanik özellikleri vb. baraj yeri seçiminde araştırılması gereken unsurlardır.

Van il sınırları içerisinde yer alan Urartu su yapılarının Bölüm 2’de sunulan çalışma alanı ve civarının jeoloji haritası üzerindeki konumları Şekil 4.8’de verilmiştir. Jeolojik haritada görüldüğü gibi, Rusa KB barajı Oligosen-Miyosen yaşlı kumtaşı, konglomera, silttaşı, kiltası vb. kayalardan oluşan Van Formasyonu üzerinde yer almaktadır (Şekil 4.9). Rusa GB barajı Jura-alt Kretase yaşlı karbonatlardan oluşan Tozutepe Formasyonu içerisinde bulunmaktadır (Şekil 4.10). Faruk bendinin güney kanadı geç Kretase ofiyolitik kayaçlar üzerinde bulunurken, kuzey kanadı Kuvaterner yaşlı traverten üzerinde bulunmaktadır (Şekil 4.11).

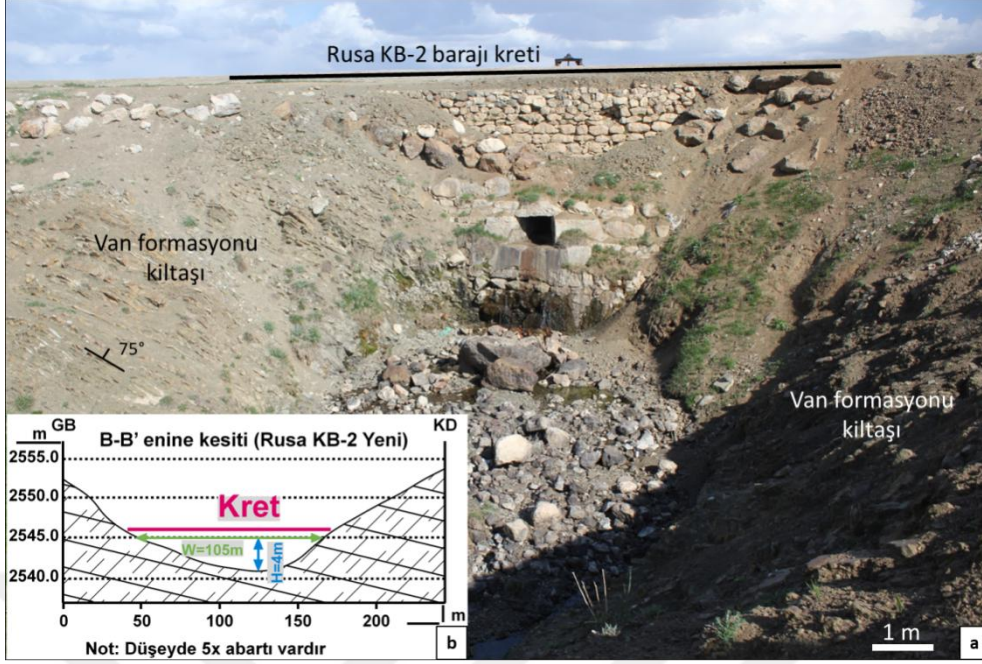
Baraj temeli için uygun kayaçlar yüksek taşıma kapasitesine sahip, homojen ve genellikle geçirimsiz özelliklere sahip sağlam kayaçlardır. Kumtaşlarının dayanımı, boşluklarında bulunan çimentonun matriks malzemesinin miktarına ve çeşidine bağlı olarak değişkenlik gösterse de, kumtaşı mostraları genellikle kötüleşmeye maruz kalmadıkları için yeterli dayanımı sağlayacak kararlılıktadırlar. Masif veya kalın yatay tabakalı karbonatlı kayaçlar fazla erime yapıları içermediklerinden mükemmel baraj yerlerini temsil ederler. Söz konusu barajlar yerinde incelendiği zaman, Rusa KB barajının Van Formasyonuna ait kil taşları üzerinde inşa edildiği, Rusa GB barajının

kireçtaşı, Döni 1 barajının ise Van Formasyonu ve ofiyolitik kayalara ait döküntü malzeme üzerine inşa edildiği görülmektedir.



Şekil 0.8. Urartu barajlarının Bölüm 3’de verilen çalışma alanının jeoloji haritası üzerindeki konumları.

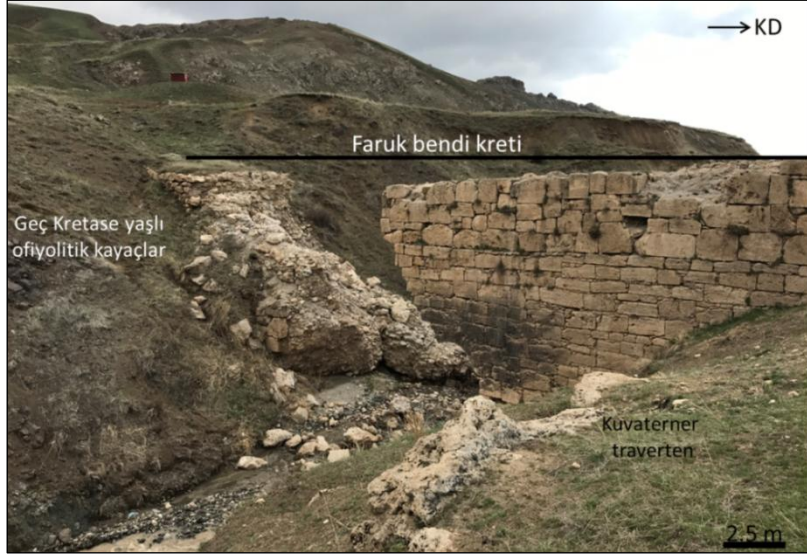
Diğer taraftan günümüzde Faruk bendinin güney kanadı kısmen yıkık halde bulunurken, masif traverten kayaları üzerinde bulunan kuzey kanadında herhangi bir hasar bulunmamaktadır. Faruk bendinin güney kanadında meydana gelen hasarın göreceli olarak dayanımı daha düşük olan gevşek tutturulmamış zemin özelliği sergileyen ofiyolitik birim üzerinde olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.11). Söz konusu tutturulmamış birimlerde günümüzde akarsuyun aşındırıcı etkisine bağlı olarak eğim boyunca kayma ve akma şeklinde kütle hareketlerinin meydana geldiği görülmüştür (Şekil 4.12).



Şekil 0.9. a) Rusa KB-2 barajı ve üzerinde bulunduğu jeolojik birimler. b) Rusa KB-2 barajının Şekil 4.3a'da verilen hat üzerinden hazırlanmış enine kesiti.



Şekil 0.10. Rusa GB barajı ve üzerinde bulunduğu jeolojik birimler.

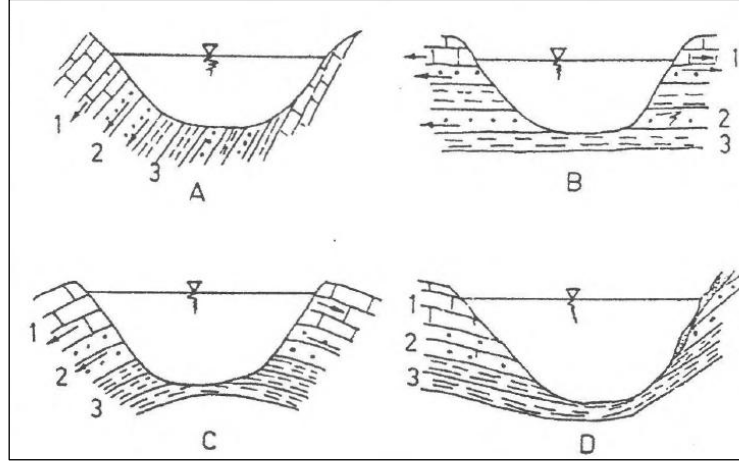


Şekil 0.11. Faruk bendi ve üzerinde bulunduğu jeolojik birimler.



Şekil 0.12. Faruk bendi güney kanadının üzerinde bulunduğu ofiyolitik birim boyunca gözlenen kütle hareketleri.

Baraj yerinde fay, çatlak, tabaka vb. süreksizliklerinin doğrultusunun baraj eksenine ile ilişkisi baraj gölündeki suyun olası sızıntısının değerlendirilmesi açısından büyük önem taşır. Süreksizliklerin doğrultusunun baraj eksenine dik olması durumunda, baraj gölündeki su, geçirimli kayalar boyunca baraj gölü dışına kaçması olasıdır. Şekil 4.13a-b-c'de sırasıyla eğik, yatay ve antiklinal yapılar olarak görülen tabakalarda su sızıntısı beklenir. Eğer, birimlerin geçirimsizliği yüksekse, baraj rezervuarında su biriktirmek mümkün olmayabilir. Şekil 4.13d'de altında geçirimsiz birimle sınırlanan senklinal yapı yer altı suyunun kenarlardan sızmasını engeller, fakat baraj mansabına doğru uzanan tabakadan su kaçaqları muhtemeldir (Rahn, 1986).

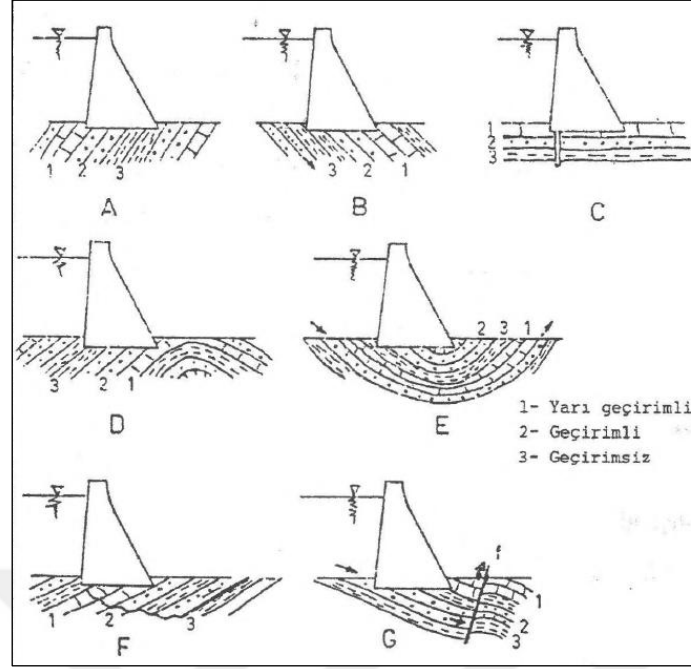


Şekil 0.13. Tabaka doğrultusunun baraj eksenine dik olması halindeki durumlar.

Süreksizlik doğrultusunun baraj eksenine paralel olması halinde iki durum vardır. Tabakaların eğimi membaya (Şekil 4.14a) ya da mansaba (Şekil 4.14b) doğru olabilir. Baraj yeri için ideal durum tabakaların membaya doğru eğimli olmasıdır. Bu durumda geçirimli tabakalar boyunca sızma ve süzölmeler baraj gölüne doğru olur.

Eğimin mansap tarafına doğru olması halinde sızma ve süzölmeler baraj gövdesi altından ve göl alanından barajın mansap tarafına doğru olur. Barajın memba eteğinin geçirimsiz kayalar üzerine gelmesine dikkat edilir (Şekil 4.14b). Bu halde su kaçakları baraj gölünden vadi yamaçlarına doğru olur (Şekil 4.14b ve c). Baraj bir antiklinalin memba tarafındaki kanadı üzerinde yapılmalıdır (Şekil 4.14d). Antiklinalin mansap kanadı üzerinde olursa kaçan sular göl sahası dışına doğru hareket ederek baraj gölünde suyun azalmasına neden olur (Şekil 4.14e). Baraj eksenine senklinal eksenine dik olması halinde su, geçirgen tabakalar boyunca kaçacaktır.

Tabaka eğimlerinin membaya doğru olması durumunda baraj ağırlığının ve diğer kuvvetlerin etkisi ile bir kısım temel kayası baraj mansabına doğru hareket edebilir (Şekil 4.14f). Bazı hallerde fayın etkisi ile geçirimli tabakalardan kaçan sular barajın mansabında tekrar yüzeye çıkarak yeni kaynaklar oluşturur (Şekil 4.14g) (Rahn, 1986).



Şekil 0.14. Tabaka doğrultusunun ve baraj eksenine paralel olması halindeki durumlar.

Rusa KB barajının üzerinde bulunduğu Van Formasyonuna ait kiltaşının tabaka doğrultusu K20D/75GD olarak ölçülmüştür. Söz konusu ölçüme bağlı olarak, kil taşına ait tabakaların doğrultusu barajın eksenine yaklaşık olarak diktir. Tabakalar ise barajın membasına doğru 75 derecelik açıyla eğimlidir (Şekil 4.9). Söz konusu tabakaların eğim ve doğrultusu ile baraj eksenine ilişkisine dayanarak, Rusa KB barajı için en ideal şartların sağlanmış olduğu söylenebilir. Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de tasvir edildiği gibi, baraj rezervuarında biriken suyun, kil taşına ait tabaka sınırları boyunca olası sızması baraj gölüne (membaya) doğrudur.

Barajların yer aldığı bölgede çok sayıda aktif ve pasif fay bulunmakla birlikte söz konusu barajların hiçbirisi fay üzerinde konumlanmamıştır (Şekil 4.8).

4.1.3. Baraj yapı malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri

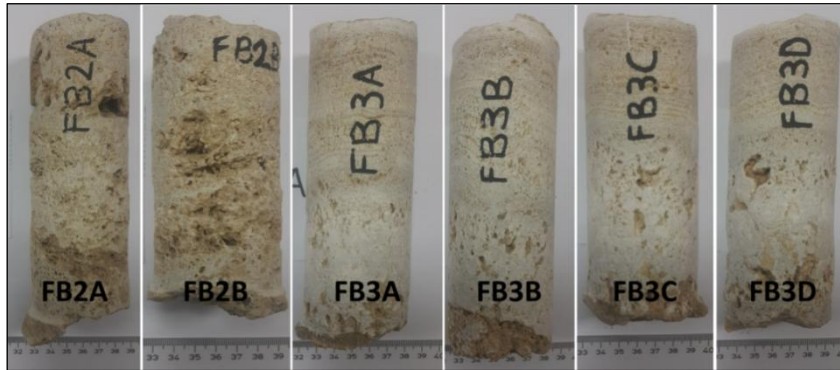
Baraj yapımında kullanılan malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri baraj gövdesinin duyarlılığı açısından oldukça önemlidir. Faruk bendinin yapı malzemesi traverten bloklardan oluşmaktadır. Traverten bloklar oldukça heterojen bir görünüme sahip olup bazı yerlerde masife yakın, bazı yerlerde ise yoğun gözeneklidir (Şekil 4.15).



Şekil 0.15. Faruk bendi traverten yapı malzemesinin akış yukarı duvarından görünümü.

