



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



DOKTORA TEZİ

**ERCİŞ-ÇALDIRAN-MURADIYE (VAN) BÖLGESİNİN
HİDROJEOLojİK VE JEOTERMAL İNCELENMESİ**

Hacer DÜZEN

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Hayrettin KORAL**

**II. DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Rüstem PEHLİVAN**

Mayıs, 2017

İSTANBUL

20.04.2016 tarihli resmi gazetede yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi'nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 36796 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda "Erciş-Çaldıran-Muradiye (Van) Bölgesinin Hidrojeolojik ve Jeotermal İncelenmesi" başlıklı doktora tezi olarak hazırlanmıştır. Bu tez, TÜBİTAK BİDEB (Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı) 2211-C Yurtiçi Öncelikli Alanlar Doktora Burs Programı kapsamında verilen doktora bursuyla ve İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 36796 numaralı projesi ile desteklenmiştir. Öncelikle vermiş olduğu burs desteği için TÜBİTAK BİDEB (Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı)'na ve proje desteği için İstanbul Üniversitesi araştırma fonuna teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım süresince, tez izleme komitemde yer alarak bilgi ve deneyimlerini aktaran ve tezimin ikinci aşamasında tezime danışmanlık yaparak jeolojik çalışmalar başta olmak üzere tüm çalışmalarımın titizlik ve hassasiyetle gerçekleşmesini sağlayan danışman hocam Prof.Dr. Hayrettin KORAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Özellikle su kimyası ile ilgili çalışmalarımda yol gösterici olan, düzenli ve hassas çalışma şekliyle örnek olan, bilgi ve tecrübelerini paylaşarak tezimi yönlendiren II. Danışman hocam Yrd.Doç.Dr. Rüstem PEHLİVAN'a çok teşekkür ederim. Ayrıca, tez konusu ve çalışma alanının seçiminde fikir veren ve arazi çalışmalarım esnasındaki yardımlarından dolayı ilk danışmanıma da teşekkürlerimi sunarım.

Tezin her aşamasında görüş ve önerilerini aldığım, hiçbir zaman yardım ve katkılarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Doç.Dr. Nurullah HANİLÇİ'ye (İÜ); teşekkürü bir borç bilirim.

Tezimin ilk aşamasında ve ikinci aşamasında tez izleme komitemde yer alan hocalarım Doç.Dr. Mehmet Akif SARIKAYA (İTÜ), Prof.Dr. Murat BUDAKOĞLU (İTÜ) ve Prof. Dr. Hakan HOŞGÖRMEZ (İÜ)'e ve tez savunma sınav jürimde yer alan Doç.Dr.Serdar AYDIN (İÜ)'a öneri ve katkılarıyla vermiş oldukları destekten dolayı teşekkür ederim.

Tezimdeki sıcak su kaynakları ile ilgili değerlendirmeler başta olmak üzere, tezimin su kimyası bölümünün şekillenmesinde ve yorumlanmasında büyük emeği olan, kendisi ile tanıştığım çok memnun olduğum ve ileride yeni çalışmalarda da birlikte çalışabilmeyi ümit ettiğim sayın hocam Doç.Dr. Ali BÜLBÜL (PAÜ)'e bilimsel katkılarından dolayı ayrıca teşekkür ederim.

Ön değerlendirme çalışmalarım esnasında; çalışma alanı ile ilgili önceden yapmış oldukları çalışmalar sonucu kazandıkları deneyimlerini paylaşan eski İller Bankası İçme Suyu Etüt Şube Müdürü Dr. Yaşar ÇAKIR'a, Prof.Dr. Sema AĞAOĞLU'na (YYÜ) ve Yrd.Doç.Dr. Vural OYAN'a (YYÜ), çalışma alanındaki soğuk su kaynaklarının konumu ve sağlık açısından tehdit oluşturabilecek suların incelenmesi konusunda izlenimlerini paylaşan Van Halk Sağlığı Çevre ve Çalışan Sağlığı Şube müdürü İlhami İLCİ ve Van Halk Sağlığı Müdürlüğü Çevre laboratuvarı çalışanlarından Orhan DURSUN'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, ön değerlendirme çalışmaları kapsamında Çaldıran ilçesi

Ayrancılar sıcak su kaynağı ile ilgili izlenimlerini paylaşan Çaldıran Jeotermal Anonim Şirketi Yönetim Kurulu Başkanı Veli AKDAĞ'a teşekkür ederim. DSİ tarafından bölgede yapılmış çalışmalar hakkında bilgiler veren DSİ Genel Müdürlüğü'nde görevli arkadaşım Jeoloji Yüksek Mühendisi Merve İŞLEK'e, DSİ Genel Müdürlüğü Etüt, Planlama ve Tahsisler Dairesi Başkanlığı Hidroloji Şube Müdürü Miktat YAVUZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Tezde kullanılan bazı bilgisayar programları hakkında yardımlarını esirgemeyen Jeoloji Yüksek Mühendisi Muhittin KARAMAN (İTÜ) ve Doç. Dr. Namık AYSAL'a (İÜ) sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Erciş, Çaldıran ve Muradiye halkına, Anadolu insanının samimiyetini, insancıl yönünü ve misafirperverliğini yeniden görmeme vesile olan o güzel insanlara, hemşehrilerime en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ve teşekkürün en büyüğü aileme... Her zaman maddi ve manevi desteğiyle yanımda olan, hayatımda elde ettiğim tüm başarılarımın ortağı, eğitim hayatım boyunca beni her konuda yüreklendiren canım annem İlknur DÜZEN'e; sabırlı duruşunu örnek aldığım, maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan, arazi çalışmalarım esnasında da beni yalnız bırakmayan canım babam Mustafa DÜZEN'e; motivasyonumun düşük olduğu zamanlarda beni destekleyen ve gönüllendiren, her zaman varlıklarını hissettiren kardeşlerim Eren DÜZEN ve Sümeyye DÜZEN'e çok teşekkür ederim.

İyi ki varsınız...

Mayıs 2017

Hacer DÜZEN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
TABLO LİSTESİ	xvii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xxi
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY	xxvii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. AMAÇ VE KAPSAM	2
1.2. ÇALIŞMA ALANININ YERİ	4
2. GENEL KISIMLAR	6
2.1. İNCELEME ALANININ TANITIMI	6
2.1.1. Morfoloji	6
2.1.2. Akarsular	7
2.1.3. İklim ve Bitki Örtüsü	8
2.1.4. Tarım ve Hayvancılık.....	8
2.1.5. Nüfus ve Yerleşme.....	8
2.1.6. Ulaşım	9
2.2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	9
2.2.1. İnceleme Alanı ve Çevresinde Yapılan Jeolojik Çalışmalar.....	9
2.2.2. İnceleme Alanı ve Çevresinde Araştırma Konusu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	15
3. MALZEME VE YÖNTEM	23
3.1. BÜRO ÇALIŞMALARI.....	23
3.2. ARAZİ ÇALIŞMALARI.....	23
3.3. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI.....	26
4. BULGULAR	27
4.1. JEOLojİ	27
4.1.1. İnceleme alanının batısının stratigrafisi	28

4.1.1.1. Mehmetkaya granitoyidi (Kmg)	29
4.1.1.2. Gergili ofiyolitik melanji (Kgo)	29
4.1.1.3. Eşengöl flişi (Tee).....	29
4.1.1.4. Adilcevaz kireçtaşları (Tma)	30
4.1.1.5. Kızıldere Formasyonu (Tmk)	32
4.1.1.6. Yörelî Formasyonu (Tmy)	33
4.1.1.7. Beyüzümü Formasyonu (Tplb)	33
4.1.1.8. Orta Miyosen-Üst Miyosen Aladağ volkanitleri (Tmab, Tmar, Tmaa)	34
4.1.1.9. Üst Miyosen Ağırkaya volkanitleri (Tmav)	36
4.1.1.10. Alt Pliyosen Erciş plato bazaltları (Tplepb)	37
4.1.1.11. Bayramlı Formasyonu (PlQb).....	37
4.1.1.12. Meydan volkaniti (QMv)	38
4.1.1.13. Girekol volkaniti (Qgv)	39
4.1.1.14. Kuvaterner yaşlı alüvyon (Qal).....	40
4.1.2. İnceleme alanının doğusunun stratigrafisi	40
4.1.2.1. Tepedam metamorfikleri (Pzt)	41
4.1.2.2. Kazlıgöl Formasyonu (Pzk).....	42
4.1.2.3. Yamanyurt Formasyonu (Pzy).....	42
4.1.2.4. Yüksekova Karmaşığı	43
4.1.2.5. Toprakkale Formasyonu (Tpt)	46
4.1.2.6. Eşengöl flişi (Tee).....	46
4.1.2.7. Van Formasyonu (Tov).....	47
4.1.2.8. Adilcevaz kireçtaşları (Tma)	47
4.1.2.9. Orta Miyosen Alikelle Dasiti (Tmad).....	48
4.1.2.10. Alt Pliyosen Muradiye plato bazaltları (Tplmpb)	48
4.1.2.11. Alt Pliyosen Etrüsk volkanitleri (Tplev)	49
4.1.2.12. Alt Pliyosen Kösedag volkanitleri (Tplkv)	49
4.1.2.13. Alt Pliyosen Argıt Volkaniti (Tpla).....	49
4.1.2.14. Ağartı Formasyonu (Tplag)	50
4.1.2.15. Saray Formasyonu (PlQs).....	50
4.1.2.16. Bayramlı Formasyonu (PlQb).....	50
4.1.2.17. Alaköy Formasyonu (PlQa)	50
4.1.2.18. Pirreşit volkaniti (PlQpv).....	51
4.1.2.19. Tendürek volkanitleri (QTv).....	51

4.1.2.20. Bendimahi tefrit (Qbt)	54
4.1.2.21. Kuvaterner yaşlı alüvyon (Qal)	55
4.1.3. Yapısal Jeoloji	56
4.1.3.1. Faylar	56
4.1.3.2. Kırık ve Çatlaklar	57
4.1.4. Bölgesel Tektonik	58
4.1.4.1. Çalışma Alanı ve Yakın Çevresinin Neotektoniği	58
4.1.4.2. Çalışma Alanının Depremselliği	60
4.1.5. Jeolojik Evrim	62
4.2. HİDROLOJİ	65
4.2.1. Havza Karakteristiklerinin Belirlenmesi	65
4.2.1.1. Su Akış Yönünün Belirlenmesi	65
4.2.1.2. Drenaj Ağlarının Belirlenmesi	66
4.2.2. Su Noktaları	67
4.2.2.1. Akarsular	67
4.2.2.2. Göller ve barajlar	69
4.2.2.3. Kuyular	71
4.2.2.4. Soğuk Su Kaynakları	73
4.2.2.5. Sıcak su kaynakları	74
4.2.2.6. Sulak Alanlar	83
4.2.3. Meteorolojik Verilerin Değerlendirilmesi	84
4.2.3.1. Yağış	85
4.2.3.2. Akım	94
4.2.3.3. Sıcaklık	105
4.2.3.4. Buharlaştırma	111
4.2.3.5. Su Bütçesi	114
4.3. HİDROJEOLOJİ	118
4.3.1. Hidrojeolojik Birimler	118
4.3.1.1. Geçirimli Birimler	119
4.3.1.2. Yarı Geçirimli Birimler	119
4.3.1.3. Az Geçirimli Birimler	119
4.3.1.4. Geçirimsiz Birimler	120
4.3.2. Litoloji-Hidrojeoloji İlişkisi	125
4.3.2.1. Erciş Litoloji-Hidrojeoloji İlişkisi	125

4.3.2.2. <i>Muradiye ve Çaldıran Litoloji-Hidrojeoloji İlişkisi</i>	126
4.3.3. Jeofizik Araştırmalar ve Jeofizik-Hidrojeoloji İlişkisi.....	128
4.3.3.1. <i>Erciş Jeofizik - Hidrojeoloji İlişkisi</i>	129
4.3.3.2. <i>Çaldıran Jeofizik - Hidrojeoloji İlişkisi</i>	134
4.3.4. Yeraltısu Seviye Gözlemleri	140
4.4. SU KİMYASI	142
4.4.1. Suların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	142
4.4.2. Hidrojeokimyasal Fasiyesler	147
4.4.2.1. <i>Toplam Anyon ve Katyon Yüzdelерinin Hesaplanması</i>	148
4.4.2.2. <i>Suların Piper ve Schoeller Diyagramına Göre Sınıflaması</i>	151
4.4.3. İyon Değişimi ve Çözünmüş İyonlar Arasındaki İlişkiler	160
4.4.3.1. <i>İyon Değişimi</i>	160
4.4.3.2. <i>Çözünmüş İyonlar Arasındaki İlişkiler</i>	164
4.4.4. Sıcak Suların Hazne Kaya Sıcaklıklarının Tahmini	176
4.4.4.1. <i>Kimyasal Jeotermometre Uygulamaları</i>	176
4.4.4.2. <i>Yükselen Suyun Soğuması</i>	189
4.4.4.3. <i>Karışım Modelleri</i>	189
4.4.4.4. <i>Birleşik (Kombine) Jeotermometre Uygulamaları</i>	191
4.4.4.5. <i>Hazne Kaya Sıcaklık Tahminlerinin Değerlendirilmesi</i>	193
4.4.5. Litoloji-Su Kimyası İlişkisi.....	195
4.4.5.1. <i>Zilan Havzası (Erciş) Soğuk ve Sıcak Su Kaynaklarında Litoloji-Su Kimyası İlişkisi</i>	198
4.4.5.2. <i>Bendimahi Havzası (Muradiye - Çaldıran) Soğuk ve Sıcak Su Kaynakları ile Kuyu Sularında Litoloji-Su Kimyası İlişkisi</i>	203
4.4.6. Suların İçilebilirliği ve Kullanımı	219
4.4.6.1. <i>İnceleme Alanındaki Soğuk Su Kaynakları ve Kuyu Sularının İçilebilirliğini Etkileyen Faktörler</i>	221
4.4.6.2. <i>İnceleme Alanındaki Suların Tarımsal Sulamada Kullanılabilirliğini Etkileyen Faktörler</i>	235
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	245
5.1. İNCELEME ALANININ JEOLojİSİ İLE İLGİLİ SONUÇLAR	245
5.2. İNCELEME ALANININ HİDROLOJİSİ İLE İLGİLİ SONUÇLAR.....	246
5.3. İNCELEME ALANININ HİDROJEOLojİSİ İLE İLGİLİ SONUÇLAR.....	250
5.4. SU KİMYASI SONUÇLARI	253
5.5. SONUÇLARIN GENEL DEĞERLENDİRMESİ VE TARTIŞMA	269
KAYNAKLAR	273

EKLER.....	285
EK 1. ERCİŞ-ÇALDIRAN-MURADIYE BÖLGESİNİN JEOLojİ HARİTASI VE JEOLojİK KESİTLER.....	285
EK 2. İNCELEME ALANINDA DSİ TARAFINDAN AÇILMIŞ SONDAJ KUYUSU LOGLARI.....	286
EK 3. ERCİŞ VE ÇALDIRAN'DA DSİ TARAFINDAN GERÇEKLEŞTİRİLMİŞ DÜŞEY ELEKTRİKSEL SONDAJLARA AİT BİLGİLER.....	295
EK 4. SU KİMYASI ÇALIŞMALARI KAPSAMINDA BAZI İYONLAR ARASINDAKİ İLİŞKİYİ GÖSTEREN GRAFİKLER.....	297
ÖZGEÇMİŞ.....	299