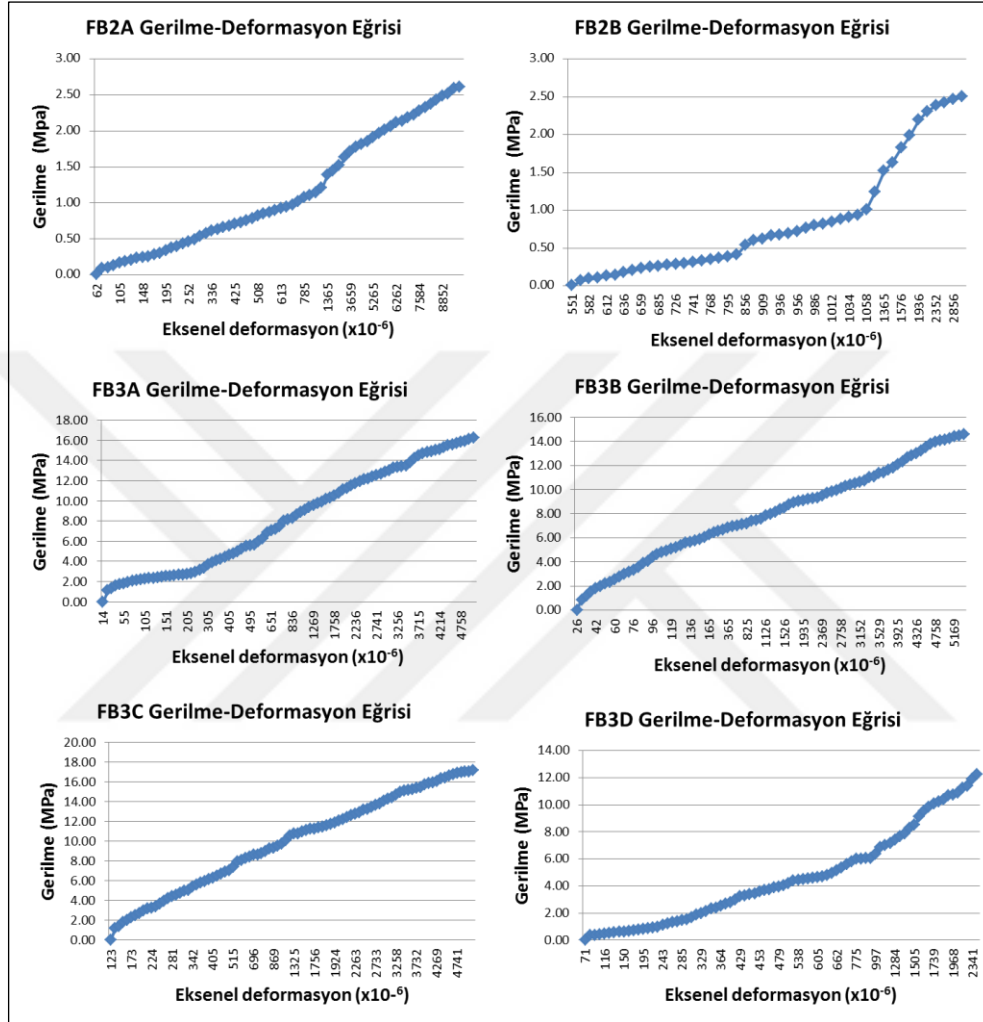
Faruk bendini oluşturan traverten duvar malzemeleri üzerinde Schmidt çekici ile üç ayrı set geri sıçrama değerleri ölçülmüştür. Bu üç set ölçüm değerlerine bağlı olarak Traverten birimlere ait ortalama geri sıçrama değerleri (RN) elde edilmiştir. Traverten birimlere ait ortalama RN değerleri 26.7 ile 29.5 arasındadır. Literatüre bakıldığı zaman bu değerler orta sağlam kayalar tanımlamaktadır.

Elde edilen Schmidt geri sıçrama değerlerine göre, bölge genelinde benzer değer veren traverten mostralarından gözenekli (FB2) ve masif (FB3) olmak üzere, iki adet blok numune üzerinden 6 adet 54 mm çapında silindir numune elde edilmiştir (Şekil 4.16). Elde edilen silindirik numunelerin dayanım değerlerinin belirlenmesi amacıyla tek eksenli sıkışma dayanım deneyleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 0.16. Faruk bendine yakın çevre traverten mostrasından alınan bloklardan (FB2 ve FB3) elde edilen 54 mm çapındaki silindir numuneler.

Deney sonucunda, her numuneden gerilme-deformasyon eğrisi (Şekil 4.17), kayacın tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS), eksenel ve yanal birim deformasyonları elde edilmiştir.



Şekil 0.17. Traverten çevre kayaç numunelerine ait gerilme-deformasyon eğrileri.

Elde edilen bu veriler kullanılarak kayaçların elastisite modülü (E), poisson oranı (ν) gibi mühendislik parametreleri hesaplanmıştır. Silindir numunelerin ayrıca özgül birim ağırlıkları ölçülmüştür. Söz konusu numunelere ait indeks ve mühendislik parametreleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çevre traverten kayaç numunelerin basınç dayanımları 2.6 ile 17.3 MPa arasında değişim sergilemektedir. Bu değerler Broch ve Franklin (1972) sınıflamasına göre, numunelerin düşük ve orta sağlam kayaç grupları içerisinde yer aldığını göstermektedir.

Çizelge 4.2. Faruk Bendi çevre traverten kayaç numunelerinin bazı indeks ve dayanım özellikleri

Numune ID	Özgül birim ağırlık (gr/cm ³)	UCS (MPa)	E (GPa)	Poisson oranı (ν)
FB2A	2.093	2.6	28.7	0.22
FB2B	2.016	2.53	18.3	0.18
FB3A	2.331	16.29	73.5	0.12
FB3B	2.312	14.64	163	0.26
FB3C	2.326	17.3	133	0.20
FB3D	2.335	12.28	42	0.19

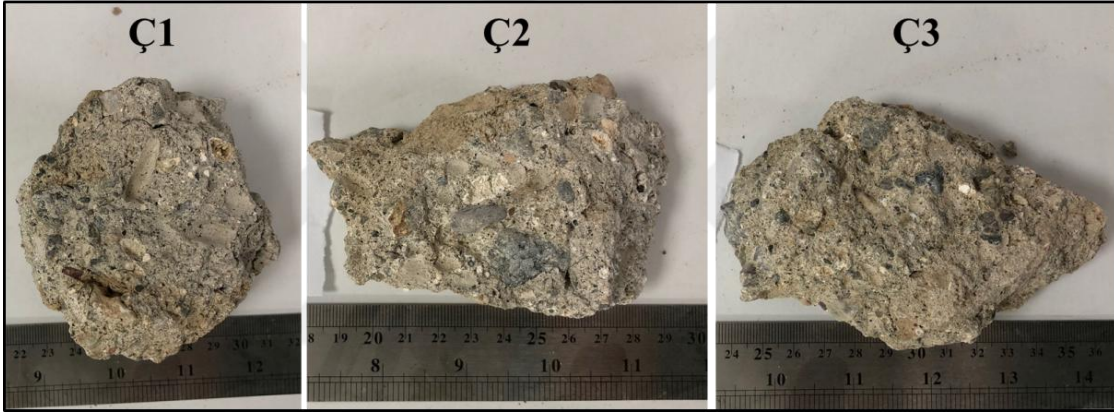
Faruk bendi traverten yapı malzemesinden (Şekil 4.18) örnek alınmamıştır. Ancak, söz konusu kayaçların dayanım değerlerini tahmin etmek için Schmidt geri sıçrama değerleri kullanılmıştır. Schmidt geri sıçrama değerleri ile tek eksenli sıkışma dayanımının belirlenmesi üzerine literatürde çok fazla çalışma mevcuttur. Çalışmada bölge kayaçları üzerinde yapılan bir araştırma dikkate alınmıştır. Şelçuk ve Yabalak (2015) çalışmasında, Schmidt geri sıçrama-tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki ilişkiyi gösteren formülasyon kullanılarak, Faruk bendi traverten yapı malzemesi için tek eksenli sıkışma dayanım değerleri tahmin edilmiştir. Söz konusu çalışmaya göre, akış yukarı bent duvarının dayanım değeri 18.72 MPa ve akış aşağı bent duvarının ise 21.91 MPa olarak elde edilmiştir.

Faruk Bendi'nin bağlayıcı malzemesi incelendiğinde, içerisinde genişlikleri 0.5-4 cm arasında değişen ofiyolit, kireçtaşı ve traverten çakıllarının beyaz ve sarımsı kumtaşı ve kiltaşından oluşan bir bağlayıcı malzeme ile tutturulduğu belirlenmiştir (Şekil 4.18).

Faruk Bendi'nin bağlayıcı malzemesinin Engüsner çayı boyunca gözlenen döküntülerinden alınan üç adet şekilsiz numune (Şekil 4.19) üzerinde nokta yükü dayanım indeksi deneyi yapılmıştır. Örneklerin boyutları ölçülerek hesaplanan eşdeğer karot çapının (De) karesi, numuneler üzerinde yapılan nokta yükleme deneyinden elde edilen kırılma yükü (P) ve bu veriler kullanılarak hesaplanan kırılma dayanımı ve 50 mm karot çapına göre düzeltilmiş nokta yükleme dayanım indeksi (Is₅₀) değerleri Çizelge 4.3'de verilmiştir. Bağlayıcı malzemenin özgül birim ağırlığı ise **2.15** gr/cm³ olarak ölçülmüştür.



Şekil 0.18. Faruk Bendi duvar yapısı ve bağlayıcı malzemesi.



Şekil 0.19. Engüsner çayı boyunca gözlenen Faruk bendine ait şekilsiz bağlayıcı malzeme döküntüleri.

Çizelge 4.3. Faruk Bendi bağlayıcı malzemesi numunelerinin nokta yükleme deneyi sonuçları ve nokta yükleme dayanım indeksleri

Numune ID	$De^2 (4A/\pi)$ (mm^2)	Kırılma Yüğü, P (kg)	Kırılma Dayanımı, F (kN)	Düzeltilmiş nokta yükleme dayanım indeksi, $I_{s50}(F/De^2)*10^3$ (Mpa)
Ç1	3887.46771	134	1.31	0.34
Ç2	2745.690149	114	1.12	0.41
Ç3	2616.755546	243	2.38	0.91

Kayaçların düzeltilmiş nokta yükleme dayanım indeks değerleri (I_{s50}) ve tek eksenli sıkışma dayanımları (UCS) arasındaki korelasyon üzerinde yapılmış birçok çalışma mevcuttur (e.g. Bieniawski, 1975; Grasso ve ark., 1992; Fener ve ark., 2005,

Karaman ve Kesimal, 2012). Bu çalışmada, Karaman ve Kesimal (2012)'in farklı kayaç tipleri üzerinde elde ettiği deneysel eşitlik (Eş. 4.1) kullanılmıştır.

$$UCS=20.42 (I_{S50}) - 5.146 \text{ (MPa)} \quad (4.1)$$

Buna göre, Faruk bendi bağlayıcı malzemesinin ortalama düzeltilmiş nokta yükleme dayanım indeksi dikkate alınarak, tek eksenli sıkışma dayanımı 6.1 MPa olarak tahmin edilmiştir.

Faruk bendinin akış aşağı ve akış yukarı duvarlarının ortalama Schmidt çekici geri sıçrama değerleri ve bu değerler kullanılarak hesaplanan tek eksenli sıkışma dayanımları ile (1) baraj duvar malzemesinin, bağlayıcı malzemenin ortalama düzeltilmiş nokta yükleme dayanım indeksi değerleri, bu veriler kullanılarak hesaplanan tek eksenli sıkışma dayanımı, ve de özgül birim ağırlığı ile (2) bağlayıcı malzemenin bazı mekanik ve fiziksel özellikleri elde edilmiştir. Çevre traverten kayacın iki farklı blok numunelerinin ortalama yoğunluğu, ortalama Schmidt çekici geri sıçrama değeri, tek eksenli sıkışma dayanımı, elastisite modülü ve Poisson oranı ile de (3) barajın çevre kayacının bazı mekanik ve fiziksel parametreleri elde edilmiştir. Söz konusu bu veriler Çizelge 4.4'de sunulmuştur.

Çizelge 4.4. Faruk bendi yapı malzemesi, bağlayıcı malzeme ve çevre kayaç travertenin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri

	Çevre kayaç/ Yapı malzemesi	Bağlayıcı malzeme
Özgül birim ağırlık (gr/cm^3)	2.19/-	2.15
Schmidt geri sıçrama değeri	28.8/28.3	-
Nokta yükleme dayanım indeksi, I_{S50} (MPa)	-	0.55
Tek eksenli sıkışma dayanımı, UCS (MPa)	10.94/(20.57*)	(6.1*)
Elastisite modülü, E (GPa)	63.19/-	-
Poisson oranı, ν	0.2/-	-

*Schmidt çekici ve nokta yükü indeks değerlerine göre elde edilen tahmini değerler.

Faruk bendinin yapı malzemesi, bağlayıcı malzeme ve çevre kayaç için verilen tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) değerleri; Broch ve Franklin (1972)'de verilen kayaçlar için dayanım sınıflandırılması çizelgesine göre değerlendirilmiştir.

Faruk bendi traverten yapı malzemesi ve çevresinde yer alan traverten mostralardan alınan Schmidt geri sıçrama değerleri birbirlerine yakın sonuçlar vermektedir. Elde edilen bu değerlere göre söz konusu çevre mostrasında ve bent yapısında kullanılan travertenlerin orta sağlam kayaç özelliğinde olduğu tahmin edilmiştir. Ancak çevre kayaçlar ve yapıda kullanılan traverten kayaçlarda benzer Schmidt geri sıçrama değerleri elde edilmiş olsa da, çevre kayaçlarda yapılan dayanım deneylerinde, söz konusu kayaçların dayanımlarının 2.5 ile 17.3 MPa arasında değiştiği (ortalama 10.94 MPa) ve zayıf özellik sergileyen travertenlerin de benzer Schmidt geri sıçrama değerleri verebileceği belirlenmiştir. Dolayısıyla, yapı malzemesi olarak kullanılan travertenlerin her ne kadar Schmidt çekici ölçümlerine göre orta sağlam kayaç özelliğinde olduğu tahmin edilse de, söz konusu kayaçların oluşumu ve yapısı gereği zayıf dayanım değerleri sergilemesi de olasıdır. Dolayısıyla, Faruk bendinin yıkılmasına neden olan etmenlerden birisinin de zayıf yapı ve/veya zayıf bağlayıcı malzemelerin kullanımı kaynaklı olabileceği de göz ardı edilmemelidir.

Diğer taraftan Rusa KB ve GB ve ayrıca Döni barajlarında kullanılan yapı malzemelerinin söz konusu barajlara yakın konumda bulunan çevre kayaçlarından temin edilmiş olma olasılığı oldukça yüksektir. Rusa KB mevcut barajında kullanılan yapı malzemesi ağırlıklı olarak kireçtaşı ve kısmen kumtaşı iken, Rusa GB barajında kireç taşlarının ağırlıklı olarak kullanıldığı belirlenmiştir (Şekil 4.20 ve 4.21).

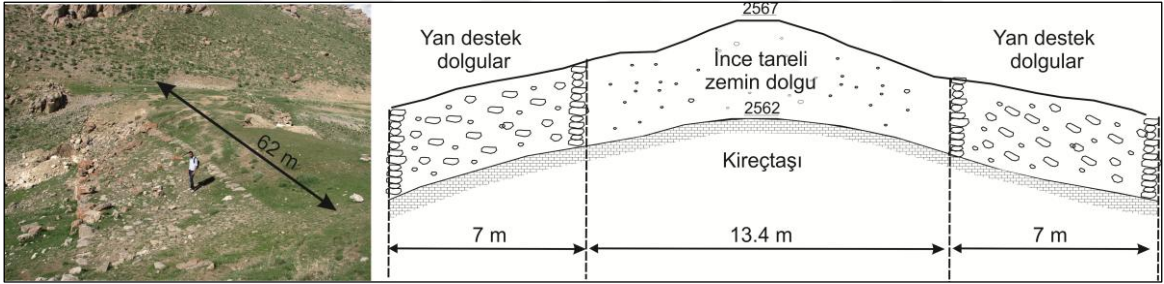


Şekil 0.20. Rusa KB barajına ait görünüşler.