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

- Şekil 1.1:** İnceleme alanının yer bulduru haritası. A) İnceleme alanı ve yakın çevresinin Türkiye haritasındaki konumu. B) İnceleme alanının Van Gölü hazasındaki konumu. C) İnceleme alanının 3 boyutlu yakın görünümü.....5
- Şekil 2.1:** İnceleme alanının sayısal yükseklik modeli.....6
- Şekil 2.2:** İnceleme alanı yükselti haritası. 7
- Şekil 2.3:** Ayrancılar (Çaldıran) jeotermal sahasındaki en küçük rezistivite değerleri kullanılarak hazırlanan harita (MTA, 2003). 18
- Şekil 3.1:** Ayrancılar sıcak su kaynağında GPS cihazı ile koordinat alımı. 24
- Şekil 3.2:** Hach Lange marka multiprob cihazı. 25
- Şekil 3.3:** Erciş-Yukarıışıklı kaynağından örnek alımı.....25
- Şekil 4.1:** İnceleme alanının jeoloji haritası. 28
- Şekil 4.2:** İnceleme alanının batısı ve doğusunun jeolojisini gösteren A-A' ve B-B' jeolojik kesitleri.....31
- Şekil 4.3:** İnceleme alanının batısına ait genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesit. 32
- Şekil 4.4:** Yörelî Formasyonu ile Adilcevaz kireçtaşı dokanağı (Bakış yönü: Kuzey; Erciş ilçesi Yukarıışıklı köyü mevki).....34
- Şekil 4.5:** Kızıldere Formasyonu ve bu formasyonu kesen mostra ölçekli fayın görünümü (Bakış yönü: Kuzey, Erciş ilçesi Zilan Nehri kuzeybatısı). 35
- Şekil 4.6:** Yörelî Formasyonu ve Aladağ Volkanitleri (Bakış yönü: Kuzey; Erciş ilçesinin 21 km kuzeyi, Hasanabdal Köyü güneyi, Zilan Çayı'nın kuzey bölümü). 36
- Şekil 4.7:** Aladağ volkanitlerine ait birimler (Bakış yönü: Kuzey, Erciş ilçesi Zilan Çayı doğusu). 38
- Şekil 4.8:** Meydan volkanının jeoloji, jeomorfoloji haritası (Özgür (1993); Bigazzi ve diğ. ,1997). 1: Güncel alüvyon (Pleyistosen), 2: Alüvyon (Holosen), 3: Obsidiyen, perlit, 4: Volkanik piroklastikler (volkan bombası, (apilli, kül), 5: Pumis, 6: Meydan bazaltı, 7: Deveci bazaltı, 8: Topsini bazaltı, 9: Akdağ volkanikleri (bazalt, tuf), 10: Dasitik lav, aglomera, tuf, 11: Kaldera, 12:

Volkan domu, 13: Volkan konisi, 14: Krater, 15: Lav akıntısı, 16: Lav püskürme merkezi, 17: Normal fay, 18: Olası fay.....	39
Şekil 4.9: İnceleme alanının doğusuna ait genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesit.....	43
Şekil 4.10: Tendürek volkanik merkezinin jeoloji haritası 1- Kuvarsit, 2- Mika şist, 3- Mermer, 4- Permien rekristalize kireçtaşı, 5- Ofiyolitik karmaşık (Üst Kretase), 6- Paleosen kireçtaşı, 7- Eosen kireçtaşı, 8- Eosen filiş, 9- Alt Miyosen kumtaşı, konglomera ve kireçtaşı, 10- Aladağ volkanik merkezinin volkanik kayalar, 11- Doğubeyazıt ovası alüvyonu, 12- Bazalt, 13- Trakit, 14- Trakibazalt, 15- Obsidyen, 16- (a) Trakitik lav, (b) beraberindeki akma breşleri ve aglomera, 17- Trakitik lav ve piroklastik kayalar, 18- (a) Bazalt lavı ve (b) beraberindeki curuf çökelleri, 19- Çaldıran ovası alüvyonu, 20- Bazalt, 21- Pümeks döküntü ve akma çökelleri, 22- Kül döküntüsü çökelleri, 23- Trakit, 24- Yalpaze çökelleri (volkanik ve volkanik olmayan), 25- Volkanik koni, 26- Krater, 27- Gaz çıkışı, 28- doğrultu atımlı fay, 29- dairesel fay, 30- Gerilme çatlağı, 31- Akma yönü (Yılmaz ve diğ. 1998'den türkçeleştirilmiştir).....	53
Şekil 4.11: A)Yayladan ayrılmış Tendürek kalkan volkanı (Bakış yönü: GD). Arkada 1500 m yüksekliğindeki volkanı temsil eden hafifçe yükselmiş yamaçlara dikkat ediniz. Solda keskin cürüflü aa lavları ve sağda düz pahoehoe lavları. Her iki lav aynı bazaltik püskürmeden türemiştir. Öndeki Çaldıran ovası alüvyonları yerleşmeden önce, lavlar 10 km'den fazla öteye taşınmıştır. B) Tendürek volkanının batı kraterinin açıldığı huni biçimli krateri ve önde 150 m yükseklikte çıkıntılı profil görüntüsü. Krater 400 m yukarıdadır. Krater duvarı kısmındaki yüzlerce ince ve hafif dalımlı bazaltik lav akıntılarına dikkat ediniz (Yılmaz ve diğ., 1998).....	54
Şekil 4.12: Tendürek bazaltları (Bakış yönü:Kuzey, Tendürek dağı kuzeyi).....	54
Şekil 4.13: Bendimahi çayı boyunca akmış tefrit-bazanit lav akışları (Muradiye Şelalesi, bakış yönü KD).....	55
Şekil 4.14: Van Gölü ve yakın çevresinin aktif tektonik haritası (Koçyiğit ve diğ., 2001; Çağlan ve diğ., 2011) NAFS: Kuzey Anadolu Fay Sistemi.	60
Şekil 4.15: Van depremsellik haritası (TC. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı, 2012).....	61
Şekil 4.16: 1900-2016 zaman aralığında gerçekleşen ($4 \leq M < 8$) depremler (deprem.gov.tr/deprem katalogu, 2016). Göz hizası : 31 km, Uydu görüntü tarihi: 4.10.2013.	61
Şekil 4.17: Türkiye ve yakın çevresinin neotektonik sınıflamasını gösteren yalınlaştırılmış neotektonik haritası (deprem.gov.tr, Afet Bilgi Sistemi Komisyonu Raporu (2011), AFAD (2011b)).....	63
Şekil 4.18: Su akış yönleri haritası.	66
Şekil 4.19: İnceleme alanı drenaj ağı haritası.	67

Şekil 4.20: İnceleme alanındaki yüzeysel drenaj alanları.....	68
Şekil 4.21: Muradiye Şelalesi (Bakış Yönü: KD, Bendimahı Çayı Akış Yönü: GB ...)	69
Şekil 4.22: İnceleme alanı Muradiye ilçesindeki kuyular.	75
Şekil 4.23: İnceleme alanı Çaldıran ilçesindeki kuyular.	76
Şekil 4.24: İnceleme alanındaki soğuk su kaynakları.....	80
Şekil 4.25: Hasanabdal sıcak su kaynağı.	81
Şekil 4.26: İnceleme alanındaki sıcak su kaynakları.	82
Şekil 4.27: İnceleme alanı hidroloji haritası.	83
Şekil 4.28: İnceleme alanı veyakın çevresine ait hidrolojik gözlem ağı haritası.....	84
Şekil 4.29: İnceleme alanı ve yakın çevresine ait yağış-yükseklik ilişkisi.....	86
Şekil 4.30: İnceleme alanı ve yakın çevresinde bulunan yağış gözlem istasyonlarına ait gözlem süresi grafiği.	89
Şekil 4.31: 1960-2012 zaman aralığında inceleme alanı ve yakın çevresine ait eş yağış eğrisi haritası.....	90
Şekil 4.32: 1960-2012 zaman aralığında devlet meteoroloji işleri Erciş istasyonuna ait yıllık ortalama yağıştan eklenik sapma grafiği.	91
Şekil 4.33: 1960-2012 zaman aralığında devlet meteoroloji işleri Muradiye istasyonuna ait yıllık ortalama yağıştan eklenik sapma grafiği.	92
Şekil 4.34: Ortalama aylık toplam yağış miktarının aylara göre değişim grafiği.....	93
Şekil 4.35: İnceleme alanındaki akım gözlem istasyonlarının konumları ve temsil ettikleri drenaj alanları.	94
Şekil 4.36: Akım gözlem istasyonları gözlem süreleri.....	96
Şekil 4.37: Zilan Çayı 1960-2012 zaman aralığı yıllık ortalama akım grafiği.....	102
Şekil 4.38: Deliçay 1960-2012 zaman aralığı yıllık ortalama akım grafiği.	102
Şekil 4.39: Bendimahı deresi 1960-2012 zaman aralığı yıllık ortalama akım grafiği.	103
Şekil 4.40: İnceleme alanında bulunan akım gözlem istasyonlarına ait aylık ortalama akım hidrografi.....	103
Şekil 4.41: Zilan havzası yağış-akım ilişkisi.	104
Şekil 4.42: Bendimahı havzası yağış-akım ilişkisi.	104

Şekil 4.43: İnceleme alanı ve yakın çevresine ait sıcaklık-yükseklik ilişkisi.....	106
Şekil 4.44: İnceleme alanı ve yakın çevresi sıcaklık ölçümü yapılan meteorolojik gözlem istasyonlarına ait gözlem süresi grafiği.	108
Şekil 4.45: 1960-2012 zaman aralığında inceleme alanı ve yakın çevresine ait eş sıcaklık eğrisi haritası.....	109
Şekil 4.46: İnceleme alanı ve yakın çevresi uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklığın zamana bağlı değişim grafiği.	110
Şekil 4.47: Uzun yıllar aylık ortalama sıcaklığın zamana göre değişimi.	111
Şekil 4.48: İnceleme alanı eş buharlaşma - terleme haritası.....	114
Şekil 4.49: İnceleme alanı hidrojeoloji haritası.	125
Şekil 4.50: İnceleme alanındaki DSİ kuyu yerleri.	127
Şekil 4.51: DSİ kuyu logları kullanılarak hazırlanmış inceleme alanına ait litolojik model.....	128
Şekil 4.52: Erciş rezistivite ölçüm lokasyonları.	130
Şekil 4.53: Erciş'te yapılmış rezistivite ölçümlerini gösteren 3 boyutlu jeofizik model.....	131
Şekil 4.54: Erciş'te yapılan rezistivite ölçümlerini gösteren KD-GB doğrultulu dilim diyagram ve dilim doğrultularını gösteren harita.	132
Şekil 4.55: Erciş'te yapılan rezistivite ölçümlerini gösteren K-G doğrultulu dilim diyagram ve dilim doğrultularını gösteren harita.....	133
Şekil 4.56: Çaldıran düşey elektriksel sondajlardan elde edilen litolojik model.....	134
Şekil 4.57: Çaldıran'da yapılan rezistivite ölçümleri sonucu elde edilen litolojik dağılım diyagramı.	135
Şekil 4.58: Çaldıran rezistivite ölçüm lokasyonları.....	136
Şekil 4.59: Çaldıran'da yapılan rezistivite ölçümlerini gösteren jeofizik model.	137
Şekil 4.60: Çaldıran'da yapılan rezistivite ölçümlerini gösteren KD-GB doğrultulu dilim diyagramlar.....	138
Şekil 4.61: Çaldıran'da yapılan rezistivite ölçümlerini gösteren K-G doğrultulu dilim diyagramlar.....	139
Şekil 4.62: İnceleme alanı yeraltısuyu seviye haritası ve akım yönleri.....	141
Şekil 4.63: Zilan Havzası soğuk ve sıcak su kaynaklarının pH dağılım grafiği.....	144

Şekil 4.64: Zilan Havzası soğuk ve sıcak su kaynaklarının EC değişimi grafiği.	144
Şekil 4.65: Bendimahi Havzası soğuk ve sıcak su kaynakları ile kuyu sularının pH değişimlerini gösterir diyagram.	145
Şekil 4.66: Bendimahi Havzası soğuk ve sıcak su kaynakları ile kuyu sularının EC değişim grafiği.	145
Şekil 4.67: İnceleme alanının jeoloji ve örnek lokasyon haritası.	146
Şekil 4.68: Su örneklerindeki ana iyonların yüzde (%) dağılım haritası.	150
Şekil 4.69: Erciş (A), Muradiye (B) ve Çaldıran (C)'a ait soğuk ve sıcak su kaynakları ile kuyu sularının yakın plan ana iyon yüzde (%) dağılım haritası.	151
Şekil 4.70: Piper (1944) Diyagramı.	152
Şekil 4.71: Zilan Havzası'na (Erciş) ait soğuk ve sıcak su kaynaklarının Piper Diyagramındaki konumları.	154
Şekil 4.72: Bendimahi (Muradiye-Çaldıran) Havzası'na ait soğuk ve sıcak su kaynakları ile kuyu sularının Piper Diyagramındaki konumu.	155
Şekil 4.73: Zilan Havzasındaki hidrojeokimyasal fasiyeslerin alansal dağılımı.	156
Şekil 4.74: Bendimahi Havzasındaki hidrojeokimyasal fasiyeslerin alansal dağılımı.	157
Şekil 4.75: Zilan Havzası (Erciş) soğuk ve sıcak su kaynaklarının yarı logaritmik Schoeller Diyagramı.	158
Şekil 4.76: Bendimahi Havzası (Muradiye-Çaldıran) soğuk ve sıcak su kaynakları ile kuyu sularının yarı logaritmik Schoeller Diyagramı.	159
Şekil 4.77: Bendimahi Havzası soğuk su kaynakları ve kuyu sularına ait (Ca+Mg) - (HCO ₃ +SO ₄) diyagramı.	163
Şekil 4.78: Bendimahi Havzası soğuk su kaynakları ve kuyu sularındaki Cl +SO ₄ - Na+K ilişkisi.	170
Şekil 4.79: Bendimahi Havzası soğuk su kaynakları ve kuyu sularındaki Br - Cl ilişkisi.	170
Şekil 4.80: Bendimahi havzasındaki sıcak sularda F -Li ilişkisi.	174
Şekil 4.81: 114 ve 115 nolu sıcak su kaynakları için silika-entalpi modeli.	191
Şekil 4.82: Na-K-Mg birleşik jeotermometresi (Giggenbach, 1988).	193
Şekil 4.83: Zilan havzası kuzeyinde yer alan soğuk ve sıcak su kaynakları.	201
Şekil 4.84: Zilan havzası güneyinde yer alan soğuk su kaynakları.	202

Şekil 4.85: Muradiye ilçesinde yer alan soğuk su kaynakları ve kuyu suları.....	205
Şekil 4.86: Çaldıran ilçesinde yer alan soğuk ve sıcak su kaynakları ile kuyu sularının konumları.	208
Şekil 4.87: Zilan ve Bendimahi havzalarından alınan soğuk su ve kuyu sularına ait Wilcox diyagramı (Wilcox, 1948).	237
Şekil 4.88: Zilan ve Bendimahi havzasından alınan soğuk su ve kuyu sularının tuzluluk ve sodyum tehlikesine göre derecelendirmesi (ABD Tuzluluk Laboratuvarı, 1954).....	239
Şekil 4.89: İnceleme alanındaki soğuk su kaynakları ve kuyu sularına ait Doneen permeabilite indeksi diyagramı.	242
Şekil 5.1: İnceleme alanına ait hidrojeolojik kavramsal model (Düşey ölçek takribi ölçektir).	269

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1: İnceleme alanındaki sürekli akarsulara ait bilgiler.	69
Tablo 4.2: İnceleme alanındaki göllere ait bilgiler.	70
Tablo 4.3: Koçköprü Barajına ait bilgiler (DSİ, 2013).	71
Tablo 4.4: Morgedik Barajına ait bilgiler (DSİ, 2013).	71
Tablo 4.5: İnceleme alanında DSİ tarafından açılmış kuyulara ait bilgiler (DSİ, 1977).	72
Tablo 4.6: İnceleme alanında vatandaşlar tarafından açılmış kuyulara ait bilgiler.....	73
Tablo 4.7: DSİ tarafından debi ölçümü yapılan ve boşalım yaptığı birimleri belirlenen kaynaklar (DSİ, 1977).	77
Tablo 4.8: Bu çalışma kapsamında incelenen soğuk su kaynaklarına ait bilgiler.....	79
Tablo 4.9: İnceleme alanındaki sıcak su kaynaklarına ait bilgiler.	81
Tablo 4.10: İnceleme alanı ve yakın çevresindeki yağış gözlem istasyonlarına ait bilgiler.	85
Tablo 4.11: Verisi eksik olan ve verisi tam olan meteoroloji gözlem istasyonları kullanılarak oluşturulan regresyon denklemleri ve korelasyon katsayıları.....	88
Tablo 4.12: İnceleme alanı ve yakın çevresindeki meteoroloji gözlem istasyonlarında gözlenen uzun yıllar ortalama aylık toplam yağış.	93
Tablo 4.13: İnceleme alanı ve yakın çevresindeki akım gözlem istasyonlarına ait bilgiler.	95
Tablo 4.14: 1960-2012 zaman aralığında Van Gölü'ne düşen yağışlar ve akım gözlem istasyonu verileri.	99
Tablo 4.15: İnceleme alanındaki havzalara ait yüzeysel akım değerleri ve akış katsayıları.	100
Tablo 4.16: İnceleme alanı ve yakın çevresindeki sıcaklık gözlem istasyonlarına ait bilgiler.	105
Tablo 4.17: Verisi eksik olan ve verisi tam olan sıcaklık gözlem istasyonları kullanılarak oluşturulan regresyon denklemleri ve korelasyon katsayıları.....	107

Tablo 4.18: 1960-2012 zaman aralığında inceleme alanındaki ortalama sıcaklığın aylara göre değişimi.	110
Tablo 4.19: İnceleme alanı ve yakın çevresinde yer alan meteoroloji gözlem istasyonlarında gözlenen aylık toplam ve yıllık toplam açık yüzey buharlaşma miktarları.	112
Tablo 4.20: Havzalar ve inceleme alanı için su bütçesi hesaplama sonuçları.	116
Tablo 4.21: Hidrojeolojik birimler ve özellikleri.	120
Tablo 4.22: DSI tarafından debi ölçümü yapılan kaynaklara ait hidrojeolojik birimler (DSİ, 1977).	121
Tablo 4.23: Yeraltısuyu seviye haritasında kullanılan kuyulara ait bilgiler.	140
Tablo 4.24: Zilan Havzası (Erciş) kaynak sularının fiziksel özellikler ile majör anyon ve katyon konsantrasyonları.	146
Tablo 4.25: Zilan Deresi (Erciş) ve Bendimahi Deresi (Muradiye-Çaldıran) fiziksel özellikler ile majör anyon ve katyon konsantrasyonları.	146
Tablo 4.26: Bendimahi Havzası (Muradiye - Çaldıran) kaynak sularının fiziksel özellikler ile majör anyon ve katyon konsantrasyonları.	147
Tablo 4.27: Bendimahi Havzası (Muradiye - Çaldıran) sıcak su kaynakları ve kuyu sularının fiziksel özellikler ile majör anyon ve katyon konsantrasyonları.	147
Tablo 4.28: Zilan Havzası soğuk ve sıcak su kaynaklarının majör anyon ve katyon konsantrasyonlarına göre su tipleri.	148
Tablo 4.29: Bendimahi Havzası soğuk su kaynaklarının majör anyon ve katyon konsantrasyonlarına göre su tipleri.	149
Tablo 4.30: Bendimahi Havzası sıcak su kaynakları ve kuyu sularının majör anyon ve katyon konsantrasyonlarına göre su tipleri.	149
Tablo 4.31: Piper diyagramındaki 9 bölgenin açıklamaları (Şahinci (1991b); Deniz (2010)).	153
Tablo 4.32: Bu çalışma kapsamında basitleştirilmiş Piper Sınıflaması.	153
Tablo 4.33: Zilan Havzasındaki soğuk su kaynakları ve sıcak su kaynakları için hesaplanan CAI-I ve CAI-II değerleri.	161
Tablo 4.34: Bendimahi Havzasındaki soğuk su kaynakları için hesaplanan CAI-I ve CAI-II değerleri.	162
Tablo 4.35: Bendimahi Havzasındaki kuyu suları ve sıcak su kaynakları için hesaplanan CAI-I ve CAI-II değerleri.	162

Tablo 4.36: Zilan Havzası soğuk su kaynaklarındaki anyon ve katyon oranları (meq/l).....	167
Tablo 4.37: Zilan Havzası sıcak su kaynaklarındaki anyon ve katyon oranları (meq/l).....	168
Tablo 4.38: Bendimahı Havzası soğuk su kaynakları ve kuyu sularındaki anyon ve katyon oranları (meq/l).....	171
Tablo 4.39: Zilan Havzası soğuk su kaynaklarındaki anyon ve katyon korelasyon matrisi.....	172
Tablo 4.40: Bendimahı Havzası soğuk su kaynakları ve kuyu sularındaki anyon ve katyon korelasyon matrisi.	172
Tablo 4.41: Bendimahı Havzası sıcak su kaynaklarındaki anyon ve katyon oranları (meq/l).....	173
Tablo 4.42: Bendimahı Havzası sıcak su kaynaklarındaki iz element ve nadir toprak element içerikleri (µg/l).	175
Tablo 4.43: İnceleme alanındaki sıcak su kaynaklarında suda fazla bulunan elementler.....	179
Tablo 4.44: Akifer sıcaklıklarının tahmin edilmesinde kullanılan kimyasal jeotermometre bağıntıları.....	183
Tablo 4.45: İnceleme alanı sıcak su kaynakları için kimyasal jeotermometrelere göre hesaplanan rezervuar sıcaklıkları.....	183
Tablo 4.46: Şahinci (1991b)'e göre doğal suların iyon bolluk sıralaması - suyun köken kayası ilişkisi.....	198
Tablo 4.47: Örneklerin köken kayacı ve bulunduğu formasyona ait bilgiler.....	199
Tablo 4.48: Zilan Havzası (Erciş) su kaynaklarındaki bazı ağır metal, iz element ve kirlilik parametrelerindeki değişimler.....	222
Tablo 4.49: Bendimahı Havzası (Muradiye - Çaldıran) su kaynaklarındaki bazı ağır metal, iz element ve kirlilik parametrelerindeki değişimler.	223
Tablo 4.50: Bendimahı Havzası (Muradiye - Çaldıran) sıcak su kaynakları ve kuyu sularındaki bazı ağır metal, iz element ve kirlilik parametrelerindeki değişimler.....	224
Tablo 4.51: Zilan Deresi (Erciş) ve Bendimahı Deresi (Muradiye-Çaldıran)'ndeki bazı ağır metal, iz element ve kirlilik parametrelerindeki değişimler.....	224
Tablo 4.52: İçme ve kullanma suyunda bulunan majör anyon ve katyonlar için TSE 266 (2013), WHO (2011) ve EPA (2016) tarafından kabul edilen limit değerleri.	225

Tablo 4.53: TSE 266 (2013), WHO (2011) ve EPA (2016) tarafından içme ve kullanım sularındaki ağır metaller için kabul edilen limit değerler.	225
Tablo 4.54: TSE 266 (2013), WHO (2011) ve EPA (2016) tarafından içme ve kullanım sularındaki bazı kirlilik parametreleri için kabul edilen limit değerleri.	226
Tablo 4.55: Suların pH değerlerine göre sınıflandırılması (Şahinci, 1991b).	232
Tablo 4.56: Zilan ve Bendimahı havzalarındaki soğuk su kaynakları ve kuyu sularında ölçülen pH, EC ve TDS değerleri.....	234
Tablo 4.57: Sertlik derecesine göre suların sınıflandırılması (Şahinci, 1991b).	235

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
°C	: Santigrat derece
hm ³	: Hektometre küp
km	: Kilometre
l/s	: Litre/saniye
m	: Metre
meq/l	: mili equivalent/litre
mg/l	: Miligram/litre
mg/kg	: Miligram/kilogram
MI	: Lokal büyüklüğü
mm	: Milimetre
Mw	: Moment büyüklüğü
MW	: Mega watt
P	: Yağış
Q	: Debi
R	: Akım
T	: Sıcaklık
µg/l	: Mikrogram/litre
µ-ohm/cm	: Mikro-ohm/santimetre
vs.	: Vesaire
%	: Yüzde
ΔQ	: Depolamadaki değişim
α	: Akış katsayısı

Kısaltmalar	Açıklama
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
ASI	: Alüminyum Doygunluk İndeksi
B	: Batı

CAI	: Kloroalkalin
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
D	: Doğu
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EC	: Elektriksel iletkenlik
EİEI	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
ETg	: Buharlaştırma-terleme
G	: Güney
GB	: Güneybatı
GD	: Güneydoğu
GMT	: Gıda Maddeleri Tüzüğü
GPS	: Global Positioning System (Yer konumlandırma sistemi)
IMO	: İran Meteoroloji Organizasyonu
K	: Kuzey
KB	: Kuzeybatı
KD	: Kuzeydoğu
KR	: Kelly oranı
MH	: Magnezyum Hazard (Magnezyum Tehlikesi)
MTA	: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü
My	: Milyon yıl
PI	: Permeabilite indeksi
SAR	: Sodyum adsorbsiyon oranı
TDS	: Toplam çözünmüş katı madde miktarı
TSE	: Türk Standardları Enstitüsü
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
US EPA	: United States Environmental Protection Agency (Amerika Çevre Koruma Ajansı)
UTM	: Universal Transverse Mercator (Evrensel Enlem Merkatörü)
WHO	: World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)

ÖZET

DOKTORA TEZİ

ERCİŞ-ÇALDIRAN-MURADIYE (VAN) BÖLGESİNİN HİDROJEOLÖJİK VE JEOTERMAL İNCELENMESİ

Hacer DÜZEN

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Hayrettin KORAL

II. Danışman : Yrd. Doç. Dr. Rüstem PEHLİVAN

İnceleme alanı olarak seçilen Erciş - Çaldıran - Muradiye (Van) bölgesi, Türkiye'nin doğusundaki Van Gölü'nün kuzeydoğusunda konumlanmıştır. İnceleme alanı; Zilan Çayı, Deliçay ve Bendimahi Çayı'na ait 3 havzayı içine alan 3782 km²'lik bir alandan oluşmaktadır. Bu çalışma, Erciş – Çaldıran – Muradiye (Van) bölgesinin hidrojeolojik yapısının belirlenmesi, bölgedeki soğuk sular (soğuk su kaynakları ve kuyu suları) ve sıcak su kaynaklarının hidrokimyasal özelliklerinin tespiti ile bölgedeki suların hangi amaçlarla kullanılabileceğinin araştırılması hedefi doğrultusunda yapılmıştır.

İnceleme alanındaki hidrojeolojik yapı belirlenirken, öncelikle jeolojik birimler tespit edilmiş ve 1/250.000 ölçekli jeoloji haritası ve jeolojik kesitler hazırlanmış ve bölgedeki jeolojik yapının daha detaylı görülmesi sağlanmıştır. İnceleme alanının jeolojisi, inceleme alanının batısı ve inceleme alanının doğusunun jeolojisi olmak üzere 2 bölüm şeklinde değerlendirilmiştir. İnceleme alanının batısında tabanı, Üst Kretase yaşlı bir granitoid birimi oluştururken, üzerine Tersiyer yaşlı sedimanter ve volkanik kayalar yerleşmiş ve üstü Kuvaterner yaşlı volkanitler ve alüvyon ile örtülmüştür. İnceleme alanının doğusunda ise tabanı Paleozoyik yaşlı metamorfik ve Sedimanter kayalar oluştururken, üzerine Üst Kretase yaşlı ofiyolitik bir melanjı takiben Tersiyer yaşlı

ökeller ve volkanik kayalar yerleşmiş olup, üstü Pliyo-Kuvaterner yaşlı sedimanter kayalar, Kuvaterner yaşlı volkanitler ve alüvyon ile örtülmüştür.

İnceleme alanının hidrolojik özellikleri kapsamında, bölgedeki kaynak ve kuyulara ait bilgiler derlendikten sonra, inceleme alanındaki hidrolojik su bütçesinin hesaplanması amacıyla yağış, akım, ve buharlaşma verileri kullanılarak 1960-2012 zaman aralığında (53 yıllık) hidrolojik su bütçesi oluşturulmuştur. Zilan, Deliçay ve Bendimahi havzaları ile inceleme alanı geneli için elde edilen su bütçesi sonuçlarında tüm havzalarda ve inceleme alanı genelinde depolamadaki değişim (ΔQ) değeri negatif çıkmıştır. Bu durum, sisteme girdinin, çıktılardan daha az olduğunu; yani sistemden yüzeysel drenaj alanı dışına bir çıkış olduğunu göstermektedir. Tüm havzalarda geçirimsiz kayaçların çok sayıda olmasından dolayı, yağışın büyük bir kısmı yüzeysel akıma geçmektedir. Hem yüzeysel akıma geçen miktarın hem de buharlaşma-terleme kayıplarının yağışlardan fazla olması nedeniyle tüm havzalarda bütçe sonuçları negatif değerler almıştır.

İnceleme alanının hidrojeolojik özellikleri kapsamında; geçirimli, az geçirimli ve geçirimsiz birimler belirlendikten sonra, bölgede kurumlar tarafından açılmış sondaj kuyularının logları ve düşey elektriksel sondajlara ait bilgiler incelenerek litoloji-hidrojeoloji ilişkisi ile litoloji – jeofizik ilişkisi birlikte değerlendirilmiştir. Rezistivitenin düşük olduğu yerlerde kil gibi geçirimsiz birimlerin ve yüksek rezistiviteli yerlerde volkanik ve metamorfik kayalar ile geçirimli kayaların olduğu görülmüştür. Ayrıca CBS tabanlı programlar kullanılarak oluşturulan 3 boyutlu litolojik modellerde, yatay ve düşey yönde geçirimli birimlerde bir devamlılığın olmaması; Erciş, Çaldıran ve Muradiye ilçelerinde heterojen bir yapının olduğu ve uzun vadeli su alınamayacak akiferlerin olduğuna işaret etmiştir. İnceleme alanındaki soğuk su kaynakları ve vatandaşlar tarafından açılan kuyularda yapılan su kimyası analizlerinin litoloji ile ilişkisinin ortaya koyulması sonucunda Erciş ilçesinde ana akiferin kireçtaşları olduğu, Muradiye ilçesindeki ana akiferin çatlaklı bazaltlar ve karbonatlı birimlerden oluştuğu, Çaldıran ilçesinde suların büyük bir bölümünün bazalt, andezit, riyolet, serpantin, granit ve peridotitlerin kırık ve çatlaklarından boşaldığı sonucuna varılmıştır. Çaldıran ilçesindeki akifer oluşturan magmatik kayaları, karbonatlı kayalar takip etmektedir. İnceleme alanının yeraltısu seviye haritası da hazırlanarak yeraltısu seviyeleri belirlenmiştir. Yeraltısu seviye haritasında inceleme alanının doğusunda yer alan Bendimahi (Muradiye-Çaldıran) havzasında yeraltısu akım yönünün doğudan batıya ve kuzeyden güneye, Deliçay havzasında yeraltısu boşalımının fazla olduğu ve özellikle Deliçay havzası'nın kuzeyinde aşırı çekimin olduğu, Zilan (Erciş) havzasında ise; akım yönünün batıdan doğuya ve kuzeyden güneye doğru olduğu görülmektedir. İnceleme alanı genelinde yeraltısu seviye değerleri 1130 m ile 2048 m arasında değişiklik göstermektedir.

İnceleme alanının hidrokimyasal özellikleri kapsamında; öncelikle kimyasal analiz sonuçları meq/l (mili equivalent/litre)'ye çevrilmiş ve sonrasında analiz sonuçlarının güvenilirliğini test etmek amacıyla anyon - katyon dengesi kontrol edilmiştir. Anyon-katyon denge yüzdesinin % 5 güven aralığında olduğu görülmüştür. Sonrasında ise toplam anyon ve katyon yüzdeleri ile Piper ve Schoeller diyagramları kullanılarak suların hidrojeokimyasal fasiyesleri belirlenmiştir. Hidrojeokimyasal fasiyesler belirlenirken, Piper diyagramında Şahinci (1991b) tarafından ifade edilen bölgeler biraz daha basitleştirilmiş ve bu çalışma kapsamında (I, II, III ve IV nolu bölgeler) şeklinde ifade edilmiştir. Zilan havzasındaki sular, hidrojeokimyasal fasiyeslerine göre 2 grupta toplanmıştır. 1. grup sular, II bölgesinde yer alan karbonat sertliği %50'den fazla olan

Ca-HCO₃ fasiyesindeki Ca-HCO₃'lu sığ tatlı yeraltısulardır. 2. grup sular ise III bölgesinde yer alan karbonat olmayan, alkalinitesi %50'den fazla olan Na-Cl fasiyesindeki sıcak su kaynaklarıdır. Bendimahi havzasındaki sular ise; hidrojeokimyasal fasiyeslerine göre 3 grupta toplanmaktadır. 1. grup sular, II bölgesinde yer alan karbonat sertliği %50'den fazla olan Ca-HCO₃ fasiyesindeki Ca-HCO₃'lu sığ tatlı yeraltısulardır. 2. grup sular, I bölgesinde yer alan (Ca + Mg) katyonlarının (Na + K) katyon miktarından fazla olduğu sulardır. 3. grup sular ise IV bölgesinde yer alan karbonat alkalileri % 50'den fazla ve Na-HCO₃'lü sulardır. Bendimahi havzasındaki sıcak su kaynaklarından biri Na-HCO₃-Cl tipi, diğer iki sıcak su kaynağı ise Mg-Ca-Na-HCO₃ tipi sulardır. Sonra, inceleme alanındaki sularda çözünmüş iyonlar arasındaki ilişkiler değerlendirilmiş ve Zilan havzasındaki soğuk su kaynakları ve sıcak su kaynaklarının tamamında; Bendimahi havzasında ise soğuk su kaynakları, sıcak su kaynakları ve kuyu sularından alınan örneklerin % 90'ında ters iyon değişimi olduğu görülmüştür. Dolayısıyla ters iyon değişimi, inceleme alanındaki yeraltısularını kontrol eden ana işlemdir. Ayrıca majör anyon ve katyonlar arasındaki ilişkiler de incelenmiştir.