Şekil 0.21. Rusa GB barajı memba ve mansaba ait görünümler.

Rusa KB barajında kayalar arasında bağlayıcı malzemenin kullanıldığına dair herhangi bir bulguya rastlanılmamıştır. Diğer taraftan, yapı olarak tamamen farklılık arz eden Rusa GB barajında ise inşa edilen iki yan destek duvar arasında iri çakıl ve ince zemin birimlerden oluşan bir dolgu çekirdeğin (yaklaşık 13.4 m genişliğinde) kullanıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.22).



Şekil 0.22. Rusa GB barajına ait görünümü ve barajın enine kesiti.

Bu yapı (Şekil 4.22), Urartuların geçirimsiz veya az geçirimli dolgu çekirdek ile su tutmayı ve yapının stabilitesini sağlamak üzere daha iri malzemeden oluşan yan destek dolgular kullandığını göstermektedir. Bu tür barajlarda sızma ile ilgili önemli problemler yaşandığından dolayı, özellikle 19. yüzyıldan sonra bu iki temel yapı birçok barajda kullanılmıştır.

Döni 1 barajında ise yapı malzemesi olarak farklı büyüklüklerde bölge kayalarının kullanıldığı gözlemlenmiştir. Yapıda kullanılan kayalar ağırlıklı olarak kireçtaşları ile birlikte ofiyolitik birime ait (ağırlıklı olarak serpantin) kayalardır. Ayrıca volkanik birimlere ait kayalarında (gabro ve bazalt) baraj gövdesinde

kullanıldığı belirlenmiştir (Şekil 4.23). Kayaçlar arasında kullanılan bağlayıcı bir malzemeye ise rastlanılmamıştır.

Döni 1 baraj yapısında, özellikle daha dik olan sol yamacında, kademeli olarak inşa edilen yaklaşık 3 sıradan oluşan duvar örgülerinin kullanıldığı görülmektedir. Bu kademeli yapı barajın sağ yamacında bulunmamaktadır. Barajın, bu yapıyla, özellikle daha dik olan sol yamaçta meydana gelebilecek olan olası yenilmelere ve ayrıca su tutma kapasitesinin artırılmasına yönelik olarak daha güçlü bir tasarımla inşa edildiği anlaşılmaktadır.



Şekil 0.23. Döni 1 barajına ait görünüm (Bakış yönü KD).

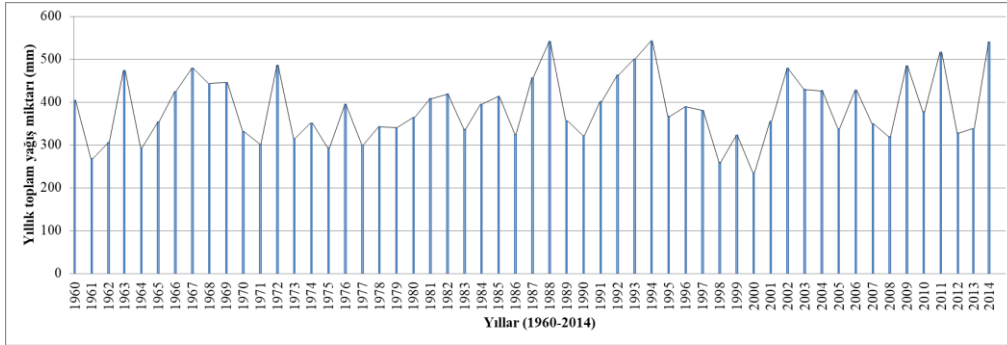
4.1.4. Depremsellik (Sismisite)

Urartu su yapılarının bulunduğu söz konusu çalışma alanında ve yakın civarında, tarihsel dönem deprem kayıtlarına göre şiddetleri (Io) V ile X arasında değişen, aletsel dönem deprem kayıtlarına göre büyüklükleri (Mw) 3 ile 7.3 arasında değişen çok sayıda deprem meydana gelmiştir (Bkz. Bölüm 2). Yapıların günümüzdeki durumlarına bakıldığında, çoğunun bölgede gerçekleşmiş depremlere rağmen, kalıntılarının bulunması ve/veya kısmen yıkılması ve bazılarının da yıkılmadan sağlam bir şekilde ayakta durdukları görülmektedir. Söz konusu yapıların veya kalıntılarının günümüze kadar ulaşmasında üzerinde buldukları jeolojik birimler ile olan uyumlulukları önemli rol oynamıştır. Ancak şu bir gerçektir ki söz konusu Urartu su yapıları, inşasından günümüze kadar geçen yaklaşık 2800 yıl boyunca bölgede meydana gelen büyük depremlerden etkilenmişlerdir.

4.1.5. İklim koşulları

Urartuların su yapılarını inşa ettiği dönemi kapsayan (M.Ö. 700) M.Ö 815-615 yılları arasındaki dönem, Karbon-14'ün (^{14}C) değişim (fluks) oranına bakıldığında oldukça sert soğuk havanın ve iyi yağışın egemen olduğu kısa süreli iklim değişikliği dönemidir. Soğuk kışlar ve ıslak hava koşulları orta İran'da görünmeye başlayıp Anadolu Platosu ve Makedonya'ya kadar yayılmıştır (Fairbridge ve ark., 1997). Urartular dönemindeki meteorolojik yağış oranlarına dair bir bilgi mevcut olmasa da, bölgede yüksek yağışın olduğu ıslak iklimin baraj ve bent gibi su yapılarının inşasına olanak tanıdığı anlaşılmaktadır. Dolayısıyla, Urartu Uygarlığı söz konusu iklim koşullarına bağlı olarak buldukları bölgedeki topografik ve jeolojik unsurları da kullanarak etkin bir sulama sistemini inşa etmişlerdir.

T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen 17172 kodlu Van istasyonunun 1960-2014 yıllarındaki yıllık toplam yağış miktarlarına bakıldığında (Şekil 4.24) ortalama yağış miktarı 386.4 mm dir. Ortalama maksimum sıcaklık değeri ise 16 °C dir. Bu değerlere göre, Urartu su yapılarının bulunduğu bölgede günümüzde yarı nemli iklimin hâkim olduğu (Bölük, 2016) ve söz konusu su yapılarının çoğunun günümüzde de işlevini sürdürdüğü görülmektedir.



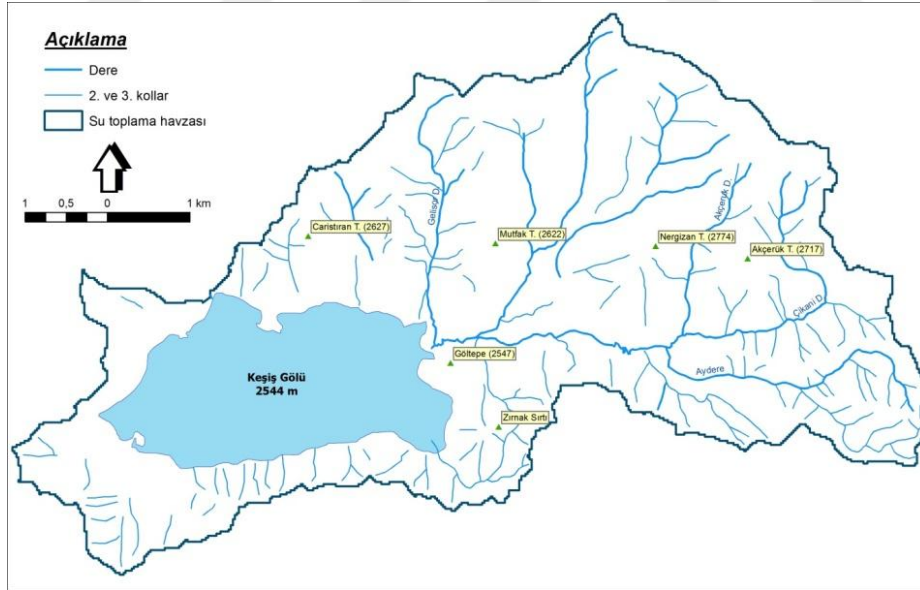
Şekil 0.24. 17172 kodlu Van istasyonunun 1960-2014 yılları için yıllık toplam yağış miktarlarının sütun grafiği.

4.1.6. Göl bölgesinin hidrolojik ve morfolojik özellikleri

Urartular döneminde Van Gölü'nün 35 km doğusunda Erek Dağı'nın 2544 m kotunda yağmur suyunun ve baharda eriyen karların toplandığı yaklaşık 6 km² lik alanda biriken su gölün kuzeybatı köşesinden drene olarak eğim boyunca Van Gölü'ne

doğru akmaktadır. Urartu kralı II. Rusa bu çıkışı bir baraj ile kapatarak çöküntüyü Rusa Gölü adında (Günümüzde Turna veya Keşiş Gölü olarak bilinir) bir yapay göl haline getirmiştir (Bkz. Bölüm 2).

Günümüzde hala mevcut olan ve çevresindeki dağlardan beslenen gölün seviyesi 2544 m kotundadır. ArcGIS CBS programı ile söz konusu gölün günümüzdeki yüzey alanı ve su toplama havzası hesaplanmıştır. Buna göre gölün yüzey alanı 6.006 km² ve su toplama havzası alanı ise 39 km² dir (şekil 4.25). Gölün günümüzdeki su toplama hacmi farklı kaynaklarda 17-20 milyon m³ olarak ifade edilmektedir (Garbrecht, 1987, Bildirici 2009). Urartular döneminde Rusa KB eski barajının inşasından sonra su kapasitesini arttırmak için yapılan Rusa GB barajının bulunduğu vadinin taban kotu hesaba katıldığında gölün Urartular döneminde řu anki mevcut rezervuardan çok daha yüksek su tutma kapasitesine sahip olabileceği belirlenmiştir. Gölün seviyesi, Rusa GB barajının bulunduğu vadi kotu 2562 m seviyesine çıkarıldığında gölün kapladığı alan, Global Mapper CBS programı kullanılarak 12.342 km² olarak hesaplanmıştır (şekil 4.26).

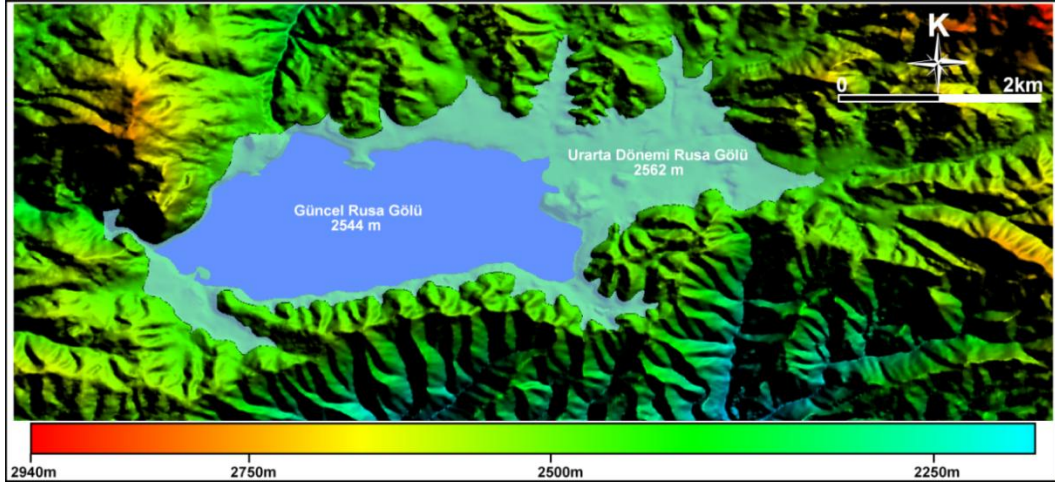


şekil 0.25. Rusa Gölü güncel su toplama havzası, havza içerisindeki dereler ve havzanın kapladığı alan.

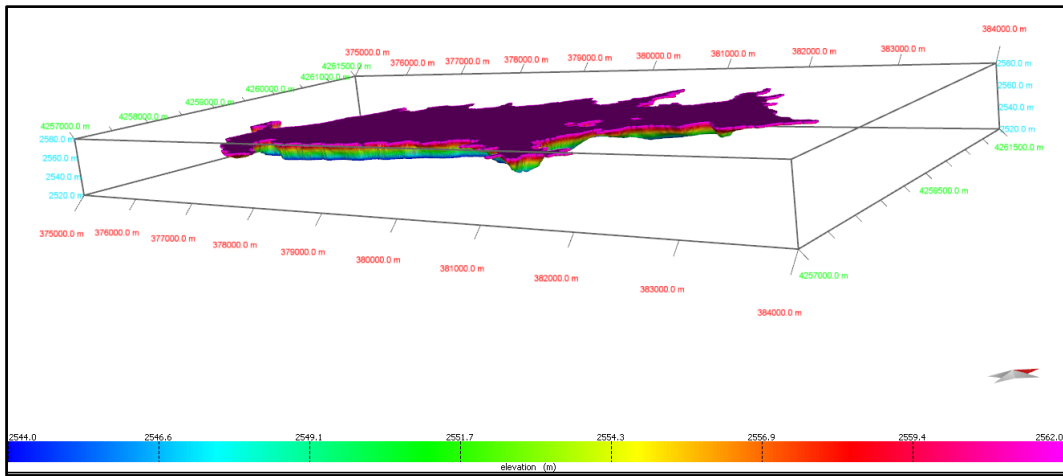
Gölün günümüzde kapladığı 6 km²lik alana sahip yüzey ile 2562 m kot seviyesindeki yüzey Global Mapper CBS programından vektör dosya olarak alınıp Midland Valley MOVE programına aktarıldıktan sonra iki yüzey arasındaki bölgede 3B

hacim modeli oluşturulmuş (Şekil 4.27) ve bu bölgenin hacmi 157.72 milyon m^3 hesaplanmıştır. Gölün günümüzde belirtilen hacmi de dikkate alınır, Urartular dönemindeki yaklaşık rezervuarı en az 177.72 milyon m^3 olarak tahmin edilmiştir.

Günümüzde birçok küçük barajların veya 2001 yılında Ceyhan nehri üzerinde inşa edilen Berke ya da Manavgat nehri üzerinde 1984 yılında inşa edilen Oymapınar gibi daha yüksek barajların ($H > 70$ m) rezervuar kapasiteleri düşünüldüğünde (sırasıyla 427 ve 300 milyon m^3), söz konusu Rusa barajının yaklaşık 177 milyon m^3 rezervuar kapasitesi ile, o dönemin teknolojisiyle inşa edilen ve bölgeye büyük miktarda su sağlayan önemli yapılardan bir tanesi olduğu söylenebilir.



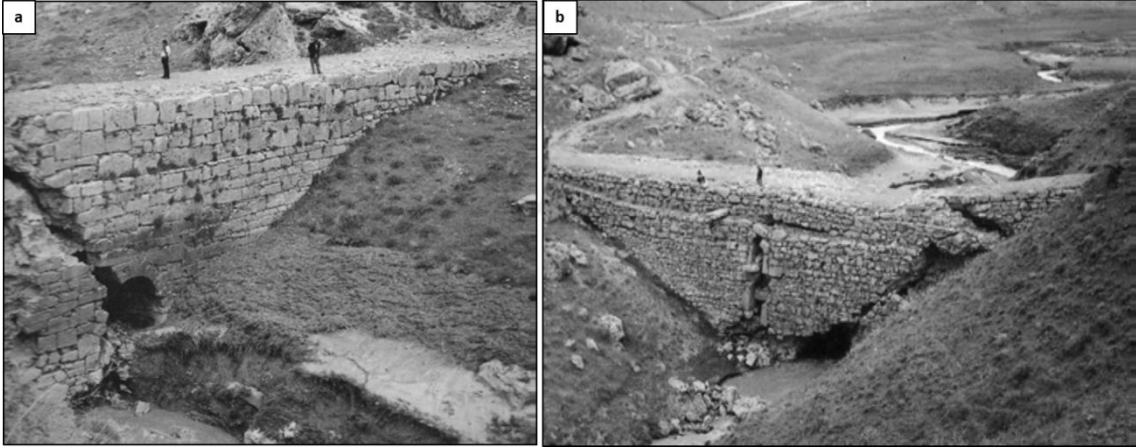
Şekil 0.26. Rusa Gölü'nün günümüzde ve Urartular döneminde kapladığı yüzey alanının bölgenin sayısal yükseklik modeli (DEM) üzerindeki görünümü.



Şekil 0.27. Rusa Gölü'nün günümüzdeki (2544 m) ve Urartular dönemindeki (2562 m) yüzeyleri arasında kalan 3B bölgenin MOVE programındaki modeli.

4.2. Faruk Bendinin Performansının “Ansys Workbench” Sonlu Eleman Analizi Programı ile Değerlendirilmesi

Söz konusu çalışma alanındaki antik su yapılarından Faruk bendi günümüzde kısmen yıkılmış halde varlığını korumaktadır. Bendin 60 yıl önce meydana gelen depremlerden dolayı deformasyona uğrayarak ikiye ayrıldığı (Orhan ve ark., 2006) söylenebilir (Bildirici (2009), bendin gövdesinin, 1961 yılında define avcıları ve kaçak kazıcıların patlatması sonucu ikiye ayrıldığını (Şekil 4.28) ifade etmektedir. Barajın büyük kısmı ise 1988-1989 yıllarında yıkılmıştır (Garbrecht, 1991, Öziş, 1999, Bildirici, 2009) (Şekil 4.29). Garbrecht (1991) ise yapının yıkılmasının yapının temelini doğru kurulmadığından dolayı temel kayması kaynaklı olduğu görüşündedir. Bu araştırmalardan görüldüğü gibi söz konusu bendin tarihsel süreç içerisinde hangi faktörler altında deformasyona uğradığı tartışma konusudur.



Şekil 0.28. a) Faruk bendinin yıkılmadan önce mambadan görünüşü. b) Faruk bendinin yıkılmadan önce mansaptan görünüşü (Bildirici, 2009’den alınmıştır).

Bu bölümde, Faruk bendinin performans değerlendirmesi, literatürde bahsi geçen olası yıkım sebeplerinden deprem etkisine ek olarak, bendin memba tarafında biriken suyun bende uyguladığı kuvvet de dikkate alınarak bir sonlu eleman analiz programı olan “Ansys Workbench” ile yapılmıştır. Bu bağlamda öncelikle bendin modeli, (1) bendin arazi çalışmalarında elde edilen geometrisi (Şekil 4.30) ve (2) bendin yapı malzemesi traverten kesme taşlar ve bağlayıcı malzemenin boyutları-dağılımları da dikkate alınarak programda iki boyutlu düşey kesit halinde oluşturulmuştur (Şekil 4.31a).



Şekil 0.29. Faruk bendinin günümüzdeki kısmen yıkık halinin mabadan görünümü.

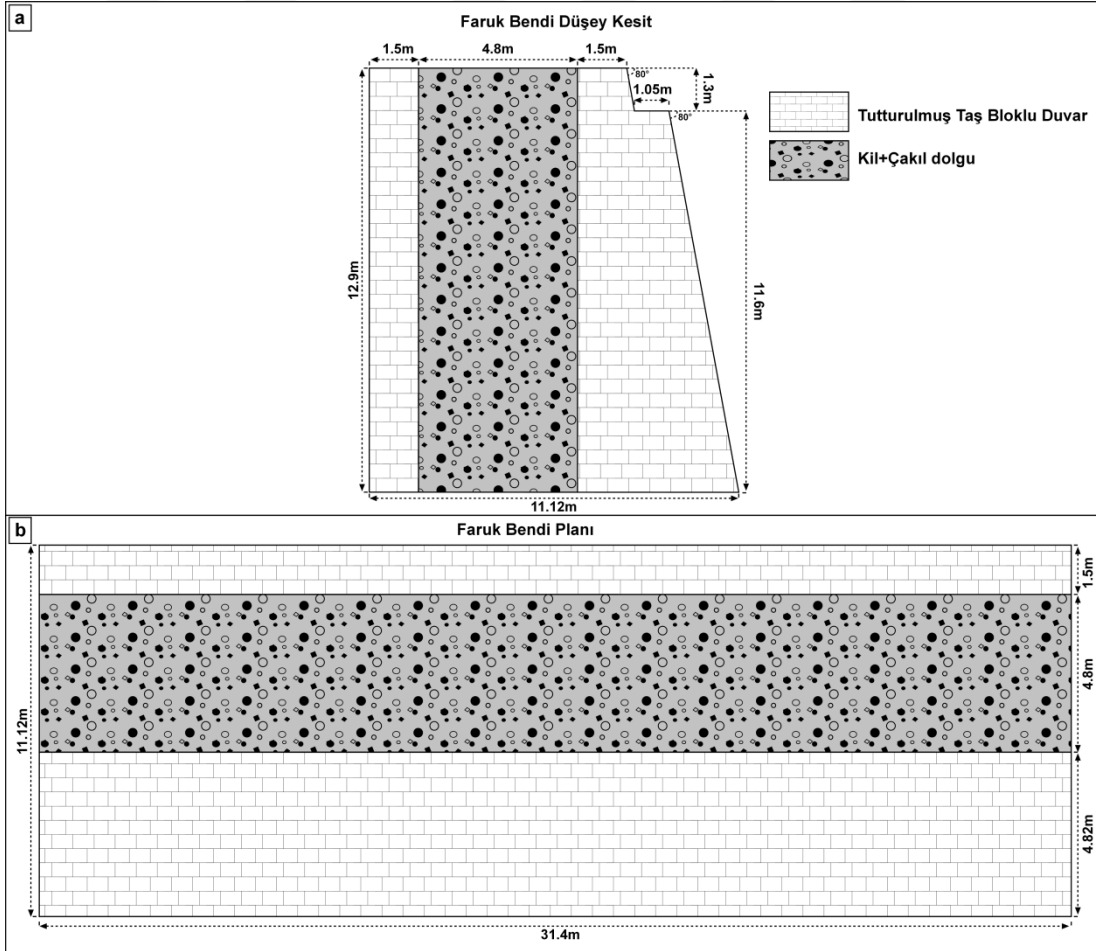
Oluşturulan 2B geometrik model üzerinde ağ üretilerek sonlu eleman analizi çözümlenmeleri yapılacak küçük elemanlar oluşturulmuştur (Şekil 4.31b). Daha sonra, bendin traverten yapı malzemesi ve bağlayıcı malzemesinin analiz çözümlenmeleri için gerekli olan parametreleri programa tanımlanmıştır. Bu parametrelerden yoğunluk, elastisite modülü, poisson oranı ve tek eksenli sıkışma dayanımı laboratuvar çalışmalarından elde edilen (Bkz. Bölüm 4.1.3) veriler kullanılarak yapı malzemesi ve bağlayıcı malzeme için ayrı ayrı girilmiştir. Modelleme analizleri için gereken diğer parametreler; tanjant modülü, kesme modülü ve hacimsel modülü girilen elastisite modülünden derivasyonla (türetilerek) program tarafından hesaplanmıştır (Çizelge 4.5).

Bendin geometrik modeli oluşturulduktan ve de bent malzemelerinin özellikleri tanımlandıktan sonra, programa otomatik olarak bendin ağırlığı hesaplatılmış (bağlayıcı malzeme ve yapı malzemesinin hacim ve yoğunlukları kullanılarak) ve ağırlık kuvveti bent gövdesine otomatik hesaplanan ağırlık merkezi üzerinden düşey yönde etki edecek şekilde uygulanmıştır (Şekil 4.32a). Daha önce ifade edildiği gibi Faruk bendinin performans değerlendirmesinde kullanılan dış yükler; (1) su yükü ve (2) deprem yükü paket program içerisinde tanımlanmıştır.

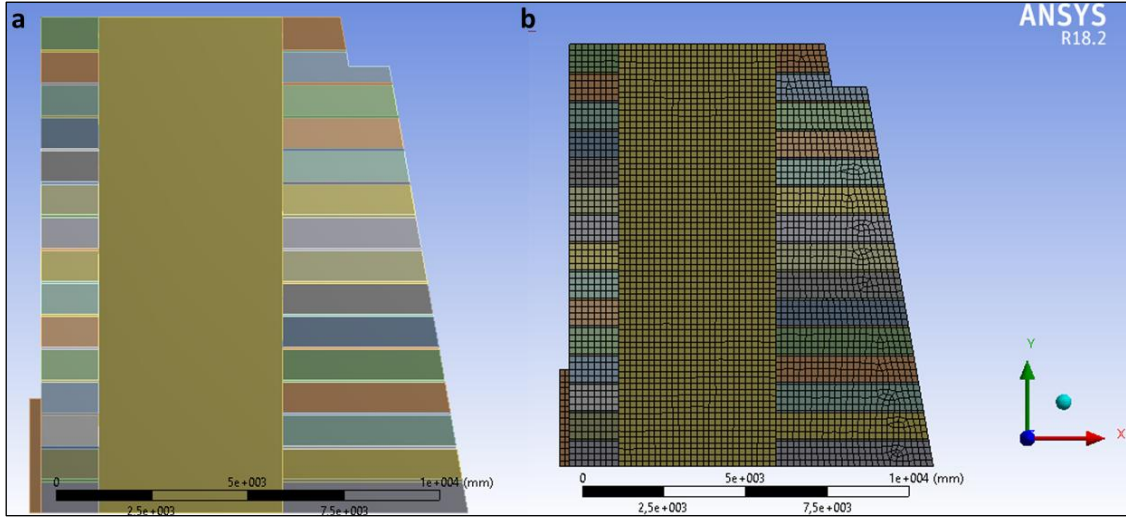
Çizelge 4.5. Faruk bendi analizlerinde bendenin yapı malzemesi ve bağlayıcı malzemesi için kullanılan parametreler

	Yapı malzemesi Minimum-ortalama	Bağlayıcı malzeme Minimum-ortalama
Yoğunluk (kg/m^3)	2191	2150
Tek eksenli sıkışma dayanımı (Pa)	$2.53 \times 10^6 - 1.1 \times 10^7$	$3.3 \times 10^6 - 6.1 \times 10^6$
Poisson oranı, ν	0.2	0.15*
Elastisite modülü, E (Pa)	$1.83 \times 10^{10} - 6.3185 \times 10^{10}$	1×10^{10} *
Hacimsel modül (Pa)	$9.5313 \times 10^9 - 3.4527 \times 10^{10}$	4.7619×10^9
Kesme modülü (Pa)	$7.7542 \times 10^9 - 2.6437 \times 10^{10}$	4.3478×10^{10}
Tanjant modülü (Pa)	$1.4168 \times 10^7 - 6.36 \times 10^8$	3.538×10^7

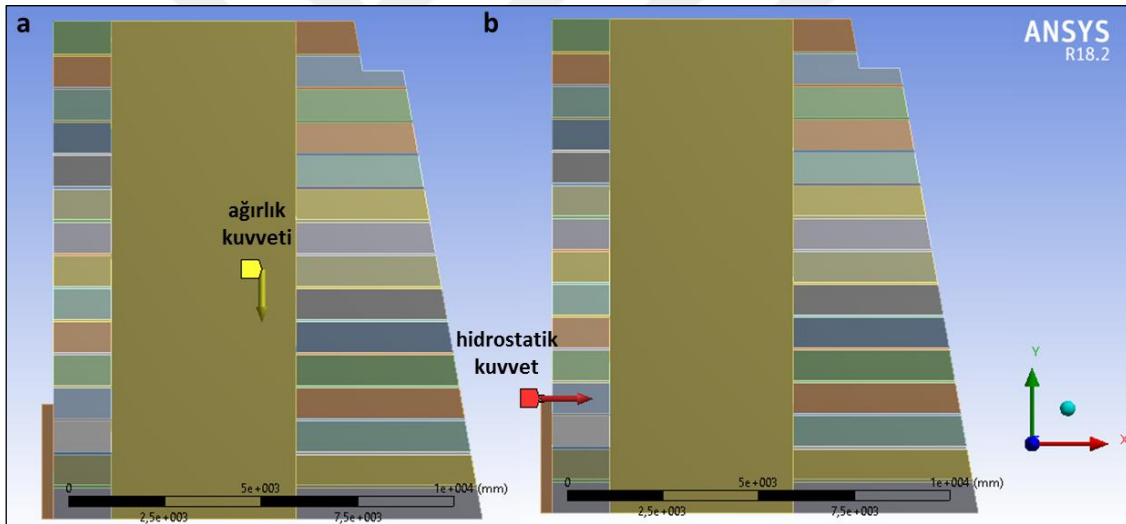
*"Ansys Workbench" programında killi bağlayıcı malzeme için tanımlanan değerler.



Şekil 0.30. a) Faruk bendinin düşey kesiti. b) Faruk bendinin planı.



Şekil 0.31. a) Faruk bendinin “Ansys Workbench” programında oluşturulmuş modeli. b) Bendin üzerinde oluşturulmuş ağ modeli.

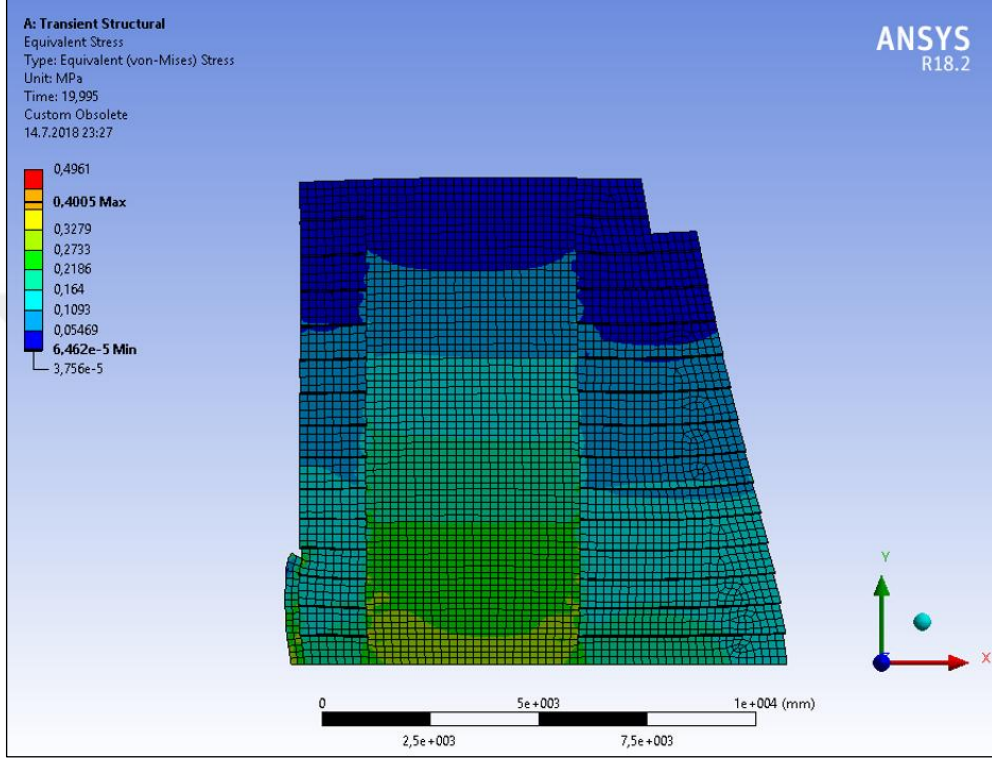


Şekil 0.32. a) Bendin modelinin ağırlık merkezi üzerindeki ağırlık kuvveti. b) Bendin memba duvarına üzerine uygulanan hidrostatik kuvvet.