İnceleme alanındaki sıcak su kaynakları ile ilgili olarak akifer (hazne) sıcaklıklarını bulmak amacıyla çeşitli kimyasal jeotermometre uygulamaları ve karışım modelleri ile birleşik (kombine) jeotermometre uygulamaları kullanılmıştır. Zilan havzasındaki 111 nolu Hasanabdal ve 112 nolu Taşkapı sıcak su kaynaklarına ait rezervuar sıcaklığı Giggenbach (1988)'in Na-K-Mg birleşik jeotermometresi kullanılarak yaklaşık 217 °C olarak tahmin edilmiştir. Söz konusu kaynaklarda silis ölçümü yapılamadığından silis jeotermometreleri uygulanamamıştır. Katyon jeotermometrelerinin kullanımının uygun olup olmayacağı ile ilgili Na-K-Mg birleşik jeotermometresinde tüm sıcak su kaynaklarının hangi bölgede olduğuna bakılmıştır. Hasanabdal, Taşkapı, Ayrancılar, Koçovası ve Buğulukaynak sıcak su kaynaklarının tümü kayaçlarla kimyasal etkileşimini tamamlamamış olan “ham su” bölgesinde yer aldığından katyon jeotermometrelerinin kullanımının güvenilir olmadığı sonucu ortaya çıkmıştır. 113 nolu Ayrancılar sıcak su kaynağının rezervuar sıcaklığı tahmin edilirken, silis ölçümü yapılabilmemiş 114 ve 115 nolu sıcak su kaynakları ile bunlarla kısmen anomali vermiş kısmen yüksek sıcaklıklı 26 nolu soğuk su kaynağı (19.1 °C) silika – entalpi karışım modelinde değerlendirilmiştir. Ayrancılar sıcak su kaynağının rezervuar sıcaklığı da herhangi bir soğuk su karışımı olmaksızın yaklaşık 207 °C olarak tahmin edilmiştir. Fakat MTA (2003) tarafından ölçülen akışkan sıcaklığının 83 °C olması, tahmin edilen 207 °C sıcaklık ile 83 °C arasındaki büyük fark nedeniyle, 113 nolu Ayrancılar sıcak su kaynağının da soğuk su karışım süreçlerinden etkilenmiş olabileceğini göstermiştir. 114 nolu Koçovası sıcak su kaynağında, yüzeyde ölçülen sıcaklık 25.8 °C iken, amorf silis jeotermometre sonucu yüzeyde ölçülenden düşük (16.84 °C) çıkmıştır. 114 nolu Koçovası sıcak su kaynağında atmosferde ölçülen sıcaklık değerinin akifer sıcaklığından daha yüksek olması, suyun iletimle soğuma (suyun ısıyı ileterek soğuması) şeklinde bir soğuma süreci geçirdiğini göstermekte ve amorf silis jeotermometresi ile hesaplanan rezervuar sıcaklığının yüzeyde ölçülenden düşük olması ise rezervuardaki silis çözünürlüğünün kalsedon gibi daha duraylı bir faz ile denetlendiğini göstermektedir. Dolayısıyla Koçovası sıcak su kaynağının rezervuar sıcaklığı, kalsedon jeotermometresi kullanılarak hesaplandığında geçirmiş olduğu soğuma süreci nedeniyle 110.39 °C olarak tahmin edilirken, silika-entalpi karışım modeli ve Na-K-Mg birleşik jeotermometresine göre herhangi bir soğuma gerçekleşmeksizin elde edilecek orijinal rezervuar sıcaklığı 207 ile 217 °C arasında tahmin edilmektedir. 115 nolu Buğulukaynak sıcak su kaynağında ise yüzeyde ölçülen sıcaklık 33.5 °C iken, amorf silis jeotermometre sonucu 49.54 °C ile yüzeyde ölçülen

sıcaklığa yakın bir değer olup, tüm jeotermometre sonuçlarına genel olarak bakıldığında biribiri ile uyumlu olmayan çok geniş bir aralıkta seyreden sıcaklıkların hesaplandığı görülmektedir. Bu durum, 115 nolu sıcak su kaynağının soğuk sular ile karışmış olabileceğini göstermektedir. 115 nolu Buğulukaynak sıcak su kaynağında herhangi bir karışım olmaksızın tahmin edilen hazne sıcaklığı ise silis-entalpi karışım modeli ve Na-K-Mg birleşik jeotermometresine göre 207 ile 217 °C arasında tahmin edilmektedir.

Ayrıca tüm soğuk su kaynakları ve kuyu suları ile sıcak su kaynaklarının kimyasal analiz sonuçlarına bakarak hangi litolojik birimden boşalmış olabileceği tespit edilmiştir. Zilan havzası içme suyu özellikleri; pH ve ağır metal içeriği incelendiğinde bazik karakterli içilebilir sular olduğu görülmektedir. Zilan havzasındaki suların sulama suyu amaçlı kullanımı değerlendirildiğinde; sodyum yüzdesi (% Na) bakımından "Çok İyi – İyi" kullanılabilir sular sınıfında, sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) bakımından "düşük sodyum tehlikesi ve düşük tuzluluk tehlikesi" bölgesinde yer almakta olup, C1S1 su sınıfında yer almaktadır. Zilan havzasındaki sular, karbonat ve bikarbonat tehlikesi bakımından RSC (residual sodyum karbonat) 2.5 meq/l'nin altında bir değere sahip olup, sulama için uygun sular olduğu, geçirimsizlik indeksi (PI) değerleri bakımından, Zilan havzasındaki suların % 66'si Sınıf I kapsamına girdiği ve sulama için uygun sular olduğu, kalsiyum ve magnezyuma karşı, sodyumu hesaplayarak elde edilen Kelly oranına göre Zilan havzasındaki tüm sulardaki Kelly oranının 1'den küçük olması nedeniyle sulama için kullanılabilir olduğu, sudaki magnezyum tehlikesi (MH) bakımından yapılan değerlendirmede MH değerinin suların birçoğunda 50'den küçük olması nedeniyle sulamaya uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Bendimahi havzasındaki (Muradiye-Çaldıran) soğuk su kaynakları ve kuyu sularının da içme suyu amaçlı kullanımı değerlendirilmiştir. pH içeriği bakımından büyük bir kısmının bazik karakterli sular (7 ile 8.5 arasında), 5 lokasyonda (20, 21, 22 ve 24 nolu soğuk su kaynakları ile 121 ve 126 nolu kuyu suları) bazik sular (8.5'in üzerinde) ve sadece Çaldıran Evciler köyünde asit karakterli su görülmektedir. Bendimahi Havzası'ndaki içme sularında; F, As, Al, Cr, Mn, Ni, B ve NO₃ parametrelerinin bazı lokasyonlarda TSE 266 (2013), WHO (2011) ve US EPA (2016) içme suyu standartlarına göre limit değerlerin üzerinde olan suların içilmemesi önerilmiştir. Bendimahi havzasındaki suların sulama suyu amaçlı kullanımı değerlendirildiğinde; sodyum yüzdesi (% Na) bakımından "Çok iyi - İyi" ve "İyi - Kullanılabilir" sular sınıfında, sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) bakımından düşük sodyum tehlikesi ve düşük tuzluluk tehlikesi bölgesinde yer almakta olup, C1S1 su sınıfındadır. Bendimahi havzasındaki suların büyük bir kısmı, karbonat ve bikarbonat tehlikesi bakımından RSC (residual sodyum karbonat) 2.5 meq/l'nin altında bir değere sahip olup ve sulama için uygun olduğu, geçirimsizlik indeksi (PI) değerleri bakımından, Bendimahi havzasındaki suların % 90'ının Sınıf I kapsamına girdiği ve sulama için uygun sular olduğu, kalsiyum ve magnezyuma karşı, sodyumu hesaplayarak elde edilen Kelly oranına göre Bendimahi havzasındaki suların büyük bir kısmında Kelly oranının 1'den küçük olması nedeniyle sulama için kullanılabilir olduğu, sudaki magnezyum tehlikesi (MH) bakımından yapılan değerlendirmede MH değerinin suların birçoğunda (% 70'inde) 50'den küçük olması nedeniyle sulamaya uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Mayıs 2017, 328 sayfa.

Anahtar kelimeler: Havza, hidrojeoloji, su kimyası, içme suyu, jeotermometre.

SUMMARY

Ph.D. THESIS

HYDROGEOLOGICAL AND GEOTHERMAL STUDIES OF THE ERCİŞ- ÇALDIRAN-MURADIYE (VAN) REGION

Hacer DÜZEN

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Geological Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Hayrettin KORAL

Co-Supervisor : Asst. Prof. Dr. Rüstem PEHLİVAN

Erciş - Çaldıran - Muradiye (Van) region which is chosen as the study area is located in the northeastern of Van Lake in eastern Turkey. The study area which is formed three basins including Zilan, Deliçay and Bendimahi rivers and has 3782 km² area. This study was carried out in order to determine the hydrogeological structure of Erciş - Çaldıran - Muradiye (Van) region, the determination of the cold water (cold springs and well water) and detecting of the the hydrochemical properties of the hot springs and which will be used them.

For the purpose of hydrogeological structure of the study area, firstly geological units was determined and geological map with 1/250.000 scale and geological cross sections were prepared and provided to see geological structure of the region. Geology of the study area was evaluated by two parts including geology of the west of the study area and geology of the east of the study area. In the west of the study area, there is Late Cretaceous granitoid unit at the bottom and Tertiary sediments and volcanics are settled over and they covered with Quaternary volcanics and alluviums. In the east of the study area, there are Paleozoic metamorphics and sedimentary rocks at the bottom of the study area and there are Late Cretaceous ophiolitic melange above these rocks and Tertiary sediments and

volcanics are settled over and covered with Plio-Quaternary sedimentary rocks, Quaternary volcanics and alluviums.

In content of the hydrological properties of the study area, for the purpose of the calculating hydrological budget of the study area, hydrological budget was formed by using precipitation, run off and evaporation data in 1960 and 2012 time period (53 years) after the collecting informations about springs and wells. Hydrological water budget results show that negative values for change in storage (ΔQ) for Zilan, Deliçay, Bendimahi basins and general of the study area. It shows that inputs are less than outputs at the hydrological system and there is an exit to out of the surface drainage area from the system. A large part of the precipitation converts to run-off because of the a lot of unpermeable rocks at the all basins. Water budget results have negative values in all basins because both run off and evapo - transpiration losses are higher than precipitation.

In content of the hydrogeological properties of the study area, between lithology and hydrogeological relations and between lithology and geophysics relations were evaluated together after the determined permeable, semi-permeable and un-permeable units and well logs and informations about vertical electric drillings. Unpermeable units such as clay were seen at the areas which have low rezistivity and volcanics and metamorphic rocks and permeable units were seen at the areas which have high rezistivity. Also some lithological models which have formed by GIS based programs show that heterogenous structure, discontinuous rocks in Erciş, Çaldıran and Muradiye and it shows that water can not be obtained with long period from these aquifers. Evaluations show that on the basis of the wells which have drilled by foundations, major aquifer in Erciş is basalt with fissured and porous, major aquifer in Çaldıran and Muradiye is fissured basalts. Relations between lithology and water chemistry analysis of the wells which have drilled by people in the region show that major aquifer in Erciş is basalt and carbonated rocks follow it, major aquifer in Muradiye is fissured basalts and carbonated rocks, aquifers in Çaldıran are magmatic rocks which have fissures such as basalt, andesite, rhyolite, serpentinite, granite and peridotites. Second aquifer is carbonated rocks in Çaldıran. Also groundwater levels map was prepared and detected groundwater levels. Groundwater level map shows that groundwater run off directions are from the east to west and from the north to south in Bendimahi (Muradiye-Çaldıran) basin, there is too much groundwater discharge and declination of groundwater in Deliçay basin, groundwater run off directions are from the west to east and from the north to east in Zilan (Erciş) basin. Groundwater levels change between 1130 metres and 2048 metres in the study area.

In content of the hydrochemical properties of the study area, firstly chemical analyses results were converted meq/l (miliequivalent / liter) and then checked equilibrium between anion and cations. Equilibrium between anion and cations detected within five percent confidence level. And then hydrogeochemical facies determined by using percentege of anion and cation and Piper and Schoeller diagrams. While the hydrogeochemical facies are determined, the regions expressed by Şahinci (1991b) in the Piper diagram are simplified and was expressed in this sudy as (regions I, II, III and IV). Waters in Zilan basin were described in 2 groups according to hydrogeochemical facies.

Group 1 waters are shallow fresh groundwaters of Ca-HCO₃ in the Ca-HCO₃ facies with a carbonate hardness greater than 50% in Zone II. The second group of waters is the non-carbonate, hot-water springs in the Na-Cl facies, which have an alkalinity of more than 50%. The waters which are in Bendimahi basin described in 3 groups according to hydrogeochemical facies. Group 1 waters are shallow fresh groundwaters of Ca-HCO₃

in the Ca-HCO₃ facies with a carbonate hardness greater than 50% in Zone II. Group 2 waters are located in region I and (Ca + Mg) cations are more than (Na + K) cations. Group 3 waters have more than 50% carbonate alkalinity in the IV region and with Na-HCO₃. One of the geothermal springs in Bendimahi basin is Na-HCO₃-Cl type and the other two geothermal springs are Mg-Ca-Na-HCO₃ type water. Then, relations between dissolved ions were evaluated in study area and inverse ion exchange detected at all samples including cold springs and hot springs in Zilan basin and in 90 percent of samples (cold springs, hot springs and wells) was detected inverse ion exchange in Bendimahi basin. So, inverse ion exchange is main process which controls the groundwaters. Also relations between major anions and cations were examined.

Various chemical geothermometer applications and mixed models and combined geothermometer applications were used to find the aquifer (reservoir) temperatures about hot springs in the study area. The reservoir temperatures for Hasanabdal hot spring which is numbered 111 and Taşkapı hot spring which is numbered 112 in the Zilan basin were estimated to be 217 °C by using Na-K-Mg combined geothermometer of Giggenbach (1988). Silica geothermometry could not be applied because silica could not be measured in the mentioned hot springs. For purpose of determining whether or not the use of cation geothermometers would be appropriate, all hot springs were checked about where they are located on the Na-K-Mg combined geothermometer of Giggenbach (1988). The use of cation geothermometers is not reliable because Hasanabdal, Taşkapı, Ayrancılar, Koçovaşı and Buğulukaynak hot springs are all located in the "raw water" region, where chemical interaction with rocks has not been completed. When the reservoir temperature of the hot springs was estimated, the hot springs which are numbered 114 and 115 and the partially hot anomalous cold spring numbered 26 (19.1 °C) were evaluated in the silica - enthalpy mixture model. The reservoir temperature of the Ayrancılar hot spring was estimated to be about 207 °C without any cold water mixture. However, because the fluid temperature measured by MTA (2003) is 83 °C at Ayrancılar hot spring and owing to the large difference between the predicted 207 °C and 83 °C, it has been shown that the hot spring (Ayrancılar) may also be affected by the cold water mixing process. For Koçovaşı hot spring which is numbered 114 while measured temperature on the surface was found to be 25.8 °C, amorphous silica geothermometer was lower (16.84 °C) than 25.8 °C. At the Koçovaşı hot spring which is numbered 114, the temperature measured on the atmosphere of Koçovaşı hot spring is higher than the aquifer temperature indicates that water cools with conduction (water conduct heat). Also reservoir temperature calculated by amorphous silica geothermometer is lower on the surface, it means that the solubility of the reservoir is controlled by a more stable phase such as chalcedon. Therefore, the original reservoir temperature to be obtained without any cooling according to the silica-enthalpy mixture model and the Na-K-Mg combined geothermometer is estimated to be between 207 and 217 °C. According to chalcedon geothermometer, reservoir temperature was estimated 110.39 °C due to the cooling process. For Buğulukaynak hot spring which is numbered 115, was measured 33.5 °C on the surface while the amorphous silica geothermometer is 49.54 °C. All geothermometer results show that a wide range of temperatures are observed. This suggests that Koçovaşı hot spring may be mixed with cold water. The estimated reservoir temperature without any mixing in the Buğulukaynak hot spring is nearly between 207 and 217 °C according to the silica-enthalpy mixture model and Na-K-Mg combined geothermometer.