Bendin kendi ağırlığından kaynaklı ağırlık kuvveti uygulandıktan sonra bendin uzun dönem performansını etkileyebilecek olan rezervuardaki maksimum seviyedeki suyun kuvveti bende uygulanmıştır. Bu kuvvet, Faruk bendi memba tarafında su tahliye bölümü üzerinde maksimum su seviyesi dikkate alınarak tabandan 5.9 m yukarıya yatay yönde etki edecek şekilde uygulanmıştır (Şekil 4.32b).

Söz konusu kuvvet uygulanmadan önce ilgili sınır koşulları; (1) rezervuar kısmında bulunan suyun sıkıştırılmaz ve viskoz olmadığı, (2) rezervuar tabanının rijit ve

yatay olduğu da dikkate alınarak bent gövdesinde oluşacak gerilmelerin analiz çözümlenmeleri yapılmıştır. Bende maksimum su kuvvetinin uygulanmasından sonra bent gövdesinde hesaplanan gerilme dağılımını gösteren model Şekil 4.33'de verilmiştir.



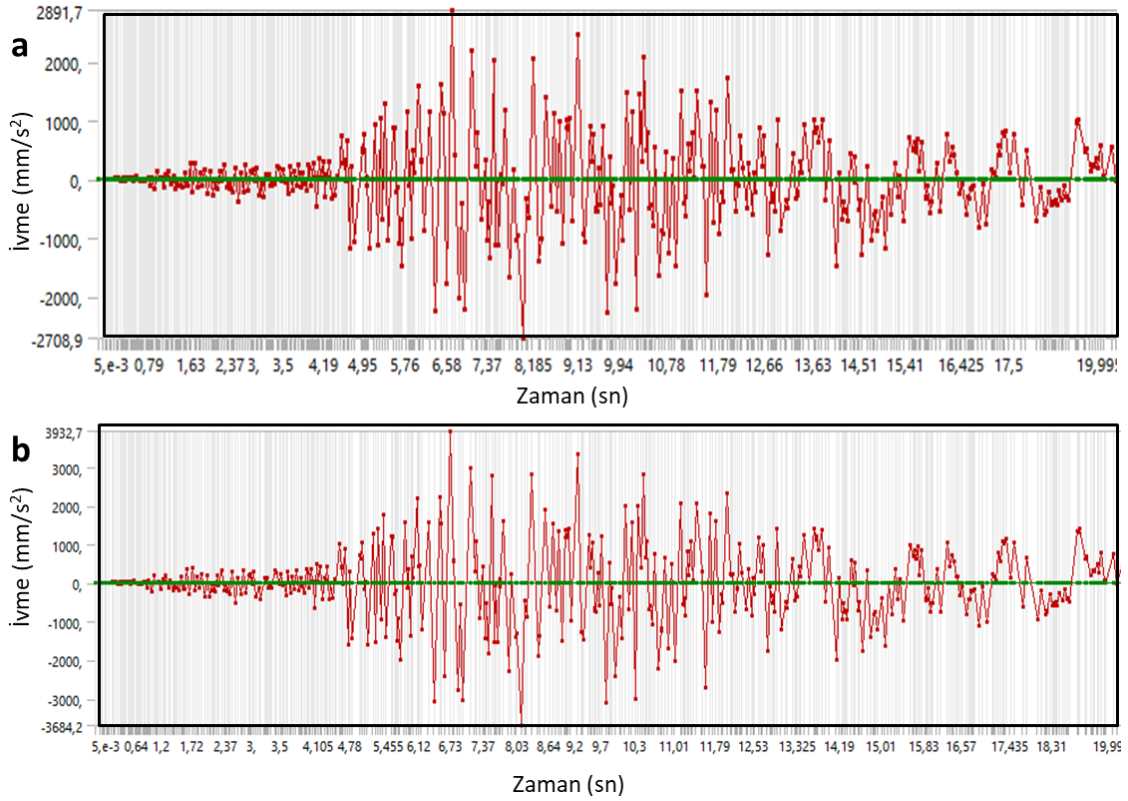
Şekil 0.33. Bende maksimum su kuvveti uygulandıktan sonra bente meydana gelen gerilmelerin bendin 2B geometrik modeli üzerindeki dağılımı.

Şekil 4.33'de verilen bent üzerindeki gerilme dağılımları incelendiğinde, gerilmelerin bendin kretinden tabanına doğru arttığı gözlenmektedir. Ayrıca, minimum gerilmelerin baraj kretinde olduğu, 0.4005 MPa değerindeki maksimum gerilmenin ise baraj tabanında görece daha zayıf bağlayıcı malzeme üzerinde meydana geldiği görülmüştür.

Bende su yükü uygulandıktan sonra, 0.034667 mm olarak hesaplanan maksimum toplam deformasyon ise bendin kretinde oluşmuştur. Bente bu kadar düşük toplam deformasyon değerinin meydana gelmesi bendin tabanının rijit olarak tanımlanmasından kaynaklanmaktadır.

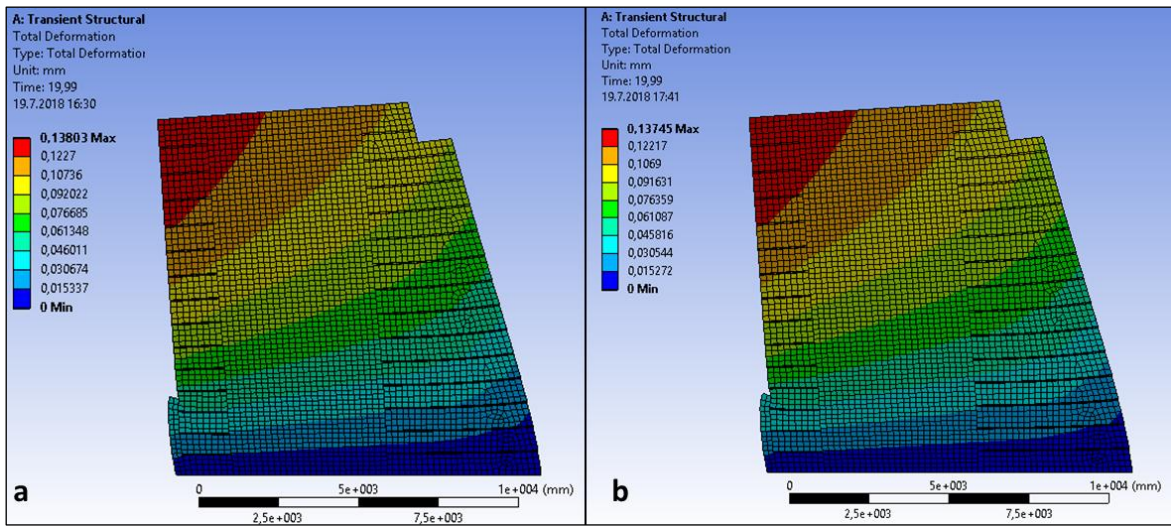
Günümüzde kısmen yıkılmış halde bulunan Faruk bendinin 1961 yılında çatlayarak ikiye ayrıldığı belirtildiğinden (Orhan ve ark., 2006) bentte meydana gelen yenilmeler, bölgede son 100 yılda meydana gelmiş depremlerin etkisi altında incelenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda deprem yükünün bendin performansı üzerindeki etkisini gözlemlemek için, bölgede söz konusu dönemde meydana gelmiş depremlerin özellikleri dikkate alınarak, maksimum 0.3 g (294.3 gal) ivmeli yaklaşık 20 sn. süreli bir deprem ivme kaydı kullanılmıştır (Şekil 4.34a).

Ayrıca, bendin, inşasından günümüze kadar geçen dönemde bölgede meydana gelmiş büyük depremler altındaki deformasyonunu incelemek için, aynı deprem kaydının ölçek katsayısıyla büyütülerek elde edilmiş maksimum 0.4 g ivmeli deprem ivme kaydı kullanılmıştır (Şekil 4.34b). Bendin söz konusu sismik yükler altındaki performansı boş ve dolu rezervuar durumlarında ayrı ayrı değerlendirilmiştir.



Şekil 0.34. a) Maksimum 0.3 g ivmeli yaklaşık 20 sn. süreli depremin ivme-zaman grafiği. b) Maksimum 0.4 g ivmeli yaklaşık 20 sn. süreli depremin ivme-zaman grafiği.

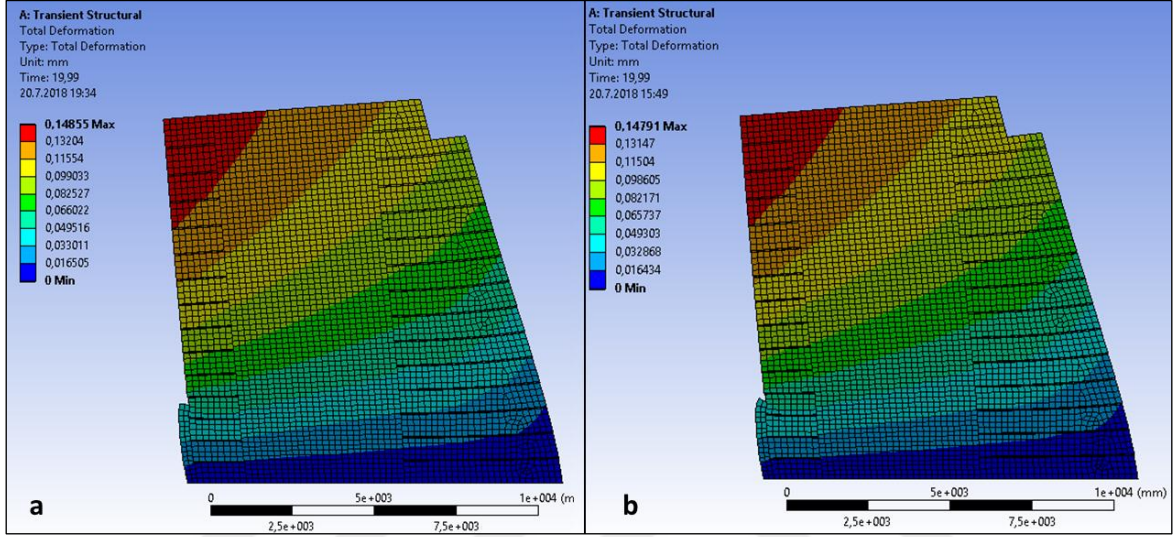
Bende boş rezervuar durumunda maksimum 0.3g ivmeli deprem yükü uygulandığında bentte meydana gelen maksimum toplam deformasyon (X ve Y yönündeki toplam yer değiştirme-deplasman) değerleri **0.041697 mm** ile **0.13803mm** arasında değişmektedir. Söz konusu sismik yük dolu rezervuar koşulunda uygulandığında bentte oluşan maksimum toplam deformasyon değerleri ise **0.041518 mm** ile **0.13745 mm** arasındadır. Sismik yükün boş ve dolu rezervuar koşullarında uygulanması sonrası bentte meydana gelen maksimum toplam deformasyonların bent üzerindeki dağılımını gösteren model Şekil 4.35’de verilmiştir.



Şekil 0.35. a) Boş rezervuar durumunda bende maksimum 0.3 g ivmeli deprem yükü uygulandıktan sonra bentte meydana gelen maksimum toplam deformasyonun bendin 2B geometrik modeli üzerindeki dağılımı. b) Dolu rezervuar durumunda bende maksimum 0.3 g ivmeli deprem yükü uygulandıktan sonra bentte meydana gelen maksimum toplam deformasyonun bendin 2B geometrik modeli üzerindeki dağılımı.

Boş rezervuar durumundaki bende maksimum 0.4g ivmeli sismik yük uygulandıktan sonra bentte hesaplanan maksimum toplam deformasyon değerleri **0.044936 mm** ile **0.14855 mm** arasında değişmektedir. Söz konusu sismik yük dolu rezervuar durumunda uygulandıktan sonra bentte hesaplanan maksimum toplam deformasyon değerleri ise **0.048176 mm** ile **0.14791 mm** arasındadır. Maksimum 0.4g ivmeli söz konusu sismik yükün boş ve dolu rezervuar durumunda uygulanması sonrası bent üzerinde oluşan maksimum toplam deformasyonların bentteki dağılımını gösteren model Şekil 5.36’da verilmiştir.

Şekil 4.35 ve Şekil 4.36’da görüldüğü gibi, boş ve dolu rezervuar durumlarında maksimum 0.3 g ve 0.4 g ivmeli sismik yüklerin etkisi sonrası bentte hesaplanan toplam deformasyon bendin tabanından kretine doğru artmaktadır. Ayrıca, maksimum toplam deformasyon değerleri her durumda memba tarafında bent kretine doğru ve kret üzerinde hesaplanmıştır.



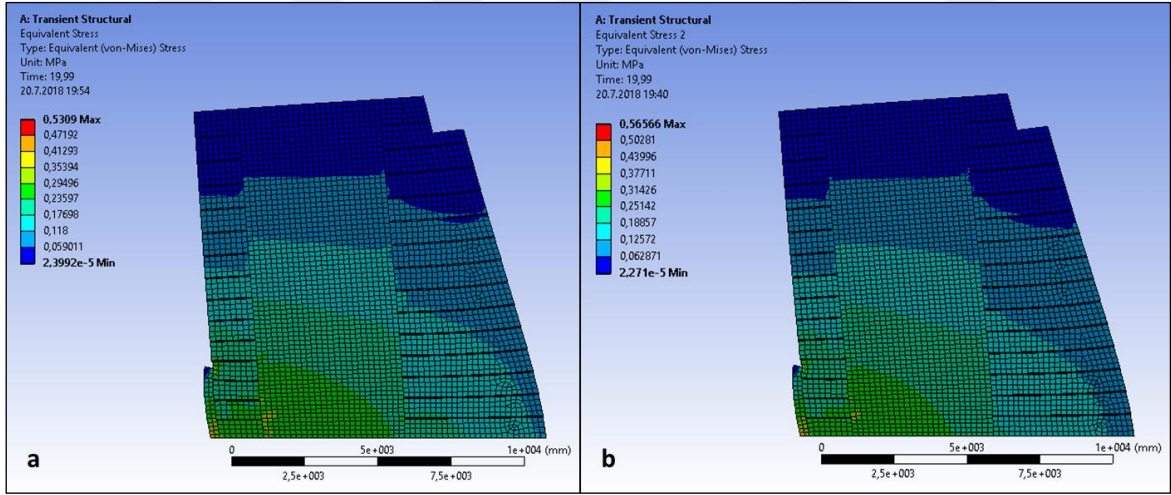
Şekil 0.36. a) Boş rezervuar durumunda bende maksimum 0.4 g ivmeli deprem yükü uygulandıktan sonra bentte meydana gelen maksimum toplam deformasyonun bendin 2B geometrik modeli üzerindeki dağılımı. b) Dolu rezervuar durumunda bende maksimum 0.4 g ivmeli deprem yükü uygulandıktan sonra bentte meydana gelen maksimum toplam deformasyonun bendin 2B geometrik modeli üzerindeki dağılımı.

Boş ve dolu rezervuar koşullarında bende maksimum 0.3g ve 0.4g ivmeli sismik yükler uygulandıktan sonra bentte meydana gelen maksimum toplam deformasyon değerleri Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Faruk bendine boş ve dolu rezervuar durumlarında maksimum 0.3g ve 0.4g ivmeli sismik yükler uygulandıktan sonra bentte meydana gelen maksimum toplam deformasyon değerleri

Maksimum deprem ivmesi	0.3g	0.4g
	Toplam deformasyon (mm)	
Boş rezervuar	0.041697-0.13803	0.044936-0.14855
	Toplam deformasyon (mm)	
Dolu rezervuar	0.041518-0.13745	0.048174-0.14791

Bende boş rezervuar koşulunda maksimum 0.3g ve 0.4g ivmeli sismik yükler uygulandığında bentte hesaplanan maksimum gerilme değerleri sırasıyla **0.5309 MPa** ve **0.56566 MPa**'dır. Boş rezervuar koşulunda söz konusu farklı sismik yükler altında bentte meydana gelen maksimum gerilmelerin dağılımını gösteren modeller Şekil 4.37'de sunulmuştur.



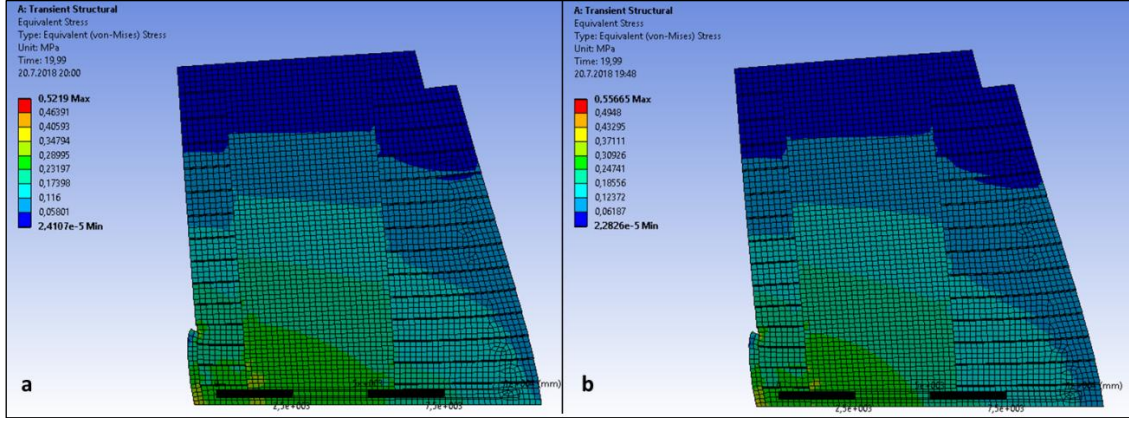
Şekil 0.37. a) Boş rezervuar koşulunda bende maksimum 0.3g ivmeli deprem uygulandığında bentte meydana gelen maksimum gerilmenin dağılımını gösteren model. b) Boş rezervuar koşulunda bende maksimum 0.3g ivmeli deprem uygulandığında bentte meydana gelen maksimum gerilmenin dağılımını gösteren model.

Bendin rezervuarının dolu olması durumunda maksimum 0.3g ve 0.4g ivmeli deprem yükleri altında bentte oluşan maksimum gerilme değerleri ise sırasıyla **0.5219**

MPa ve **0.55665 MPa**'dır. Dolu rezervuar durumunda söz konusu deprem yükleri altında bentte hesaplanan maksimum gerilmelerin dağılımını gösteren modeller Şekil 4.38'de sunulmuştur.

Bentin boş ve dolu rezervuar koşullarında maksimum 0.3g ve 0.4g ivmeli deprem yüklerinin uygulanmasıyla maksimum gerilmeler bentin tabanında ve merkezde özellikle bağlayıcı malzeme üzerinde meydana gelirken, minimum gerilmeler bentin kretine yakın alanlarda ve kret üzerinde hesaplanmıştır (Şekil 4.37 ve 4.38).

Boş ve dolu rezervuar koşullarında bende maksimum 0.3g ve 0.4g ivmeli sismik yükler uygulandığında bentte hesaplanan maksimum gerilme değerleri Çizelge 4.7'de sunulmuştur.



Şekil 0.38. a) Dolu rezervuar durumunda bende maksimum 0.3g ivmeli deprem uygulandığında bentte meydana gelen maksimum gerilmenin dağılımını gösteren model. b) Dolu rezervuar durumunda bende maksimum 0.3g ivmeli deprem uygulandığında bentte meydana gelen maksimum gerilmenin dağılımını gösteren model.

Çizelge 4.7. Faruk bendine boş ve dolu rezervuar durumlarında maksimum 0.3g ve 0.4g ivmeli sismik yükler uygulandıktan sonra bentte hesaplanan maksimum gerilme değerleri

Maksimum deprem ivmesi	0.3g	0.4g
	Gerilme (MPa)	
Boş rezervuar	0.5309	0.56566
Dolu rezervuar	Gerilme (MPa)	
	0.5219	0.55665

4.3. Genel Tartışma

19. yüzyıla kadar, baraj tasarımı ve inşaatı tecrübelerine dayanmaktaydı. 2000'li yıllara kadar barajların tasarımı ve inşasında deneyim birçok yönden ilerlemiştir. Ancak, bu süreç içerisinde çok sayıda başarısızlıklar yaşanmıştır. Yaşanan en önemli felaket, 1928 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nin Los Angeles şehrine 72 km mesafede bulunan St. Francis Barajı felaketidir. Jeolojik nedenlerle meydana gelen bu felaketten sonra, jeolojik/geoteknik çalışmalar önem kazanmıştır. Benzer şekilde, 1959 yılında meydana gelen Fransa'daki Malpasset baraj felaketi, 1963 Vajont barajı ve 1976 yılı Teton baraj felaketleri doğal ve jeolojik ortamın dikkate alınmamasıyla yaşanan büyük çaplı başarısızlıklardır. Büyük mühendislik yapılarındaki bu felaketler jeolojik/geoteknik araştırmaların önemini bir kez daha ortaya koymuştur.

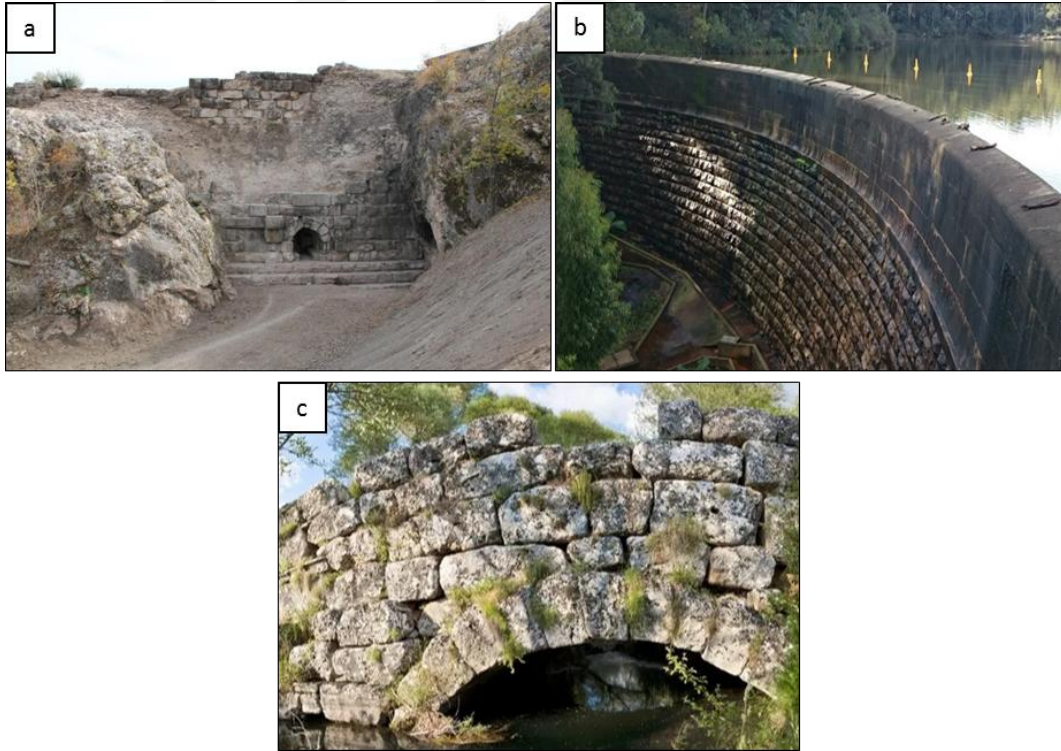
Baraj yapılarının yıkılma nedenleri; şev kaymaları ve heyelanlar, jeolojik yapıdaki farklılıklar (temel ve abatman problemleri), sızma ve suyun baraj gövdesini aşması ve depremlerdir. Dolayısıyla, baraj yeri seçimi için jeolojik/geoteknik çalışmalar esas olarak baraj yerinde ve çevresinde jeolojik yapıların tanımlanmasını içermektedir. Bu araştırmalar, söz konusu yapılar ile jeolojik ortam arasındaki uygunluğun değerlendirilmesini gerektirir.

Bölgede yapılan arazi çalışmalarında, Urartu su yapılarının olabildiğince uygun jeolojik birimler üzerinde inşa edildiği, özellikle jeolojik birimlerin tabaka doğrultusu ve eğim açısı gibi kritik jeolojik özelliklerin dikkate alındığı ve ayrıca topografik özelliklerden yararlandığı görülmüştür. Söz konusu yapılar için Urartular tarafından ortaya konulan yer seçimi, planlama ve tasarıma ait bu ilk uygulamalar, günümüz modern saha seçimi ve tasarım kriterlerini anımsatmaktadır. Ayrıca Urartuların teknik becerilere sahip oldukları literatürden bilinmektedir. Urartular, yüksek kot farkı nedeniyle akışın etkisini azaltmak için eğim boyunca yapay göller ile bağlantılı bazı bentler inşa (kalıntıları halen mevcut olan Faruk bendi, Döni 2 barajı gibi) etmişlerdir. Bu rasyonel çözümlerle, akış etkisini düşürerek durgun suyun tarım alanlarına yönlendirilmesini sağlamışlardır (Garbrecht, 1981). Urartular sahip oldukları bu mühendislik ve teknik bakış açılarıyla bölgede etkin bir sulama sistemi kurmuşlardır.

Urartu barajları (özellikle Rusa GB barajı), aralarında yarı geçirimli ve/veya geçirimsiz jeolojik birimlerle suyun tutulduğu ve iki paralel taş dolgularla baraj yapılarının stabilitesinin sağlandığı, genellikle bağlayıcı bir malzemenin kullanılmadığı

düzgün kesilen kayalar ile oluşturulmuş yapılar olarak görülmektedirler. Bu inşaat yapısıyla Urartu su yapıları, Anadolu'daki Roma İmparatorluğu (Doğu Roma İmparatorluğu, M.S. 27-1453) gibi bazı uygarlıkların tasarımlarını da hatırlatmaktadırlar (Şekil 4.39). Roma İmparatorluğu döneminde baraj tasarımında ve inşaatında önemli yol kat edildiği bilinmektedir. Özellikle tuf ve pomzanın sönmüş kireçle (Puzol) birlikte bağlayıcı malzeme kullanımı ve kemerli su tahliye bölümü ve kemer tipi baraj tekniklerinin geliştirilmesi ve benzer olarak iki taş duvar arasında dolgunun kullanılması tipik Roma imparatorluğu dönemine ait önemli gelişmeler olarak bilinir (Jansen 1980; Öziş, 1999).

Rusa (Keşiş) gölünün hacmini arttırmaya yönelik olarak, geçirimsiz veya yarı geçirimli dolgu çekirdeğin Urartu uygarlığındaki ilk uygulamaları, daha sonraki tarihsel süreçte ilk kez Romalılar tarafından ve günümüze daha yakın süreçte ise dolgu tipi barajlarda 19. ve 20. yüzyıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu nedenle, Urartu barajları veya su temin sistemi, modern baraj inşaatı ve tasarımının tarihsel gelişimi açısından da büyük önem taşımaktadır.



Şekil 0.39. Anadolu'da inşa edilen Roma dönemi barajları: **a)** Antik Örükaya barajı (Çorum, M.S. 2.yüzyıl), **b)** Antik Dara barajı (Mardin, yaklaşık M.S. 6. yüzyıl), **c)** Çavdarhisar-Aizonai barajı (Kütahya, M.S. 1-2. yüzyıl).

Tarih boyunca topluluklar yaşamlarını devam ettirebilmek için su kaynaklarına ulaşmaya çalışmışlardır. Bu çaba artan insan nüfusu ve kuraklık sebeplerinden dolayı su kaynaklarını biriktirme ve daha efektif kullanma girişimleriyle günümüze kadar artmıştır. Su kaynaklarının verimli kullanılmasında akla gelen ilk yapılar barajlardır. Barajların gerçek dünya yükleri ve de sismik ve su etkileri altındaki davranışlarının incelenmesi mühendislik alanında karşılaşılan en karmaşık problemlerden birisidir. Bu sebeple, barajların yapım sonrası performanslarının değerlendirilmesinde başvurulan analitik modeller için bir numerik analiz yöntemi olan sonlu eleman çözümleri ile çalışan programlardan yararlanılmaktadır.

Bu yöntem, kültürel miras özelliği taşıyan antik mühendislik yapılarında deprem, sel gibi doğal afetlerde oluşacak olan hasarlara karşı önlem almak amaçlı, yapıların davranışının incelenmesinde de kullanılmaktadır. Bu tür yapıların modellenerek gerçek davranışlarının sonlu eleman analizi yöntemiyle incelenmesinde yapının geometrisinin ve de yapıda kullanılan malzeme özelliklerinin çok iyi belirlenmesi önem taşımaktadır. Bu yöntem, ayrıca hasar görmüş veya yıkılmış antik mühendislik yapılarının deformasyonlarına sebep olan faktörler ve bu faktörlerin etkilerini araştırmak için kullanılabilir.

Tuşba, Van yöresindeki antik su yapılarından Faruk bendi 1961-62 yıllarında deformasyona uğrayarak, yapı boyunca bir yarıklık (>1cm) gelişmiş, 1988-89 yıllarında ise yapı yarıklık boyunca yıkılmıştır. Günümüzde yıkık halde bulunan Faruk bendinin deformasyonuna neden olan faktörler hakkında farklı görüşler mevcuttur. Bu görüşler, (1) bölgede meydana gelmiş depremlerin etkisini (Orhan ve ark., 2006), (2) define avcılarının bendi patlatmasını (Bildirici, 2009) ve (3) yapının temelinin kaymasını (Garbrecht, 1991) içermektedir.

Bu çalışmada Faruk bendinin uzun dönem performansı, yukarıda bahsedilen faktörlerden deprem etkisi ve buna ek olarak rezervuardaki suyun kuvveti dikkate alınarak sonlu eleman analizi yöntemiyle “Ansys Workbench” paket programında değerlendirilmiştir. Bu amaçla bendin gerçeğe yakın davranışının belirlenmesi hususunda, arazi çalışmalarından bendin tam olarak belirlenen geometrisi ve de laboratuvar çalışmalarından elde edilen yapıyı oluşturan malzemelerin mühendislik parametreleri belirlenerek bendin gerçeğe yakın modeli oluşturulmuştur. Bendin oluşturulan modelinin davranışı beş farklı yük senaryosuna göre incelenmiştir.

Bu senaryolar sırasıyla: (1) bendin rezervuarında maksimum seviyedeki suyun yükü, (2) boş rezervuar durumunda maksimum 0.3g ivmeli depremin yükü ve (3) dolu rezervuar durumunda maksimum 0.3g ivmeli depremin yükü, (4) boş rezervuar durumunda maksimum 0.4g ivmeli depremin yükü ve (5) dolu rezervuar durumunda maksimum 0.4g ivmeli depremin yüküdür.