Also, waters' origin was detected by using water chemistry analysis. According to drinking water properties such as pH and heavy metal content, waters in Zilan basin are

alkaline and drinkable. According to use for irrigation waters in Zilan basin, “Very well – Well” usable waters in terms of sodium percentage (% Na), they are in “low sodium hazard and low salinity hazard” region in terms of sodium adsorption ratio (SAR) and in C1S1 water class. Waters in Zilan basin have under the 2.5 meq/l in terms of carbonate and bicarbonate hazard RSC (residual sodium carbonate) and it shows that they are suitable for irrigation. 66 percent of waters in Zilan basin is in Class I and it is suitable for irrigation according to permeable index (PI), usable for irrigation according to Kelly ratio and it is suitable in terms of magnesium hazard (MH) because of MH values are lower than 50 for a lot of samples. Drinking water properties such as pH and heavy metal content were evaluated in Bendimahi (Muradiye-Çaldıran) basin. In terms of pH content, many of waters are alkaline featured waters (pH changes between 7 and 8.5), alkaline waters are at the 5 locations (numbered 20, 21, 22 and 24 springs and numbered 121 and 126 wells) and acid featured water only in Çaldıran Evciler village. At the drinking waters in Bendimahi basin F, As, Al, Cr, Mn, Ni, B and NO₃ parameters are above the limit values at some locations according to TSE 266 (2013), WHO (2011) and US EPA (2016) standards and such waters shouldn’t use as drinking water and they are not recommended. In evaluations about use for irrigation waters in Bendimahi basin, waters are “Very well – Well” and “Well-Usable” water class in terms of sodium percentage (% Na), they are in “low sodium hazard and low salinity hazard” region in terms of sodium adsorption ratio (SAR) and in C1S1 water class. Much water in Bendimahi basin have under the 2.5 meq/l in terms of carbonate and bicarbonate hazard RSC (residual sodium carbonate) and it shows that they are suitable for irrigation. 90 percent of waters in Bendimahi basin is in Class I and it is suitable for irrigation according to permeable index (PI), usable for irrigation according to Kelly ratio and it is suitable in terms of magnesium hazard (MH) because of MH values are lower than 50 for a lot of samples (percent of 70).

May 2017, 328 pages.

Keywords: Basin, hydrogeology, water chemistry, drinking water, geothermometer.

1. GİRİŞ

Yeraltısuları ekolojik döngünün önemli bir bileşenidir. Ekosistemdeki tüm canlılar suya ihtiyaç duymaktadır. Yeryuvarı, su potansiyeli açısından değerlendirildiğinde, suların dengeli bir dağılıma sahip olmadığı görülmektedir. Yeryuvarındaki suların yalnızca % 2.59 gibi küçük bir miktarı karalarda bulunmakta, geri kalan sular okyanuslar ve denizlerden oluşturmaktadır. Karalarda bulunan suyun önemli bir kısmı da buzullar, kar formunda ve yer altı suları şeklinde bulunmaktadır. Toplam suyun yalnızca % 0.12 gibi çok küçük bir miktarı canlılar tarafından kullanılabilir. Su kaynaklarının yeterliliği, sosyoekonomik yapı, su kalitesi vb. koşullar nedeniyle su arzı ve net su tüketiminde kıtalararası, bölgelerarası ve ülkelerarası büyük değişiklikler görülmektedir. Türkiye'de de su kaynaklarının giderek azaldığı, mevcut su kaynaklarında kirliliğin arttığı, denize yakın bazı bölgelerde aşırı su çekimi nedeniyle yeraltısularında tuzlu su girişi gibi önemli sorunlar olduğu görülmektedir. Ayrıca son yıllarda yağışların azalarak sıcaklıkların artmasıyla birlikte, su kaynaklarının iklim değişikliklerinden de etkilenmeye başladığı dikkat çekicidir. Bu nedenle mevcut su kaynaklarının doğru kullanımı ve kullanılan suların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin canlı yaşamına etkileri önem taşımaktadır. Yeraltısularının farklı kullanım alanları olup, bunlardan biri de yenilenebilir enerji kaynaklarından olan jeotermal enerjidir. Jeotermal enerjinin; elektrik üretimi, konut ısıtmacılığı, seracılık vb. farklı alanlarda kullanım imkanları sunması, bu enerji kaynağına olan talebi her geçen gün arttırmaktadır. Türkiye, jeolojik ve tektonik yapısı nedeniyle jeotermal enerji açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Özellikle Türkiye'nin doğusunda yer alan çeşitli tektonik yapılar ve fay sistemleri, önemli bir jeotermal enerji potansiyeli doğurmaktadır. İnceleme alanı olarak seçilen bölgede jeotermal kaynakların araştırılması ile ilgili büyük bir bilgi eksikliği bulunmaktadır. Bu bilgi eksikliğinin giderilmesi ve literatürdeki boşluğun doldurulması açısından gerek inceleme alanı olarak seçilen bölgenin hidrojeolojik özellikleri, gerekse jeotermal özelliklerinin incelenmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışma 5 bölümden oluşmaktadır. 1. bölümde çalışmanın amacı anlatılmış ve çalışma alanının konumu ile ilgili bilgiler verilmiştir. 2. bölümde inceleme alanının coğrafi özellikleri anlatılmış; inceleme alanı ve yakın çevresi ile araştırma konusu hakkında literatür araştırmaları yapılarak önceki çalışmalara değinilmiştir. 3. bölümde, tezde izlenen yöntemler ve çalışmalara değinilmiştir. 4. bölümde; inceleme alanının jeolojisi, hidrolojisi, hidrojeolojisi ve inceleme alanındaki soğuk ve sıcak su kaynakları ile kuyu sularına ait su kimyası çalışmaları yapılarak çeşitli değerlendirmelerde bulunulmuştur. 5. bölüm olan sonuç bölümünde ise; inceleme alanındaki soğuk ve sıcak suların dağılımı ile fiziksel ve kimyasal özellikleri birlikte değerlendirilerek bölgenin hidrojeolojik ve jeotermal özellikleri hakkında elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

1.1. AMAÇ VE KAPSAM

Bu çalışmanın ana hedefi, Türkiye'nin doğusunda yer alan Van ilinin Erciş, Çaldıran ve Muradiye ilçelerindeki yüzey suları ve yeraltısuları ile bölgede mevcut jeotermal kaynakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin incelenerek kullanılabilirliklerinin araştırılmasını kapsamaktadır.

Çalışmanın kapsamı ana hatlarıyla aşağıdaki gibi belirtilmiştir:

- Öncelikle araştırma alanı ve konusu ile ilgili literatür taraması yapılarak bölgenin coğrafi özellikleri ile çalışma alanı içerisinde daha önce yapılmış olan bilimsel araştırmalar değerlendirilmiştir.
- Erciş-Muradiye-Çaldıran (Van) bölgesine ait 37 adet 1\25.000 ölçekli topoğrafik pafta kullanılarak, söz konusu bölgeye ait sayısal yükseklik modeli hazırlanmıştır. Çalışma alanının jeolojik yapısı önceki bilimsel çalışmalar ışığında arazi çalışmaları ile desteklenerek ortaya konulmaya çalışılmıştır.
- Önceki çalışmalar kapsamında hazırlanmış 1/100.000 ölçekli jeoloji haritaları ve MTA tarafından hazırlanan 6 adet 1\100.000 ölçekli jeoloji haritası da birlikte değerlendirilerek tüm inceleme alanını içine alan 1/1.250.000 ölçekli bir jeoloji haritası oluşturulmuştur.
- Bölgenin jeolojisi incelendikten sonra, inceleme alanındaki 3 havza (Zilan, Deliçay ve Bendimahı) için havza karakteristikleri incelenerek, drenaj alanları belirlenmiştir. Ayrıca; Erciş (Zilan), Erciş (Deliçay) ve Muradiye-Çaldıran (Bendimahı) havzaları ve yakın çevresinde yer alan Devlet Meteoroloji İşleri

(DMİ), İran Meteoroloji Organizasyonu (İMO, 2016) ve Devlet Su İşleri (DSİ) meteoroloji gözlem istasyonlarına ait veriler kullanılarak; havzaların genel yağış rejimi, akım, buharlaşma ve sıcaklık verileri birlikte değerlendirilip her bir havza için 1960-2012 yılları arasında kalan 53 yıllık döneme ait su bütçesi hesaplanmıştır.

- Hidrojeolojik inceleme kapsamında, inceleme alanındaki kuyu ve kaynaklara ait debiler ve bölgedeki kayaçların litolojik ve yapısal özellikleri esas alınarak hidrojeolojik özellikler belirlenmiş ve hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır. Hidrojeolojik özelliklerin daha detaylı ve aydınlatıcı olması amacıyla, kayaçların litolojik özellikleri ile MTA tarafından yapılan jeofizik araştırma sonuçları korele edilerek bir değerlendirme yapılmıştır. Ayrıca DSİ tarafından statik ve dinamik seviyeleri ölçülen sondaj kuyuları kullanılarak bir yeraltısuyu seviye haritası hazırlanmıştır.
- Su kimyası çalışmaları kapsamında ise; inceleme alanında şu anda kullanım durumunda olan vatandaşlar tarafından açılmış kuyulardan, soğuk ve sıcak su kaynakları ile inceleme alanında en yüksek debiye sahip Zilan ve Bendimahi çaylarından su örnekleri alınarak, kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca arazi çalışmaları esnasında pH, sıcaklık ve EC gibi yerinde ölçümler yapılarak suların fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Suların kimyasal özelliklerini belirlemeye yönelik, sularda rastalanan majör anyon ve katyonlar, nitrit ve nitrat gibi kirlilik parametreleri ile bazı ağır metaller ve iz elementler, suların boşalım yaptığı kayaç içerisindeki iyonlar ile ilişkilendirilerek, su-kayaç etkileşimi araştırılmıştır. Arazi çalışmaları esnasında alınan numunelerin bir kısmı kimyasal kitler yardımı ile İstanbul Üniversitesi Hidrojeoloji Laboratuvarı'nda, bir kısmı ise Kanada'nın ACME Laboratuvarlarında analiz ettirilerek kimyasal sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011), Environmental Protection Agency (EPA, 2016) ve TSE 266 – Türk Standartları Enstitüsü Türkiye Sağlık Bakanlığı İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği (2013) gibi yönetmeliklerde istenilen kalite standartları dikkate alınarak değerlendirilecek ve suların kalite sınıfı belirlenerek varsa değişimleri sebepleri ile ortaya konulmaya çalışılmıştır. Sıcak sular için fiziksel ölçümler ve

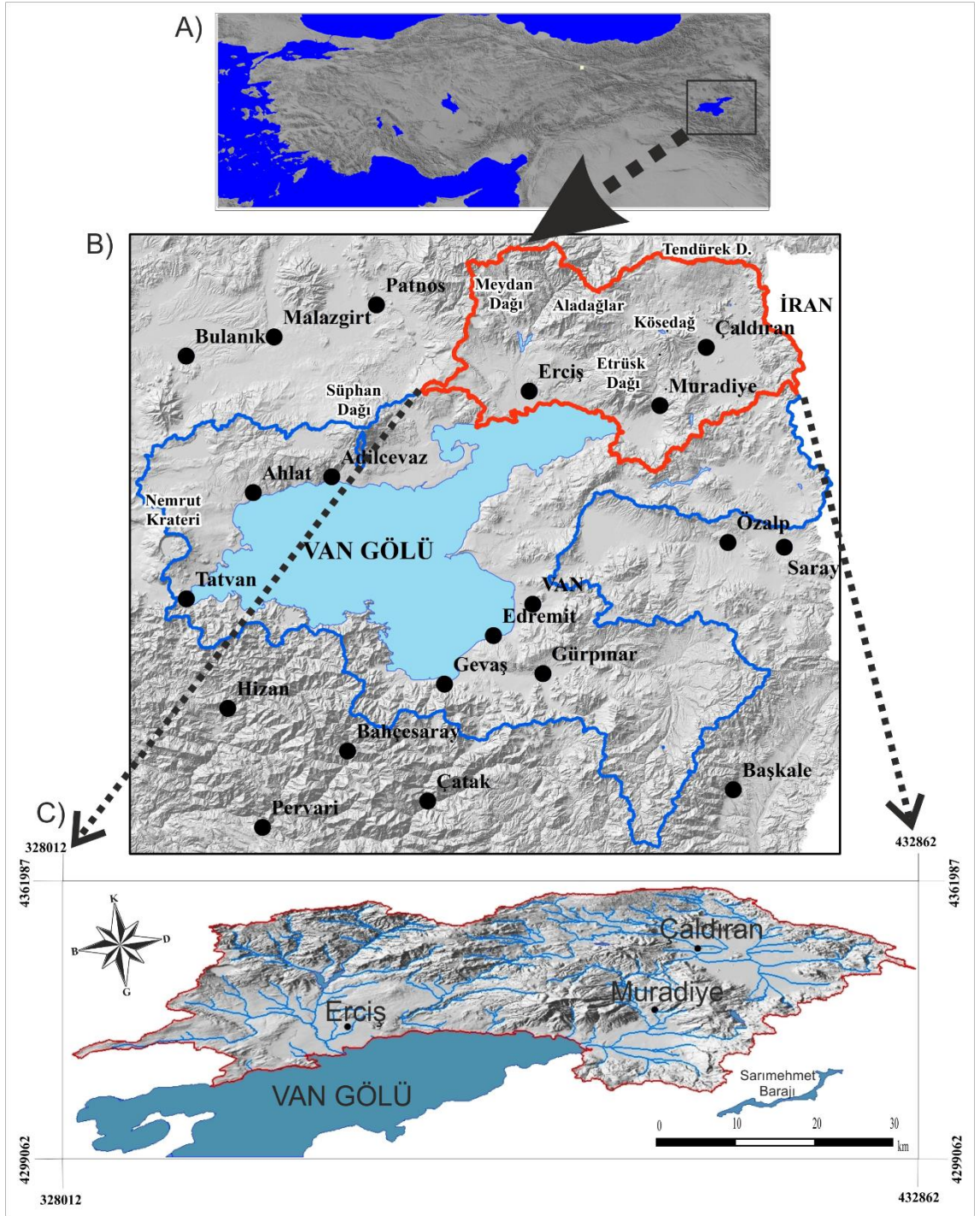
kimyasal analizler sonrasında, akifer sıcaklıklarını belirlemeye yönelik jeotermometre hesaplamaları yapılmıştır.

Sonuç olarak elde edilen tüm veriler değerlendirilerek;

- Çalışma alanındaki yüzey ve yeraltısularının bölgenin jeolojik, hidrojeolojik ve jeomorfolojik yapısı ile ilişkisi, havzanın hidrolojik döngüsü içerisinde beslenme mekanizmasının hidrojeolojik kavramsal model oluşturularak ortaya konması,
- Yeraltısularının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi ve su kalitesi açısından mevcut durumun ortaya koyulması
- Jeotermal kaynakların kökeni ve hazne sıcaklıklarının hesaplanması, hedeflenmektedir.

1.2. ÇALIŞMA ALANININ YERİ

Çalışma alanı, Türkiye'nin doğusunda yer alan Van Gölü Havzasının 3 alt havzasından oluşmaktadır. Söz konusu alan, Van Gölü'nün kuzeydoğusunda olup, coğrafi projeksiyon koordinatları; 38°49' K - 39°24' K enlemleri ile 42°59' D - 43°0.5' D boylamları arasındadır. Ayrıca, UTM (Universal Transverse Mercator) projeksiyonu 38. zonun S dilimi WGS 84 (World Geodetic System 1984) elipsoidi koordinatlarıyla 328012 – 432862 Doğu değerleri ile 4299062 – 4361987 Kuzey değerleri esas alınarak sınırlandırılmıştır. Zilan (Erciş), Deliçay (Erciş) ve Bendimahı (Muradiye-Çaldıran) havzalarından oluşan inceleme alanı, Doğubeyazıt J50 - a3, b1, b2, b3, b4, c1, c2, c3, c4, d2, d3, d4, Doğubeyazıt J51 - a3, a4, b3, b4, c1, c2, c3, c4, d1, d2, d3, d4, Doğubeyazıt J52 - a4, d1, d2, d3, d4, Van K50 - b1, Başkale K51 - a1, a2, a3, b1, b2, b4, Başkale K52 - a1 topoğrafik pafta sınırları içerisinde kalan yaklaşık 3782 km²'lik bir alanı kapsamaktadır.



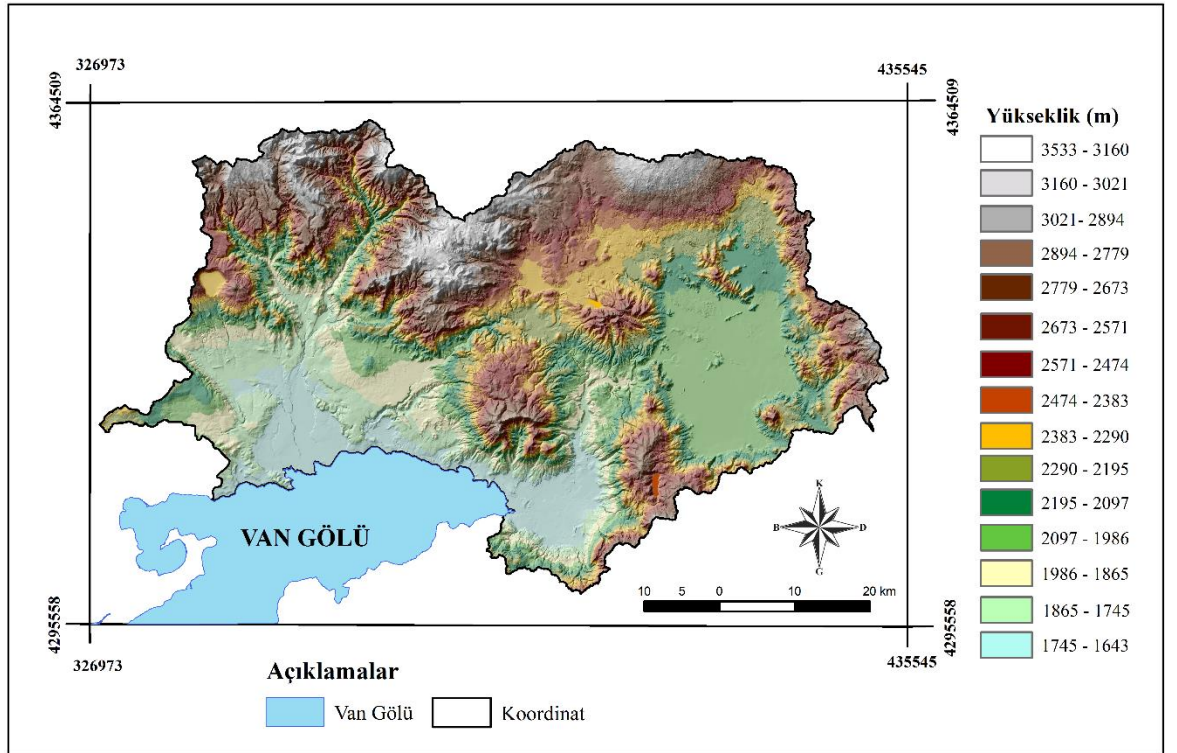
Şekil 1.1: İnceleme alanının yer bulduru haritası. A) İnceleme alanı ve yakın çevresinin Türkiye haritasındaki konumu. B) İnceleme alanının Van Gölü hazasındaki konumu. C) İnceleme alanının 3 boyutlu yakın görünümü.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. İNCELEME ALANININ TANITIMI

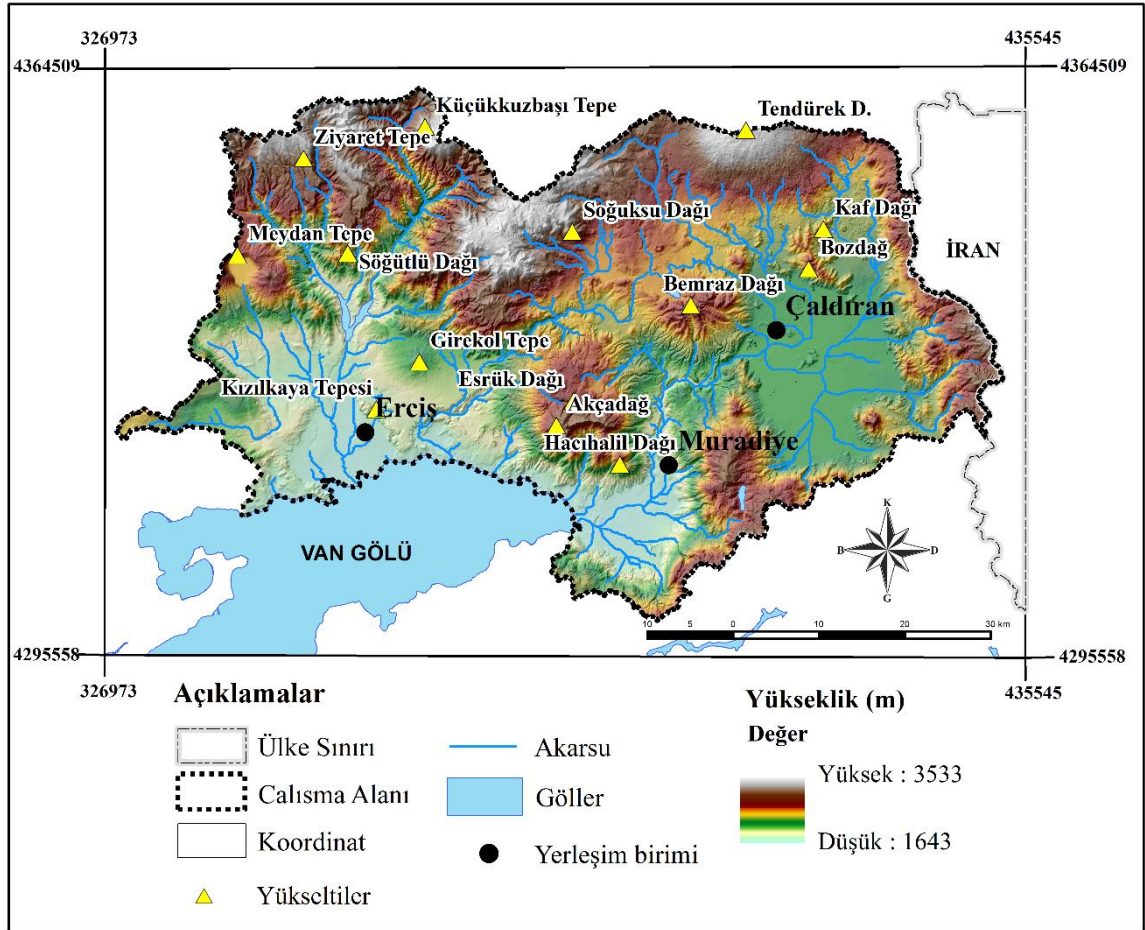
2.1.1. Morfoloji

İnceleme alanının morfolojik özelliklerinin belirlenmesine yönelik, öncelikle sayısal yükseklik modeli oluşturulmuştur. Sayısal yükseklik modeli oluşturulurken Erciş-Muradiye-Çaldıran (Van) bölgesine ait 37 adet 1\25.000 ölçekli topoğrafik pafta kullanılmıştır. Söz konusu paftalar, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı programlar kullanılarak sayısallaştırılmıştır. Sayısal ortamda her bir kontürün yükseklik bilgileri tanımlanarak arazinin üç boyutlu yükseklik modeli oluşturulmuştur (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: İnceleme alanının sayısal yükseklik modeli.

İnceleme alanı, Doğu Anadolu'daki sıkışma rejiminin etkisiyle yüksek dağların bulunduğu bir konuma sahiptir. İnceleme alanındaki başlıca yükseltiler; Tendürek Dağı, Bozdağ, Kaf Dağı, Akçadağ, Soğuksu Dağı, Küçükkuzbaşı Tepesi, Girekol Tepe, Söğütlü Dağı, Meydan Tepe, Hacihalil Dağı, Bemraz Dağı, Esrük Dağı, Kızılkaya Tepesi, Ziyaret Tepe şeklindedir.



Şekil 2.2: İnceleme alanı yükselti haritası.

2.1.2. Akarsular

İnceleme alanındaki sürekli akarsuları; Zılan deresi, Deliçay ve Bendimahı dereleri oluştururken, çok sayıda mevsimsel akarsuya rastlanmaktadır. Mevsimsel akarsuların başlıcaları; Salık dere, Çim dere, Beyazpınar deresi, Şeyh deresi, Çır dere, Billisuyu dere, Karabey dere, Alakavuk dere, Büyükçay, Göl deresi, Dal deresi, Karakaya deresi, Kovan deresi, Kocagavur deresi, Büyükdere, Oruç deresi, Sarıgöl deresi ve İrşad suyudur. Akarsularla ilgili bilgiler Bölüm 4.2 kapsamında ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

2.1.3. İklim ve Bitki Örtüsü

İnceleme alanı Van Gölü havzasına ait 3 alt havzadan oluşmaktadır. Erciş (Zilan) havzasında karasal iklim hüküm sürmektedir. Yazlar; sıcak, kurak ve kısa geçerken, kışlar soğuk, kar yağışlı ve uzun geçer. İlkbahar ve sonbahar oldukça kısa sürmektedir.

Deliçay alt havzasının ikliminin; İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin karasal iklimi ile Akdeniz iklimi arasında geçiş tipi ikliminde olduğu görülmektedir. Kıyı kesimlerde Akdeniz iklimi daha baskın bir şekilde görülür; sebebi güneyinde yer alan Van Gölü kenarlarında ılıman bir iklimin görülmesidir. Ancak gölden uzaklaştıkça kışlar uzun ve kar yağışlı, yazlar ise az yağışlı ve sıcak geçer.

Muradiye-Çaldıran (Bendimahi) alt havzasının iklimi de Deliçay havzasındaki gibidir. İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin karasal iklimi ile Akdeniz iklimi arasında geçiş tipi ikliminde olduğu görülmektedir. Akdeniz iklimi etkisi Van Gölünden kaynaklıdır. Özellikle göl kenarlarında ılıman bir iklim görülür. Gölden uzaklaştıkça kışlar uzun ve kar yağışlı, yazlar ise az yağışlı ve sıcak geçer.

Bitki örtüsü ise; 3 havzada da iç kesimlerde karasal iklim hüküm sürdüğünden bitki örtüsünün gelişimini engellemiştir. Göle yakın yerlerde yer yer söğüt, kavak ve meyve ağaçlarına rastlanmaktadır.

2.1.4. Tarım ve Hayvancılık

Erciş, Çaldıran ve Muradiye ilçelerinde kırsal kesimde yaşayan halkın çoğunun geçim kaynağı tarım ve hayvancılığa dayanmaktadır. Tarım ürünlerinin en önemlisi buğdaydır. Diğer tarım ürünleri yulaf, yonca, arpa, pancar ve patatestir. Bölgenin önemli bir geçim kaynağı da hayvancılıktır. Küçük ve büyükbaş hayvanlar beslenmektedir.

2.1.5. Nüfus ve Yerleşme

2016 yılı TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) verilerine göre Van il nüfusu 1.100.190 kişi olup, ilçe bazında nüfus verileri henüz paylaşılmamıştır. www.nufusu.com web sitesinde verilen bilgilere göre ise toplam il nüfusu 1.100.190 kişi olup, halkın yarısına yakını (566.148) kişi İpekyolu, Tuşba ve Edremit ilçelerinde yaşamaktadır. 2016 yılı Erciş ilçesi nüfusu 89.594 erkek ve 83.609 kadın olmak üzere toplam 173.203 kişi; Muradiye ilçesi nüfusu 25.852 erkek ve 24.690 kadın olmak üzere toplam 50.542 kişi, Çaldıran ilçesi

nüfusu ise 33.872 erkek ve 31.187 kadın olmak üzere toplam 65.059 kişidir (<http://www.nufusu.com/il/van-nufusu>).

2.1.6. Ulaşım

Erciş ile Van arası 100 km, Muradiye ile Van arası 85 km, Çaldıran ile Van arası mesafe ise 106 km'dir. Ulaşım karayolu ile sağlanmaktadır. Erciş, Çaldıran ve Muradiye ilçelerine özellikle kış mevsiminde ulaşım oldukça zordur. Köy yollarının büyük bir kısmı stabilize edilmiştir. Kışlar uzun ve sert geçtiğinden, söz konusu ilçe köylerine kar yağışının ve buzlanmaların yoğun yaşandığı kış mevsiminde ulaşım güçlüğüle gerçekleştirilmektedir. Kar yağışının fazla olduğu aylarda köylerin il ve ilçeler ile bağlantısı kesilmektedir. Şehir merkezi genellikle asfalt yollara sahiptir.

2.2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Önceki çalışmalar, inceleme alanı ve çevresinde yapılan jeolojik çalışmalar ile inceleme alanı ve çevresinde araştırma konusu ile ilgili yapılmış çalışmalar olmak üzere 2 başlık altında incelenmiştir. İnceleme alanı ve çevresinde yapılan jeolojik araştırmalar; çoğunlukla petrografik, tektonik, maden yatakları ve litolojik malzemelerin betonda katkı maddesi olarak kullanımını konu alan çalışmalardır. Araştırma konusu ile ilgili yapılmış çalışmalar ise; hidrojeolojik ve jeotermal çalışmalar olup, daha az sayıdadır.

2.2.1. İnceleme Alanı ve Çevresinde Yapılan Jeolojik Çalışmalar

Gelati (1975); Van Gölü'nün kuzeyinde yer alan Erciş ve dolayında jeolojik çalışmalarda bulunmuştur. Araştırmacı, denizel çökeltmenin Akitaniyen-Serravaliyen arasında olduğunu ileri sürmüştür. Karasal çökellerin Miyosen sonrası oluşmaya başladığını, volkanik etkinliğin ise; Pliyosen ve Pleyistosen boyunca sürdüğünü belirtmiştir.

Şaroğlu ve Yılmaz (1986); Van ve civarında yaptıkları çalışmada, Doğu Anadolu'nun jeolojik evrimini 4 döneme ayırmışlardır: Birinci dönemi; metamorfitle, ikinci dönemi; Üst Kretase yaşlı ofiyolitik karmaşıklıkla, üçüncü dönemi; sedimanter kayalarla, dördüncü ve son dönem ise; Üst Miyosen'den günümüze kadar devam eden karasal ortam çökelleri ve volkanizma ile temsil etmişlerdir.

Aksoy (1988); "Van ili doğu-kuzeydoğu yöresinin stratigrafisi ve tektoniği" adlı çalışmada, bölgede yüzeylenen sedimanter ve magmatik kayaların stratigrafisini,

tektonik konumlarını, mineralojik, petrografik ve paleontolojik özelliklerini ve Kuzey Anadolu fay kuşağının izlerinin bölgede bulunup bulunmadığı hakkında bir araştırma gerçekleştirmiştir. Bölgenin 1/25.000 ölçekli jeolojik haritasını hazırlamıştır. Araştırmacı çalışmasında, Van Gölü civarındaki alanlarda yatay ve yataya yakın duruşlu zayıf çimentolu veya hiç tutturulmamış kil, kum ve çakıldan oluşan gölsel çökellere "Van Gölü Formasyonu" adını vermiştir. Van gölü formasyonunun yaşını, 100.000 yıl olarak kabul etmiş ve 1830 metreye ulaşan çökellerin tek bir gölle açıklanamayacağını belirtmiştir. Araştırmacı, 100.000 yıl önce Van Gölü civarında birden çok gölün olabileceği fikrini ileri sürmüştür.

Acarlar ve diğ., (1991); "Van Gölü doğu ve kuzeyinin jeolojisi" adlı çalışmalarında bölgenin 1/100.000 ölçekli jeoloji haritasını çalışmışlardır. Araştırmacılara göre; bölgenin yapısal evrimi, Orta-Genç Alpin orojenezi süresinde oluşmuştur. Üst Kretase'de başlayan tektonik hareketlilik sonucunda birimlerin güneye doğru itilerek birbirinin üzerine itildiğini belirtmişlerdir. Çalışmada, Tektonik hareketliliğin Tanesiyende kısmen durulduğu, Eosen'de ise yeniden hareketlilik kazandığı ifade edilmiştir. Araştırmacılara göre; söz konusu evrede Tepedam, Hasandağı ve Şehittepe birimleri Toprakkale formasyonu üzerine itilmiştir. Alt Miyosen sonlarında ise Alabayır formasyonu, Van formasyonunun üzerine bindirmiştir. Dirbi karmaşığındaki gabroların Van formasyonu ve Toprakkale formasyonu üzerinde klip olarak gözlendiği, Van formasyonunun kumtaşlarının tektonik pencereyi oluşturmadığı belirtilmiştir. Ayrıca araştırmacılar, Üst Pleyistosen oluşuklarını, eski-yeni yelpaze çökelleri, eski-yeni göl çökelleri, eski-yeni akarsu çökelleri, eski-yeni akarsu-göl çökelleri ve akarsu çökelleri olmak üzere farklı gruplara ayırarak incelemişlerdir.

Çakır (1995); Çaldıran fayı ve dolayının jeolojik incelenmesi ile ilgili bir tez çalışması gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada, bölgedeki volkanik faliyetin yaklaşık olarak Orta-Geç Miyosen'de başladığı ortaya koyulmuştur. Çakır (1995)'e göre, volkanizma Geç Miyosen-Pliyosen zaman aralığında kısmen toleyitik, genellikle kalkalkalen; Kuvaterner boyunca ise alkalen özelliktedir. Yöredeki en belirgin tektonik yapı, KB-GD uzanımlı sağ yönlü doğrultu atımlı Çaldıran fayıdır. Fayın görünür atımı yaklaşık 1350 m'dir. Bölgede deformasyon oluşturan en büyük basınç kuvvetlerinin doğrultusunda Permiyen

öncesinden Eosen sonuna kadar 40⁰'lik bir rotasyon saat göstergesinin tersi yönünde meydana gelmiştir.