Bende sadece su yükü uygulandığında bentte hesaplanan gerilme değerleri bent kretinden bent tabanına doğru özellikle bendin merkezindeki bağlayıcı malzemede artış göstermektedir. Tabandaki dolgu malzeme üzerindeki maksimum gerilme değeri ise 0.4005 MPa olarak hesaplanmıştır. Bende boş rezervuar koşulunda maksimum 0.3g ve 0.4g ivmeli farklı sismik yükler uygulandığında hesaplanan maksimum gerilme değerleri ise sırasıyla 0.5309 MPa ve 0.56566 MPa'dır. Yalnızca su ve yalnızca sismik yükler altında bentte oluşan gerilmeler benzer dağılım gösterirken, sismik yükler altında bentte daha yüksek gerilme değerleri hesaplanmıştır. Buna dayanarak, sismik yüklerin su yüküne oranla bentte daha fazla gerilmelere sebep olduğu söylenebilir.

Maksimum 0.3g ivmeli sismik yükün bentte boş ve dolu rezervuar koşullarında meydana getirdiği maksimum toplam deformasyon değerleri 0.13803 mm ve 0.13745 mm'dir. Maksimum 0.4g ivmeli deprem yükünün söz konusu farklı rezervuar koşullarında oluşturduğu toplam deformasyon değerleri ise 0.14855 mm ve 0.14791 mm'dir. Her durumda bentte meydana gelen toplam deformasyon dağılımı aynı olup bendin tabanından kretine doğru artış göstermektedir. Ancak, maksimum 0.4g ivmeli sismik yük sonrası bentte daha yüksek toplam deformasyon değerleri hesaplandığından, daha yüksek ivmelere sahip depremlerin bentte daha fazla deformasyona neden olduğu söylenebilir.

Beş farklı yük senaryosu sonrası bentte hesaplanan gerilme değerleri incelendiğinde, bentteki maksimum gerilme, boş rezervuar durumunda maksimum 0.4g ivmeli deprem yükü sonrası 0.56566 MPa değerinde meydana gelmiştir. Hesaplanan bu değer, bendi oluşturan malzemelerin minimum ve ortalama dayanım değerlerine kıyasla oldukça düşüktür. Bu sebeple, bendin farklı yük senaryoları sonrası dikkate alınacak seviyede büyük bir hasar görmeyeceği ancak bentte kullanılan bağlayıcı malzemede belirli bir deformasyon yaratmış olma olasılığı oldukça yüksektir. Yapının inşasından günümüze kadar geçen süreçte Faruk bendi farklı özellikteki depremlere maruz kalmıştır. Söz konusu bu depremlerin deformasyonları arttırıcı yönde rol oynayarak

yapı boyunca yarığın gelişmesine sebep olduğu söylenebilir. Buna ek olarak su tutma özelliğini yitirmiş olan bendin, yapısı boyunca ve/veya temelindeki jeolojik farklılıklardan (traverten/ofiyolit) kaynaklı olarak zamanla aşındığı ve yıkıldığı çıkarımı yapılabilir.

Yapılan analizler, (1) homojen yapı ve bağlayıcı malzeme koşullarında, (2) 2B model üzerinde, (3) bendin temel özellikleri dikkate alınmadan ve (4) rezervuar tabanının rijit olduğu sınır koşulunda gerçekleştirilmiştir. Bendi oluşturan malzemelerin dayanımları malzemelerin oluşum ve yapıları gereği kendi içerisinde değişim göstermektedir. Bu bağlamda, Faruk bendinin sismik performansının homojen olmayan malzeme koşullarının ve temel zemin koşullarının belirlenerek 3B analiz edilmesiyle daha gerçekçi sonuçlar vereceği düşünülmektedir.



5. SONUÇ

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar; (1) Van yöresi en eskisi Urartu dönemine ait antik su yapılarının literatür derlemesinden elde edilen sonuçlar, (2) söz konusu yapıların modern baraj/bent yer seçim ve tasarım kriterleri açısından değerlendirilmesinden elde edilen sonuçlar ve (3) söz konusu yapılardan günümüzde kısmen yıkık halde bulunan Faruk bendinin performansının sonlu eleman analizi ile “Ansys Workbench” programında değerlendirilmesinden elde edilen sonuçlar olarak aşağıda özetlenmiştir.

M.Ö. 850-600 yılları arasında günümüz Van (Tuşba) ve çevresinde hüküm süren Urartu Uygarlığı, uygarlık halkının ve tarımsal faaliyetlerin ihtiyaçlarını karşılamak amaçlı gerekli olan suyu alkali ve tuzlu suya sahip Van Gölü’nden ve de fakir su kaynaklarına sahip Tuşba ovasından karşılayamamıştır. Bu sebeple, uygarlık, ovanın doğusundaki Ereğ Dağı’nın zengin su kaynaklarından yararlanmak amacıyla birçok bent, sulama kanalı ve baraj inşa etmiştir. Bu yapılardan bazıları yıkılmış olup, bazıları ise bölgede meydana gelmiş yoğun sismik ve volkanik afetlere rağmen yıkılmamış, az hasarlı, hasarsız veya restorasyonla korunmuştur. Günümüzde varlığını koruyan bu yapılardan en önemlileri: Menua (Şamran/Semiramis) Kanalı, Rusa (Keşiş) Gölü barajları, Döni barajları ve Faruk bendidir. Söz konusu yapılardan Faruk bendi dışında yapıların hepsinin Urartu döneminde yapıldığına dair kesin kanıtlar bulunmaktadır. Faruk bendinin yapımı ise yapım tekniğinden dolayı Roma dönemine ve radyometrik yaşlandırmadan dolayı ise Osmanlı dönemlerine kadar dayandırılmaktadır. Ancak bu dönemler bendin restorasyon ve yeniden inşa tarihlerini gösterme potansiyeline sahip olduğundan dolayı yapının kesin olarak Urartu dönemine ait olmadığı durumu halen tartışmalıdır. Faruk bendinin 1961 yılında çatlayarak ikiye ayrıldığı ve 1988-89 yıllarında yıkıldığı söylenirken, söz konusu hasarlara sebep olan faktörler hakkında farklı görüşler mevcuttur. Söz konusu bu faktörler bölgede meydana gelmiş depremleri, define avcılarının bentte patlama meydana getirmesini ve zayıf temelin kaymasını kapsamaktadır. Buna rağmen bentte meydana gelen hasarın nedenlerine dair kesin bir kanıt veya sebeplerini araştıran bir mühendislik çalışması mevcut değildir. Ayrıca, Van yöresindeki antik su yapılarının tarihleri, yapım sebepleri, boyutları ve yapı malzemeleri hakkında birçok çalışma mevcut olup, kültürel miras değerindeki bu yapıların bölgede

hala meydana gelen ve gelecek olan doğal afetlerin olası hasarlarına karşı korunması adına yapılmış herhangi bir mühendislik çalışması mevcut değildir. En eskisi Urartu dönemine ait su yapılarının günümüzde halen işlevini sürdürmesi Urartuların antik hidroteknolojik becerilerine sahip olduklarını açıkça göstermektedir.

Tuşba, Van yöresindeki en eskisi Urartu dönemine ait söz konusu su yapıları, modern baraj/bent yer seçim ve tasarım kriterlerinden; topografya, jeolojik yapı, baraj için uygun malzemelerin mevcudiyeti, yapı malzemesinin fiziksel özellikleri, depremsellik, iklim ve hidrolojik koşullar açısından değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, arazi çalışmaları kapsamında yapıların geometrileri belirlenmiş, üzerinde buldukları jeolojik birimler tanımlanmış, yapılarda kullanılan malzemeler yerinde incelenmiştir. Ayrıca, Faruk bendinin yapı ve bağlayıcı malzemelerinin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri Schmidt çekici, tek eksenli sıkışma deneyi ve nokta yükleme deneyleri ile belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmaların sonucunda, söz konusu su yapılarının, üzerinde buldukları vadi şekilleri ile yüksek derecede uyumluluğa sahip oldukları belirlenmiştir. Ayrıca yapıların olabildiğince uygun jeolojik birimler üzerinde inşa edildikleri ve de yapıların inşasında jeolojik birimlerin tabaka doğrultusu ve eğim açısı gibi kritik özelliklerin dikkate alındığı anlaşılmıştır. Rusa GB barajı dolgu tip baraj (Earth-fill dam) özelliği gösterirken, diğer tüm yapılar duvar örgü baraj (Masonry dam) özelliği göstermektedir. Yapılardaki yapı malzemeleri incelendiğinde, genellikle kireçtaşı, serpantin ve travertene ek olarak bazalt ve gabronun kullanıldığı ve bu malzemelerin yapıların yakın civarından temin edilmiş olma olasılığının oldukça yüksek olduğu anlaşılmıştır. Yapılarda genel olarak bağlayıcı malzeme kullanılmamakla birlikte, Rusa KB barajı ve Faruk bendinde iki duvar arasında iri çakıl ve ince zemin malzemesinin kullanıldığı gözlenmiştir. Rusa GB barajının ise iki kaya dolgu arasında yer alan suyun tutulduğu yarı geçirimli/geçirimsiz kil çekirdek yapısına dayanarak bu tip dolgunun (kil çekirdek) yapımının bilindiği gibi Roma dönemine değil de Urartular dönemine dayandığına dair önemli bir çıkarım yapılmıştır. Faruk bendinin traverten yapı malzemesine ait ortalama Schmidt geri sıçrama değerleri (RN) değerleri 26.7 ile 29.5 arasında olduğundan yapı malzemesi orta sağlam kayalar olarak tanımlanmıştır. Benzer RN değeri gösteren çevre traverten kayalardan elde edilen dayanım değerleri 2.6 ile 17.3 MPa arasında değişim gösterdiğinden yapı malzemesi aynı zamanda düşük ve orta sağlam kayaç grupları içerisinde yer almıştır. Faruk bendi bağlayıcı

malzemesinin nokta yükleme deneyi sonrasında dolaylı olarak hesaplanan 6.1 MPa dayanım değerine de bakıldığından günümüzde kısmen yıkık halde bulunan Faruk bendinin yıkılmasına neden olan etmenlerden birisinin zayıf yapı ve ayrıca zayıf bağlayıcı malzemelerin kullanımı olabileceği belirlenmiştir.

Söz konusu yapıların, günümüzdeki durumlarına bakıldığında, inşasından günümüze kadar geçen yaklaşık 2800 yıllık dönemde bölgede meydana gelen tarihsel ve aletsel dönem kayıtlarındaki büyük depremlere maruz kaldıkları fakat çoğunun günümüzde de işlevini sürdürdüğü gözlenmiştir.

Yapıların bulunduğu bölgenin yapıldığı dönemde ve günümüzdeki iklim koşulları araştırıldığında, söz konusu dönemlerde ıslak iklim hâkim olduğundan dolayı Urartuların yapıların inşasında topografik ve jeolojik faktörlere ek olarak iklim koşullarını da göz önünde bulundurdıkları çıkarımı yapılmıştır.

Yapılarında inşasında büyük ölçüde yararlanılan Rusa Gölünün Urartular dönemindeki su tutma hacmi (177 milyon m³) hesaplandığında, Urartuların yapıların inşasında ayrıca bölgedeki hidrolojik koşulları da dikkate aldıkları anlaşılmıştır.

Özetle, Urartular, günümüz modern baraj/bent saha seçimi, planlama ve tasarıma kriterlerine yüksek derecede uygun olarak etkin bir sulama sistemi inşa ettiklerinden, yüksek mühendislik seviyesine sahip hidroteknik alanında öncü medeniyet olma özelliğine sahiptir.

Günümüzde kısmen yıkık halde bulunan Faruk bendinin performansı, bendin arazi çalışmalarından elde edilen geometrisi 2B modellendikten sonra arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen materyal özellikleri de girilerek sonlu eleman metoduyla “Ansys Workbench” programında beş farklı yük durumunda değerlendirilmiştir.

Beş farklı yük durumu sonrası bent üzerinde meydana gelen gerilmelerin dağılımı aynı olup, gerilmeler bendin kretinden tabanına doğru artmakta ve özellikle bağlayıcı malzeme üzerinde yoğunlaşmaktadır. Hesaplanan maksimum gerilme değerleri ise 0.4005 MPa ve 0.56566 MPa değerleri arasında değişim göstermektedir. Bu değerler, bendi oluşturan malzemelerin dayanımlarına kıyasla oldukça düşüktür.

Bentte oluşan toplam deformasyonların dağılım modelleri incelendiğinde ise, hesaplanan deformasyon bent tabanında minimum krete yakın alanlarda ve kret de ise maksimum seviyededir. Hesaplanan toplam deformasyon değerleri 0.041518 mm ve

0.14855 mm arasındadır. Boş veya dolu rezervuar koşulunda maksimum 0.4g ivmeli deprem yükü sonrası bentte hesaplanan toplam deformasyon değeri, aynı koşullarda maksimum 0.3g ivmeli sismik yük sonrası oluşan toplam deformasyondan değerinden yüksek olup, daha yüksek ivmeli deprem bentte daha fazla deformasyon meydana getirmiştir.

Sismik performansa dayalı sonlu eleman analizleri sonucunda, Faruk bendinin tek bir depreme bağlı olarak yıkılmadığı, ancak tarihsel süreç içerisinde söz konusu depremlerden zamanla yüksek derecede etkilenmiş olduğu söylenebilir. Söz konusu bu depremlerin yapı boyunca yarığın gelişmesine sebep olduğu ve su tutma özelliğini yitirmiş olan bendin, yapısı boyunca ve/veya temelindeki jeolojik farklılıklardan (traverten/ofiyolit) kaynaklı olarak zamanla aşınarak yıkıldığı çıkarımı yapılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Acarlar, M., Bilgin, A.Z., Elibol, E., Erkan, T., Gedik, İ., Güner, E., Hakyemez, Y., Şen, A.M., Uğuz, M.F., Umut, M., 1991. *Van Gölü Doğu ve Kuzeyinin Jeolojisi*. MTA Raporu, No:9469, Ankara (yayınlanmamış).
- Acarlar, M., Türkecan, A., 1986. *Başkale (Van) Batı ve Kuzeybatısının Jeolojisi*. MTA Raporu, No: 7913, Ankara (yayınlanmamış).
- Altınlı, İ.E., 1966. Doğu ve Güneydoğu Anadolu'nun jeolojisi. *MTA Dergisi*, **66**: 35-74.
- Ambraseys, N.N., Finkel, C., 1995. *The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas 1500–1800*. Eren Publishers, İstanbul.
- Ambraseys, N.N., Jackson, J.A., 1998. Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern mediterranean region. *Geophysical Journal International*, **133**: 390–406.
- Arpat E., Saroğlu, F., İz, H.B., 1977. Caldıran depremi. *Yeryuvarı ve İnsan*, **2**: 29–41.
- ASTM, 2001. Standard test method for determination of rock hardness by rebound hammer method. *ASTM Stand.* 04.09 (D 5873-00).
- Belli, O., 1994. Urartian Dams and Artificial Lakes in Eastern Anatolia. *Proceedings of the Third Anatolian Iron Ages Colloquium*. 6-12 August 1994, Ankara. 9-30.
- Belli O., 1997. *Doğu Anadolu'da Urartu Sulama Kanalları*. Arkeoloji ve Sanat Yayınları. İstanbul. 64.
- Bergman, E.A., Türkelli, N., 2012. Calibrated Relocation of the October 23, 2011 (Mw = 7.1) Van Earthquake, Aftershocks and Prior Seismicity. *Proceedings of the 65th Geological Congress of Turkey*. 2-6 April 2012, Ankara.35.
- Bieniawski, Z.T., 1975. The point-load test in geotechnical practice. *Engineering Geology*, **9**: 1-11.
- Bildirici, M., 2009. *Tarihi Sulama, Su Depolama, Taşkın Koruma Tesisleri*. DSİ Yayınları, Ankara. 177.
- Bozkurt, E., 2001. Neotectonics of Turkey - a synthesis. *Geodinamica Acta*, **14**: 3-30.
- Bölük, E., 2016. *Erinç İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi*. Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara. 11.
- Broch, E., Franklin, J., 1972. Point load strength test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **9**: 669-697.
- Burney, C., 1972. Urartian irrigation works. *Anatolian Studies*, **22**: 179-186.
- Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Şaroğlu, F., Şengör, A.M.C., 1986. Shortening of continental lithosphere: The neotectonics of Eastern Anatolia- a young collision zone. *Collision Tectonics* (Editör: M.P. Coward, A.C. Ries) The Geological Society, London. 3-36.
- Ergin, K., Güçlü, U., Uz, Z., 1967. *Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu (M.S. 11-1964)*. İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Arz Fiziği Enstitüsü Yayınları, No: 28, İstanbul.
- Fairbridge, R., Erol O., Karaca, M., Yılmaz, Y., 1997. Background to the Mid-Holocene climatic change in Anatolia and adjacent regions. *Third Millennium BC Climate Change and Old World Collapse* (Editör: H.N. Dalfes, G. Kukla, H. Weiss). Springer Science and Business Media, USA. 728.
- Fener, M., Kahraman, S., Bilgil, A., Günaydın, O., 2005. A comparative evaluation of indirect methods to estimate the compressive strength of rocks. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, **38**: 329-343.