Yılmaz ve diğ., (1998); Arap ve Avrasya plakalarının K - G doğrultulu birleşmesiyle Bitlis - Zagros kenet kuşağının oluştuğunu, bunun sonucu kıtasal kabuğun kalınlaştığını ve sonuçta yüksek Türkiye - İran platosunu meydana getirdiğini belirtmişlerdir.

Yeşilova (2004); Van Gölü kuzeyinde yüzeylenen ve inceleme alanının bir kısmını da içine alan Adilcevaz kireçtaşlarının mikrofasiyeslerini inceleme amaçlı bir tez çalışması gerçekleştirmiştir. Adilcevaz kireçtaşlarının mikrofasiyesleri, kırmızı alglerin egemen olarak yayılım gösterdiği Burdigaliyen yaşlı bir karbonat şelfinde geliştiğini göstermiştir. Arazi gözlemleri ve fasiyes incelemelerindeki bulgular, Adilcevaz kireçtaşının gelişimi sırasında mercan resiflerinin gelişimine ilişkin yeterli ekolojik koşulların yörede bulunmadığını ortaya koymuştur.

Çolakoğlu (2009); Çaldıran - Karadulda'daki lateritik demir cevherleşmesinin kökenini araştırmaya yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Benzer jeokimyasal özelliklere sahip söz konusu alanın 20 km kuzeyideki Sarıçimen'deki cevherleşmeyle karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda, Karadulda cevherleşmesinin silis içeriği yüksek düşük Fe tenörlü ve yan ürün elementlerince ekonomik olmayan taşınmış laterit türünde bir cevherleşme olduğunu belirtmiştir. Buna karşın Karadulda köyünün 20 km kuzeyindeki Sarıçimen demir cevherleşmesinin önceki incelemelerden elde edilen verilere göre daha yüksek nikel içerigine (% 1-1.5) sahip olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca, cevherleşmelerin bindirme zonlarında gözlenmiş olmasının muhtemel gömülü bir rezervin olabileceğine işaret ettiği belirtilmiştir.

Çolakoğlu ve Arehart (2010); Van'ın Çaldıran ilçesindeki Sarıçimen bölgesinde kuvars-monzodiyoritin petrojenezi ve Doğu Anadolu çarpışma zonuna etkilerini araştırmıştır. Sarıçimen porfiri, Doğu Anadolu yığılma kompleksi'ndeki Üst Kretase yaşlı ofiyolitik kayalarda bir volkanik alt plüton olarak görülmüştür. Pluton; feldispat, hornblend ve ince taneli bir matriste yer alan biyotit fenokristallerden oluşan bileşimde monzodioritik kuvartzdır. Yapılan temel element jeokimya sonuçları; plutonun düşük (0.81-0.90) Alüminyum Doygunluk İndeksi (ASI) ile yüksek-K, kalk-alkalin, metalüminöz karakterde olduğunu göstermiştir. İz elementi ve kükürt izotop jeokimyası sonuçları ise,

Sarıçimen porfirinin yükseliş esnasında manto kaynaklı olduğunu ve kabuk materyali ile kontamine olduğunu göstermiştir. Yapılan çalışmaya göre; tektonik olarak, doğudaki ve İran'daki bu ve bununla ilişkili volkanik ve plutonik kayalar dalma ile ilgilidir ve Neo-Tetis'in Arap ve Avrasya plakaları arasındaki 13-14 milyon yıl aralığındaki son kapanışıyla ilgili en eski magmatik aktiviteyi oluşturmaktadır.

Özvan ve diğ., (2010); Erciş ilçesinin depremselliğini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun devamı niteliğindeki Çaldıran, Tutak, Erciş fayı gibi sağ yönlü doğrultu atımlı fayların tamamen aktif olduğunu, bölgede irili ufaklı birçok depreme neden olduğunu ve hala sismik risk taşıdığını belirtmişlerdir.

Babayiğit (2011); Muradiye ovasında gelişen yüzey deformasyonlarını SAR interferometrisi tekniğini kullanarak yüksek hassasiyetle belirleme ve nedenlerini araştırma amaçlı bir tez çalışması gerçekleştirmiştir. ERS-1 ve ERS-2 uydularının görüntü arşivinden, Muradiye ovasını kapsayacak şekilde 1993 ve 2000 yıllarını da içeren 7 yıllık bir dönemden seçilen 6 adet SAR görüntüsüyle toplam 15 adet farksal interferogram oluşturulmuştur. Söz konusu çalışmada, interferogramların 6 adedinde bazı dikkat çekici konsantrik deformasyon örgeleri belirlenmiştir. Elde edilmiş olan bulgular, Muradiye Ovasında 1993-1995 yılları arasında 5-6 cm'ye ulaşan boyutta kabarma şeklinde bir deformasyon ve 1995 yılının son 4 aylık periyodu içerisinde 14-15 cm boyutuna varan çökme şeklinde bir deformasyonun geliştiğini göstermiştir. Çalışma sonunda, sahanın daha çok sayıda ve yeni görüntülerle SAR interferometrisi yöntemiyle izlenmesine karar verilmiştir.

Efe (2011); Van ili Edremit ilçesinde bulunan Van Aşkale Çimento Fabrikası'na ait ruhsatlı traverten ocağındaki travertenlerin ve Van Gölü kuzeyinde yüzeylenen pomzaların çeşitli oranlarda çimento içerisine katılarak, çimento sektöründe katkı maddesi olarak kullanılabilirliği konusunda bir tez çalışması gerçekleştirmiştir. Bu amaç doğrultusunda söz konusu çalışmada, pomza katkılı çimentolar ve traverten katkılı çimentolar üretilmiştir. Üretilen çimentoların yoğunluk, çimento inceliği, priz süreleri, su içeriği, hacim genleşmesi, 1, 2, 7 ve 28 günlük ortalama basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca pomza örneklerine puzolanik aktivite deneyi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, üretilen katkılı çimentoların fiziksel ve kimyasal özellikleri portland çimentosuyla karşılaştırılmıştır. Çalışma sonunda elde edilen deneysel veriler ışığında söz

konusu pomza ve travertenlerin çimentoda katkı malzemesi olarak kullanılmaya uygun oldukları belirlenmiştir.

İltir (2011); Van ili çevresinde yıkıcı depremlere neden olan Erciş Fayı'nı incelemiştir. Söz konusu çalışmada inceleme alanına ait topoğrafik haritalara inceleme alanının genel morfolojik görünümünün yansıtılabilmesi amacıyla, Uzay - Mekiği Radar Topografik Görevi (Shuttle Radar Topographic Mission; SRTM) yükseklik modelleri kullanılmıştır. Yükseklik modelleri ve topoğrafik paftalar yardımıyla Erciş Fayı'nın yüzey kırıkları incelenmiştir. Çalışma sonucunda, Erciş Fayı'nın birbirine paralel birçok segmentten meydana geldiği belirlenmiş ve genellikle Pliyo - Kuvaterner yaşlı çökeller içerisinde Erciş Fayı'na ait izler belirlenmiştir. Çizgisel analizler sonucunda, son yıllarda bu bölgede meydana gelen depremlerin Erciş Fayı'na yakın bölgelerde olduğu gözlenmiştir.

Oyan (2011); bu çalışmada inceleme alanının güneyinde yer alan Etrüsk volkanı ve çevresindeki alanlarda bulunan Miyosen, Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı volkanik ürünlerin volkanostratigrafisi ve petrojenezini çalışmıştır. Yapılan çalışmada, $^{40}\text{K} / ^{40}\text{Ar}$ yaş verileri, çalışma alanındaki volkanik etkinliğin 14.9 My önce başlayıp, 3 suskunluk dönemi ile bölünerek 0.28 My önceye kadar aktif olduğunu göstermiştir. Miyosen ve Pliyosen volkanitleri bazalttan riyolit/dasite uzanan lav bileşimine sahip olduğu, Kuvaterner volkanitlerinin ise alkali bazaltik lavlar ve hawaiiitler ile karakteristik olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen bulgular ışığında; çalışma alanındaki volkanizmanın ve Doğu Anadolu bölgesindeki volkanik etkinliğin, manto kaynak alanının astenosferik ve litosferik mantonun karışımı ile temsil edildiği ve belirgin bir yitim bileşenine sahip olduğu belirlenmiştir.

Bilgin ve diğ., (2012); Erciş obsidyenlerinin mineralojik-petrografik, jeokimyasal özellikleri ve süs taşı olarak değerlendirilmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Obsidyenlerin jeokimyasal açıdan magmanın soğuması esnasında, volkanik camların bünyesine bir miktar H₂O alması ve hidratlanma yoluyla ana magmadan olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, obsidyenin olduğu bölgenin uzunluğu 1250 m, genişliği 250 m ve kalınlığı 8 m olarak tespit edilmiştir. Van Erciş Ulupamir Köyü yakın çevresindeki obsidyen araştırma bölgesindeki obsidyenlerin ham yarı değerli süstaşları niteliğinde olduğu ifade edilmiştir.

Erik (2012); Van Gölü kuzeyindeki asidik pomza ve skoryanın betonda katkı olarak kullanılabilirliğini konu alan bir yüksek lisans tez çalışması yapmıştır. Söz konusu çalışmada, pomza katkılı betonların mekanik özellikleri tespit edilerek pomza katkısının beton özelliklerini nasıl etkileyeceği araştırılmıştır. Yapılan çalışmanın sonuçları, pomzaların betonda belirli oranlara kadar çimento yerine kullanılabilir olduklarını göstermiştir. Ayrıca, skorya katkılı beton karışımlarının daha yüksek erken dayanım göstermesinin, puzolan katkılı betonların erken dayanımı ile puzolanların porozitesi arasında bir ilişki olduğunun göstergesi olduğu belirtilmiştir.

Özdemir ve diğ., 2012; Van Gölü kuzeyindeki Süphan volkanik çığının jeolojik özellikleri ile ilgili bir araştırma yapmışlardır. Yapılan çalışmada, Süphan merkez konisinden yaklaşık olarak 25 km uzaklığa ulaşan Süphan volkanik çığ ürünlerinin, kendi içerisinde blok ve matriks fasiyesleri şeklinde ayırtlandığı belirtilmiştir. Volkanın kuzey yamaçlarında meydana gelen volkanik çığın, muhtelemeden tektonik faaliyetler ve volkanik aktiviteler sonucunda meydana geldiği düşünülmüştür.

Akın ve diğ., 2013; 23 Ekim 2011 Van depreminden sonra Karasu nehri düzlüğündeki sıvılaşmanın değerlendirilmesi konulu bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada, Mw 7.2 Van depremini tetiklenen sıvılaşma ve yanal yayılma özellikleri ile ilgili saha gözlemleri sunulmuştur. Ardından, deneme çukurları, sondajlar ve belirli büyük ölçekli kum noktalarına ilişkin jeofiziksel araştırmalar da dahil olmak üzere yeraltı araştırmalarının sonuçları açıklanmıştır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen sıvılaştırma geri analizi, yüzeyaltı verilerini bir arada belirleyebilmek için gerçekleştirilmiştir. Analiz, sıvılaşmanın inceleme alanında yaklaşık 4 m kalınlıktaki sığ bir bölgede gerçekleştiğini göstermiştir. Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi yöntemi, analiz edilen kum kaynatma yeri için yüksek sıvılaşma potansiyelini ortaya koymuştur. Buna ek olarak, toprak örtü kalınlığının sıvılaştırma üzerindeki etkisi bir kez daha doğrulanmıştır.

Aydan ve diğ., 2014; 2011 Van - Erciş ve Van-Edremit depremlerinde sismik yer hareketi ve jeoteknik özelliklerin değerlendirilmesi ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada, ana şoklar ve bölgesel saha koşulları, sıvılaşma ve ilişkili zemin deformasyonları ve eğim hataları gibi jeoteknik özellikler değerlendirilmiştir. İki fay

düzleminin yukarı hareketini sağlayan kama benzeri bir gövde görülmüştür. Bu hareketin bir sonucu olarak Van Gölü'nün kuzey kıyısı yukarı hareket etmiştir. 9 Kasım 2011'deki Edremit depreminin, 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi ile başlayan kabuk stresindeki varyasyonlardan dolayı harekete geçtiği görülmüştür. Ayrıca Van-edremit depremini yaratan 5.6 büyüklüğünün, şu ana kadar Türkiye'de sınırlanmaya neden olan en küçük büyüklük olduğu ifade edilmiştir.

Oyan ve diğ., (2016); Erken Pliyosen yaşlı Etrüsk staratovolkanının magmatik evrimi ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada, Etrüsk volkanını oluşturan merkezi patlamaların, Zankleyen döneminde 4.3-3.7 milyon yıl arasında ~ 600 km bir alanda sürdüğü belirtilmiştir. Çalışmaya göre; Etrüsk magma odasının tahmini derinlikleri ~ 9-12 km'dir. Yanardağın lavlarını oldukça dar bir alanla patlattığı görülmektedir. Latitten riyolite kadar farklı bileşimde lavlara sahip olup, hafif alkalın karakterdedir. Etrüsk lavlarında plajiyoklaz, klino- ve ortopiroksen, biyotit, K-feldispat ve az miktarda olivin ve amfibolün fenokristal fazda bulunmaktadır. Etrüsk volkanının kemo-straigrafik kesitleri ve petrolojik modelleri, volkanın ebeveyn magma bileşiminden farklı olduğunu, evrimleşmiş lavlarının AFC süreci yoluyla yanardağın altında bulunan en ilkel plato bazalt lavlarına benzer olduğu görülmektedir. Bu durum, magmanın evrimi esnasında 4.1 ve 3.8 milyon yıl olmak üzere en az iki magma yenileme periyodu yaşandığını göstermektedir.

2.2.2. İnceleme Alanı ve Çevresinde Araştırma Konusu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Eren (1970); "Van Ovası Yeraltısuyu Rezerv Raporu"nu hazırlamış ve su taşıyan akifer birimlerinin kumlu, çakıllı Neojen çökelleri olduğunu belirtmiştir. Araştırmacıya göre; ovadaki beslenim yüzeysel akış ve sızmayla olmaktadır. Hazırladığı su bilançosuna göre, yıllık yağış ortalaması 386 mm'dir. Süzülme katsayısını % 20 kabul etmiş, yağıştan yeraltısuyunun beslenimini $8 \times 10^6 \text{m}^3/\text{yıl}$, yüzeysel akıştan yeraltısuyunun beslenimini ise $2.5 \times 10^6 \text{m}^3/\text{yıl}$ olarak hesaplamıştır. Ovadaki boşalımın ise; kaynaklarla $5.8 \times 10^6 \text{m}^3/\text{yıl}$, kuyularla $3.2 \times 10^5 \text{m}^3/\text{yıl}$, buharlaşma terlemeyle $2.5 \times 10^6 \text{m}^3/\text{yıl}$ ve göle akıştan boşalımın ise $32 \times 10^6 \text{m}^3/\text{yıl}$ olduğunu belirtmektedir.

DSİ (1974); DSİ VIII. Bölge Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Şube Müdürlüğü Erciş ilçesindeki akiferin kalınlığını ve yayılımını belirlemek amacıyla 71

noktada düşey elektriksel sondajlarla jeofiziksel çalışmalar yapmıştır. Etüt sahasının I ve II nolu kesitlerinde eteklerdeki bazaltların rezistivite değerleri 1000-5000 Ohm – m arasında değişmiştir. III nolu kesitin 4 no'lu ölçü noktasında ise çakıllı formasyonun altında 750 Ohm – m'lik bir seviyeye rastlanmıştır. Çakılın rezistivite değerleri, çapının büyümesi ve küçülmesine aynı zamanda içindeki bazalt kuvars tanelerinin durumuna göre değişiklik göstermiştir. Kumlu ve çakıllı serilerin içinde kil bantlarına rastlanmıştır.

Oruç ve diğ., (1976); Tendürek volkanı çevresindeki kaynak sularının hidrojeolojisini incelemiş ve suların yüksek florür içerdiği sonucuna varmıştır. Söz konusu çalışmada, birçok su örneğinde 2,5-12,5 ppm. arasında değişen yüksek miktarlarda florür tespit edilmiştir. Ayrıca suyu kullanan halkta, diş florozu hastalığının ortaya çıktığı görülmüştür.

Levendoğlu (1977); Van merkez ve civarının hidrojeolojik etüdünü yapmıştır. Araştırma sonucunda, su taşıyan akifer birimlerin Kuvaterner yaşlı alüvyon ve Neojen yaşlı kumlu, çakıllı seviyeler olduğu belirtilmiştir. Yapılan jeojizik etüt verilerine göre alüvyon kalınlığı 50-60 m. dir. Söz konusu çalışmada, Van ovasında yeraltısuyu işletmesine uygun alanların Manman düzü mevkii, Sıhke (Bostaniçi) köyünün 1.5 km kuzey, ovanın orta alanında yeralan Mercimek Mahallesi, Erek Mahallesi, Haraba Mahalle, Akköprü Mahallesi, Bahçıvan Mahallesi'nin kuzey ve güney kesimleri ile batısı (İskele Caddesi üzerinde) bulunan Süt Fabrikası'nın kuzeyinin ve civarının olduğu belirtilmektedir. Ayrıca inceleme alanındaki suların kimyasal analiz sonuçlarına göre, ovadaki içme suyunun C₃ S₁ (iyi kalitede su) sınıfında olduğu belirtilmiştir.