- Garbrecht, G., 1980. The water supply system at Tuspa (Urartu). *World Archaeology*, **11**: 306-315.
- Garbrecht, G., 1987. Water management for irrigation in Antiquity (Urartu 850 to 600 B.C.). *Irrigation and Drainage Systems*, **2**: 185-198.
- Garbrecht, G., 1991. *Das alter der Talsperre 'Faruk Bendi in Ost-Anetolien*. Historische Talsperren (Editor: G. Garbrecht). 97-109.
- Gelati, R., 1975. Miocene marine sequence from the Van area, Eastern Turkey. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, **81**: 477-490.
- Göğüş O.H., Pysklywec, R.N., 2008. Mantle lithosphere delamination driving plateau uplift and synconvergent extension in eastern Anatolia. *Geology*, **36**: 723-726.
- Grasso, P., Xu, S., Mahtab, A., 1992. Problems and promises of index testing of rocks. *Proceedings of 33. US Symposium of Rock Mechanics*. 3-5 June 1992, Rotterdam. 879-888.
- Guidobani, E., Compastri, E., 2005. *Catalogues of Eartquakes and Tsunamis in the Mediterranean Area from the 11th to 15th Century*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Rome.
- Hempton, M.R., 1987. Constraints on Arabian plate motion and extensional history of the Red Sea. *Tectonics*, **6**: 687-705.
- Hepbostancı, G., Alkan, A., Özdemir, Y., Van yöresi tarihi su yapıları. *5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*. 2015. 1-3 Ekim 2015, Erzurum. 251-260.
- Jansen, R.B., 1980. *Dams and Public Safety*. Departamento of Interior-Bereau of Reclamation, Denver.
- Kalafat, D., 2012. 23 October 2011 Van Earthquake (MW=7.2) in Turkey and seismological aspects. *Proceedings of the 65th Geological Congress of Turkey*. 2-6 April 2012, Ankara. 19.
- Karaman, K., Kesimal, A., 2012. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı tahmininde nokta yükü deney yöntemleri ve porozitenin değerlendirilmesi. *Madencilik*, **51**: 3-14.
- Kartal, R.F., Kadiroğlu, F.T., Türkoğlu, M., Kaplan, M., Yanık, K., Zünbül, S., Kılıç, T., Demir, M., İde, A., Karaağaç, D., 2012. Evaluation of aftershock activity of Van earthquake, September, 23, 2011. *Proceedings of the 65th Geological Congress of Turkey*. 2-6 April 2012, Ankara. 21.
- Keskin, M., Pearce, A.J., Mitchell, J.G., 1998. Volcano-stratigraphy and geochemistry of collision-related volcanism on the Erzurum-Kars Plateau, North Eastern Turkey. *Journal of Volcanology and Jeothermal Research*, **85**: 355-404.
- Ketin, İ., 1977. Van Gölü ile İran sınırı arasındaki bölgede yapılan jeoloji gözlemlerinin sonuçları hakkında kısa bir açıklama. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, **20**: 79-85.
- Koçyiğit, A., 2013. New field and seismic data about the intraplate strike-slip deformation in Van region, East Anatolian plateau, E. Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, **62**: 586-605.
- Koçyiğit, A., Beyhan, A., 1998. A new intracontinental transcurrent structure: the Central Anatolian Fault Zone, Turkey. *Tectonophysics*, **284**: 317-336.
- Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, S., Kuloshvili, S., 2001. Neotectonic of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: implication for transition from thrusting to strike-slip faulting. *Geodinamica Acta*, **14**: 177-195.

- KOERİ, 2011. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü 2011-2012, İstanbul. (<http://www.koeri.boun.edu.tr/scripts/Ist5.asp>).
- Litt, T., Krastel, S., Örcen, S., Karabıyıkoglu, M., 2007. Lake Van drilling project: a long continental record in Eastern Turkey. *Scientific Drilling*, **4**: 40-41.
- Mays, L., 2010. *Ancient Water Technologies*. Springer, Netherlands. 280.
- Okay, A.I., Zattin, M., Cavazza, W., 2010. Apatite fission-track data for the Miocene Arabia-Eurasia collision. *Geology*, **38**: 35-38.
- Orhan, A.H., Özdemir, T., Eydurhan, E., 2006. Urartian water constructions and hydraulics. *Journal of Applied Science Research*, **2**: 346-354.
- Öğün, B., 1970. *Van'da Urartu Sulama Tesisleri ve Şamran (Semiramis) Kanalı*. Ankara Üniversitesi Arkeoloji Fakültesi yayınları, Ankara. 51.
- Örgülü, G., Aktar, M., Türkelli, N., Sandvol, E., Barazangi, M., 2003. Contribution to the seismotectonics of Eastern Turkey from moderate and small size events. *Geophysical Research Letters*, **30**: 1-4.
- Öziş, Ü., 1981. Anadolu'da su kaynaklarının geliştirilmesinin dünü, bugünü, yarını. *İzmir Ege Üniversitesi İnşaat Fakültesi Dergisi, Atatürk'ün 100. Doğum yılı özel sayısı*: 411-450.
- Öziş, Ü., 1984. *Su Mühendisliği Tarihi Açısından Anadolu'daki eski su yapıları*. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları, İzmir. 149.
- Öziş, Ü., 1999. *Historical Dams in Turkey*. State Hydraulic Works, Ankara. 100.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Bozkurt, E., Dirik, K., Topal, T., Alan, H., Çağlan, D., 2012. 23 Ekim 2011 Tabanlı-Van depreminin sismik jeomorfoloji ve Doğu Anadolu'daki aktif tektonik yapılarla olan ilişkisi. *JMO Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, **35**: 175-199.
- Perinçek, D., 1979. *Hazro-Korudağ-Çüngüş-Maden-Ergani-Hazar-Elazığ-Malatya Alanının Jeolojisi*. Türkiye Jeoloji Kurumu yayını, Ankara. 33.
- Rahn, P.H. 1986. *Engineering Geology: An Environmental Approach*. Elsevier, Michigan. 589.
- Saydamer, M., 1976. *İran Sınırı Boyunca Yapılan Jeolojik Çalışmanın Nihai Raporu*. MTA Raporu, No: 5622, Ankara (yayınlanmamış).
- Schnitter, N., 1979. *Antike Talsperren in Anatolien*. Technische Universität Leichtweiss Institut für Wasserbau, Braunschweig. 64.
- Schnitter, N., 1994. *A History of Dams*. Balkema, Rotterdam. 266.
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Koçak, D., Altınok, Y., 1981. *Historical Earthquake Catalogue of Turkey and Surrounding Area (2100 B.C.-1900 A.D.)*. Tübitak technical report, No: TBAG-341, Ankara.
- Sönmez, H., Osman, B., 2008. Kaya malzemesinin dayanımının belirlenmesinde nokta yükü dayanım indeksinin sınırlamaları ve yeni bir yaklaşım. *61. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildirileri*. 24-28 Mart 2008, Ankara. 56.
- Sümengen, M., 2008. *1:100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Başkale K-51 Paftası*. MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Şaroğlu, F., Yılmaz, G., Erdoğan, R., 1984. Horasan- Narman depreminin jeolojik özelliği ve Doğu Anadolu'da depreme yönelik çalışmaların gerekliliği. *Kuzeydoğu Anadolu I. Ulusal Deprem Sempozyumu Bildirileri*. 16-19 Mayıs 1984, Erzurum. 349-360.
- Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., 1986. Doğu Anadolu'da neotektonik dönemdeki jeolojik evrim ve havza modelleri. *MTA Dergisi*, **107**: 73-94.

- Şenel, M., Acarlar, M., Çakmakçoğlu, A., Dağ, Z., Erkanol, O., Örence, S., Taşkıran, M.A., Ulu, Ü., Ünal, M.F., Yıldırım, H., 1984. **Özalp (Van)-İran Sınırı Arasındaki Alanın Jeolojisi**. MTA Raporu, No: 7623, Ankara (yayınlanmamış).
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. **Strike-slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation** (Editör: K.T. Biddle, N. Christie-Blick). Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, USA. 227-264.
- Şengör, A.M.C., Kidd, W.S.F., 1979. The post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian Plateau and a comparison with Tibet. **Tectonophysics**, **55**: 361-376.
- Şengör, A.M.C., Özeren, S., Genç, T., Zor, E., 2003. East Anatolian high plateau as a mantle supported, north-south shortened domal structure. **Geophysical Research Letters**, **30**: 1-4.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. **Tectonophysics**, **75**:181-241.
- Tan, O.M., Tapırdamaz, M.C., Yörük, A., 2008. The earthquake catalogues for Turkey. **Turkish Journal of Earth Sciences**, **17**: 405-418.
- Tchalenko, J.S., 1977. A reconnaissance of the seismicity and tectonics at northern border of the Arabian plate (Lake Van region). **Revue de Geologie Dynamique et de Geographie Physique**, **19**: 189-208.
- Ternek, Z., 1953. Van Gölü güneydoğu bölgesinin jeolojisi. **TJK Bülteni**, **4**:2.
- Topuz, G., Candan, O., Zack, T., Yılmaz, A., 2017. East Anatolian plateau constructed over a continental basement: no evidence for the East Anatolian accretionary complex. **Geology**, **45**: 791-794.
- Tüysüz, N., Erler, A., 1995. Geology and geotectonic implications of Kazıkkaya area, Kağızman (Kars) Turkey. **Proceedings of the International Symposium on the Geology of the Black Sea Region**. 7-11 September 1995, Ankara. 76-81.
- Üner, S., Yeşilova, Ç., Yakupoğlu, T., Üner, T., 2010. Pekişmemiş sedimanlarda depremlerle oluşan deformasyon yapıları (sismitler): Van Gölü Havzası, Doğu Anadolu. **Yerbilimleri**, **31**: 53-66.
- Yılmaz, Y., 1993. New evidence and model on the evolution of the Southeast Anatolia Orogen. **Geological Society of America Bulletin**, **105**: 251-271.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genç, Ş.C., Şengör, A.M.C., 1997. Geology and tectonic evolution of the Pontides. **American Association of Petroleum Geologists Memoir**, **68**: 183-226.
- Yılmaz, A., Yılmaz, H., Kaya, C., ve Boztuğ, D., 2010. The nature of the crustal structure of the Eastern Anatolian Plateau, Turkey. **Geodinamica Acta**, **23**: 167-183.

ÖZ GEÇMİŞ

Nilay GÜLYÜZ, 1988 yılında Ankara’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ankara Yenimahalle Atatürk İlköğretim Okulu’nda tamamlamıştır. Lise öğrenimini, Ankara Bahçelievler Cumhuriyet Anadolu Lisesi’nde 5.0/5.0 ortalama ile 2006 yılında birincilikle bitirmiştir. Aynı yıl, Ankara Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitimine başlamıştır. Birinci sınıf sonrası bölüm birincisi olan yazar, Brezilyalı petrol şirketi PETROBRAS’dan üstün başarı bursu almaya hak kazanmış ve lisans eğitimi boyunca bu bursu almıştır. Aynı yıl ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü’de Geoteknik Anabilim Dalı’nda yandal eğitime başlamıştır. İkinci sınıf sonrası SRK Danışmanlık Türkiye şirketinde ilk yaz stajına başlamış ve şirket talebi üzerine lisans eğitimi bitene kadar şirkette yarı zamanlı asistan jeolog konumunda çalışmıştır. Yazar 2011 yılında lisans eğitiminden 3.46/4.0 ortalama ile bölüm ikincisi olarak mezun olmuştur. Yazarın Prof. Dr. Tamer Topal danışmanlığında hazırladığı lisans bitirme tezi “Kemal Erguvanlı Mühendislik Jeolojisi” ödülüne layık görülmüştür. 2011 yılı Eylül ayında ODTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisansa başlamıştır. Mezuniyetinden sonra 1 yıl süre ile uluslararası SRK Danışmanlık Türkiye şirketinde ÇED ve arama jeoloğu olarak çalışmıştır. Yazar, 2012 yılı Eylül ayında ODTÜ’deki yüksek lisans eğitimini yarıda bırakıp, İskoçya’nın Strathclyde Üniversitesi’nde İnşaat ve Çevre Mühendisliği Bölümü’nden fakülte bursu kazanarak bölümün Yerbilimleri Anabilim Dalı’nda doğrudan doktora eğitimine başlamıştır. Yazar, 15 ay İskoçya’da doktorası için gerekli olan dersleri aldıktan ve öğretim asistanı olarak çalıştıktan sonra doktora arazi çalışmaları ve tez yazım aşaması için Türkiye’ye dönmüştür. 2014 yılı Temmuz ayında YÖK ÖYP programını kazanarak Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi (YYÜ) Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak işe başlamış ve hemen ardından zorunlu doğum iznine ayrılmıştır. 2015 Nisan ayında işe geri başlayan yazar, 2015 yılı Eylül ayında aynı bölümün Uygulamalı Jeoloji Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Yazar, 2017 yılı Eylül ayında yurtdışındaki doktora eğitimini tamamlamıştır. Halen, Van YYÜ’de araştırma görevlisi olarak çalışmaya devam etmektedir. Yazar evli bir erkek çocuk annesidir.

T.C
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 06/08/2018

Tez Başlığı / Konusu:

“Tuşba, Van Bölgesindeki Antik Su Yapılarının Jeo-Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi”

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 46 sayfalık kısmına ilişkin, 06/08/2018 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 1 (yüzde bir) dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelmeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

06.08.2018

N. Gülyüz

Adı Soyadı: Nilay GÜLYÜZ

Öğrenci No: 159101060

Anabilim Dalı: Jeoloji Mühendisliği

Programı: Uygulamalı Jeoloji

Statüsü: Y. Lisans

Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR

L. Selçuk

Doç. Dr. Levent SELÇUK

ENSTİTÜ ONAYI
UYGUNDUR

Prof. Dr. Suat SENSÖY
 Enstitü Müdürü

Suat Sensöy