DSİ (1981); DSİ XVII. Bölge Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Şube Müdürlüğü, Çaldıran ilçesindeki akiferin kalınlığını ve yayılımını belirlemek amacıyla 75 noktada düşey elektriksel sondajlarla jeofiziksel çalışmalar yapmıştır. Ovada, iki tane akifer tabakası ayrılmıştır. Bunlardan birincisinin ovada kalınlığı yer yer 20-50 m arasında değişen kum ve çakıldan ibaret alüvyon, diğerinin gözenekli bazalt ve çakıl - bazalt ardalanmalarından ibaret bir akifer olduğu ifade edilmiştir.

Akdemir (1996); "Van merkez ve çevresinin hidrojeolojik incelemesi" adlı bir yüksek lisans tez çalışması yapmıştır. Yapılan çalışmada, Van Gölü su kimyası ve çevresindeki bazı kaynak ve kuyu suları incelenmiştir. Çalışma sonucunda Van gölündeki Na+

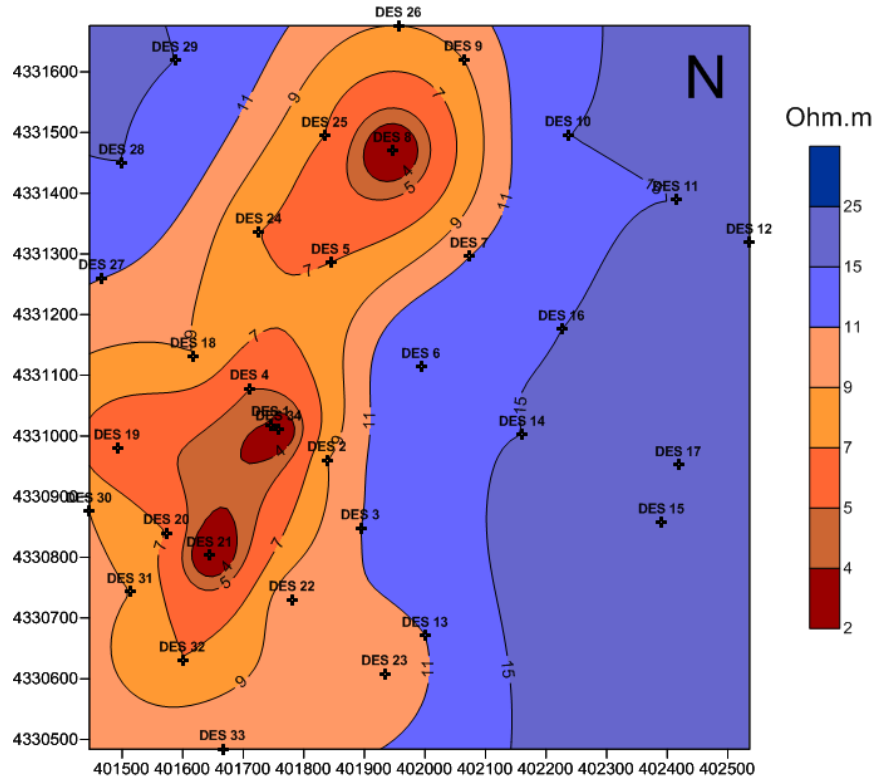
iyonunun 188.7-190.4 meq/l, SO₄ iyonunun ise 50.2-52.3 meq/lt arasında değişmekte olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, göl çökellerinde geçirimsizlik değerleri hesaplanmış ve 3.2×10^{-4} m/sn - 6.6×10^{-4} m/sn arasında olduğu ifade edilmiştir. İletkenlik değerleri ise 1.8×10^{-4} - 2.9×10^{-4} m/sn arasında bulunmuştur. İnceleme alanındaki kaynak ve kuyu sularının içilebilirliği ile ilgili Schoeller içilebilirlik diyagramı kullanılmıştır. Söz konusu diyagrama göre; Kavurma-II kaynağının "içilmeyen sular" sınıfında, diğer tüm kaynak ve kuyu sularının, devamlı içilebilen sular olan (1. kalite su (iyi)), 2. kalite su (oldukça iyi) ve 3. kalite su (orta) sınıfında sular olduğu belirtilmiştir.

Ağaoğlu ve diğ., (1999); Van ve çevresindeki (Van - Merkez, Gevaş, Gürpınar, ve Edremit ilçeleri) kaynak sularının mikrobiyolojik, fiziksel ve kimyasal yönden kalitesini incelemiştir. Yapılan mikrobiyolojik analizler sonucunda, genel mikroorganizma sayısının $0-9.4 \times 10^4$ kob/ml (ort. $2.7 \times 10^3 \pm 0.2 \times 10^1$) arasında olduğu saptanmıştır. Kaynak sularının % 33.3'ünde koliform grubu mikroorganizma belirlenmiştir. Kimyasal analizler ise Gıda Maddeleri Tüzüğü (GMT) ve İçme Suları Standardına (TS 266) esas alınarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda, analiz edilen kaynak sularının mikrobiyolojik açıdan % 40'ı Gıda Maddeleri Tüzüğü'ne uygunluk göstermemiştir. Kimyasal açıdan ise hiçbir Gıda Maddeleri Tüzüğü ve İçme Suları Standardına (TS 266) uygunluk göstermemiştir.

Özler (2001); "Van Gölü'nden Van akiferine aktif tuzlu su girişi" adlı çalışmada, Van Gölü ile Van akiferi arasındaki tuzlu su geçişlerini araştırmıştır. Çalışmada, yüzeyde yeraltı suyunun aşırı pompalanması, piyezometrik seviyenin düşüşüne ve su kalitesinde bozulmalara neden olduğu belirtilmiştir. Gözlemlenen piyezometrik su seviyeleri ve klorid konsantrasyonlarının karşılaştırılması, tuzlu su girişiminin ön planda olduğu, yeraltı suyu seviyelerinde ilginç bir düşüm olduğunu göstermiştir. Van Akiferi'nden tatlı suyun, yeraltı suyunun mevsimsel kullanımına bağlı olarak % 1 ile % 5,5 oranında değişen miktarda göl suyuna (tuzlu suya) karıştığı ifade edilmektedir. Yeraltı suyu boşalımı devam edecek olursa yeraltı suyundan göl suyuna geçişlerin daha fazla olacağı belirtilmiştir.

MTA (2003); Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Jeofizik Etütleri Dairesi, Van'ın Çaldıran ilçesindeki Ayrancılar jeotermal sahasında, jeotermal enerji olanaklarının araştırılması ve geliştirilmesi amacıyla gravite ve elektrik-rezistivite yöntemleri olmak üzere 2 yöntem kullanmışlardır. Ayrancılar köyünün kuzeyindeki sıcak su çıkışlarının

bulunduğu alanda (60 km²) elektrik rezistivite yöntemi kullanılarak jeotermal enerji aramaları yapılmıştır. Schlumberger elektrot dizilimi ile açma ölçüleri alınarak toplam 34 noktada düşey elektrik sondajlar yapılmıştır. Derinlemesine veri üretmek için yapılan DES lokasyonlarının aralıkları ortalama 200 m'dir. Anomalinin ve yer altı yapısının durumuna göre bu aralıklar yer yer hem azalmış, hem de artmıştır. Akım elektrotları yarı açıklığı en fazla 2000 m olarak uygulanmış, dolayısıyla 2000 m derinliğe kadar araştırma yapılmıştır. Sahaya 10, 50, 100, 200, 300, 500, 700 ve 1000 m derinliklere kadar düşey elektriksel sondajlar uygulanmış ve özellikle jeotermal enerji aktivitesinin izlerini görebilmek amacıyla her noktadaki en küçük rezistivite değerlerinden bir harita hazırlanmıştır (Şekil 2.3). Bu haritada görüldüğü kadarıyla saha KKD-GGB doğrultusunda düşük rezistivite değerleri ile homojen bir şekilde sembolize edilmektedir. Dolayısıyla bu bölgede küçük bir jeotermal aktivite zonunun varlığı tespit edilmiştir. En belirgin ve aktivite olasılığı en yüksek tektonik hattın ise sahanın batısında ve güneybatı-kuzeydoğu yönünde olduğu saptanmıştır.



Şekil 2.3: Ayrancılar (Çaldıran) jeotermal sahasındaki en küçük rezistivite değerleri kullanılarak hazırlanan harita (MTA, 2003).

Elmastaş (2004); Zilan Çayı Vadisi'nden geçen Şor fayına bağlı olarak gelişen termal kaynaklardan, Hasanabdal Kaplıcasını incelemiştir. Kaplıcada sıcaklığı 66 C ve 64 C olmak üzere iki sıcak su kaynağı değerlendirilmektedir. Kaynaklar sodyum, bikarbonat, klorür, bromür ve hidrojen sülfür içermektedir. Ayrıca, Hasanabdal Kaplıcası'nın yanında Zilan Çayı Vadisi'nde büyük bir jeotermal potansiyelin olabileceği düşünülerek çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Potansiyeli tespit edebilmek için farklı lokasyonlarda bulunan, yüksek sıcaklık ve yüksek debiye sahip kaynaklar bulunmuş ve analizleri yaptırılmıştır. Zehirli Kaynak, Ganisipi Sıcak Suyu, Zilan Kaynağı, ZG-1 Kuyusu gibi çeşitli kaynak ve kuyularda yapılan kimyasal analizler sonucunda, örneklerin Na-HCO₃'çe zengin olduğu görülmüştür. Hasanabdal jeotermal alanın rezervuar sıcaklığının 108°C -138°C arasında olduğu, Zilan jeotermal sahasındaki akışkanın debisinin ise 2300 l/sn. olduğu sonucuna varılmıştır.

Özler (2004); "Van akiferinin hidrojeolojisi ve tuzlanma nedenleri" adında bir proje gerçekleştirmiştir. Söz konusu çalışmada, Van akiferinde yeraltısuyu değişimlerine göre en düşük seviyenin Temmuz -Ağustos aylarında olduğu vurgulanmıştır. Yeraltısularının Van Gölü ile ilişkisini gösteren kesitler incelenmiş ve yeraltısularının yılın hiçbir mevsiminde göl seviyesinin altına düşmediği sonucuna varılmıştır. Tuzlanma (TDS) oranının ise 500 -700 mg/l arasında değiştiği ve içme suyu standartlarına göre henüz sınır değerlerin aşılmadığı belirtilmiştir. Van Gölü'nden doğuya doğru tuzlanma (TDS) ve Cl değişiminde mevsimlere bağlı doğrusal bir orantılılık ve tedrici bir geçişin olduğu ifade edilmiştir. Bu durumun ise Van Gölü'nden Van akiferine tuzlu su girişimi olduğunu ispatladığı ortaya koyulmuştur.

Ağaoğlu ve diğ., (2005); Van bölgesi sularının bazı niteliklerinin halk sağlığı açısından değerlendirilmesini konu alan bir proje gerçekleştirmişlerdir. Fizikokimyasal analiz bulguları sonucunda Van merkez ve ilçelerde bulunan kaynak sularında bulanıklık, Fe, Mn, Cd ve Ni, musluk sularında Mn, Cd ve Ni, depo sularında Mn ve Cd değerleri; ilçelerdeki depo sularında ise bulanıklık ve Ni düzeylerinin yönetmelikte belirlenen kriterlere uygun olmadığı anlaşılmıştır.

Özler (2005); "Gevaş-Gürpınar-Güzelsu (Van) havzasındaki karst kaynaklarının hidrojeolojik incelemesi" adında bir çalışma gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada, Gevaş-Gürpınar-Güzelsu havzasındaki karst kaynaklarının hidrojeolojik incelemesi

yapılmış ve sular Piper, Schoeller ve ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramlarına göre kalite sınıflarına ayrılmıştır. Ayrıca, Gevaş'ın GB-B'sında bölgedeki yeraltısuyu akım yönünün Artos Dağından (G) Van Gölü'ne (K) doğru gerçekleştiği vurgulanmaktadır.

Tolluoğlu ve diğ., (2005); radyoaktivitenin Van Gölü havzası yüzey sularında jeokimyasal dağılımını belirleyerek halk sağlığı açısından incelenmesini konu alan bir proje gerçekleştirmişlerdir. Van Gölü havzasında yüksek oranda görülen mide ve bağırsak kanseri vakalarıyla doğal radyoaktivite arasındaki olası ilişkinin incelenmesi amacıyla söz konusu çalışma gerçekleştirilmiştir. Su örneklerinin analizi sonucu örneklerde U konsantrasyonunun 0.29-8.57 ppb arasında değiştiği ve yüzey sularında U konsantrasyonunun yer küre ortalamasının 10^{-2} - 10^{-1} arasında değiştiği göz önüne alındığında bu değerlerin yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak radyoaktivitenin sınır değerleri aşmadığı görülmüştür. Metamorfik ve volkanik kayaların yüksek oranda zirkon minerali içerdiği ve zirkonun yapısında U barındırabileceği düşünülmüştür. Fakat zirkonun fiziksel ve kimyasal bozunmalara karşı çok yüksek dirence sahip olması nedeniyle ayrışmaya uğramadığı ve yüzey sularının büyük ölçüde çevre kayalardan kaynaklanan bir bozulmaya maruz kalmadığı görülmüştür.

Ağaoğlu ve diğ. (2007); Van-merkez ve ilçelerinde bulunan kuyu, kaynak, dere, musluk ve depo sularının fiziko-kimyasal niteliğini incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda Van - merkez ve ilçelerdeki kaynak, çeşme suları ile ilçelerdeki depo sularında belirlenen bulanıklık düzeylerinin ilgili yönetmelikte bildirilen kriterlere uygun bulunmadığı ifade edilmiştir. İncelenen su kaynaklarında tespit edilen karbondioksit düzeylerini de su kalite kriterlerine uygun bulunmadığı belirtilmektedir.

Aydın ve diğ. (2009a); "Gürpınar karst su kaynaklarının potansiyelinin belirlenmesi ve sürdürülebilir yönetim açısından değerlendirilmesi" adlı bir proje çalışması gerçekleştirmiştir. Söz konusu çalışmada, Gürpınar Ovası'ndaki yeraltısularının kaynağının, ovanın güneyindeki mermerler olduğu belirtilmektedir. Gürpınar Ovasının kuzey sınırında ise, geçirimsiz ve yarı geçirimli birimlerin bulunmasından dolayı, bu sınır boyunca yeraltısuyu akımının doğudan batıya doğru gerçekleşerek, Van Gölü'ne ulaştığı ifade edilmektedir.

Aydın ve diğ. (2009b); "Şamran karst kaynağının bazı hidrojeolojik özellikleri" adlı çalışma gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada, inceleme alanının GD kesiminde yüzeylenen mermerlerden ortalama $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$ debi ile drene olan Şamran Kaynağı akımları için kaynak çekilme analizi gerçekleştirilmiştir. Kaynakla ilgili yapılan kimyasal analizler sonucunda, kaynak sularının Ca-Mg-HCO₃ tipi sular olduğu ifade edilmiştir. Şamran kaynağının kaynak gerisindeki aktif depolama hacminin $242.61 \times 10^6 \text{ m}^3$ olduğu belirtilmiştir. Yapılan tüm değerlendirmeler sonucunda, Şamran karst kaynağının güvenilir bir su kaynağı olduğu vurgulanmıştır.

Özler (2009); "Zilan (Erciş) jeotermal alanının yapısal, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri" başlıklı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışma kapsamında, bölgedeki tektonik özellikler ve volkanik faaliyetler araştırılmış ve bölgedeki aktif volkanizmanın, Zilan vadisindeki jeotermal sahanın isi kaynağını oluşturduğu belirtilmiştir. Bölgedeki yüksek ısı anomalisini belirleyen verilerin; genç volkanik kayalar, sıcak su kaynaklarında taşınan yüksek sodyum, karbonat ve klor eriyikleri ile çözdükleri metaller ve yaygın hidrotermal alterasyonlar olduğu ifade edilmiştir. Zilan sıcak su sistemindeki hazne kayanın, intrüzipler, kumtaşları ve kireçtaşlarından oluştuğu belirtilmiştir. Örtü kayanın ise; Şorköy lavı, altere tüfler ve Miyosen çökellerinden oluştuğuna işaret edilmiştir. Zilan vadisi jeotermal kaynaklarındaki ana katyon elemanlarının Na>Ca>K>Mg olduğu ve yüksek Na konsantrasyonunun olmasının soğuk su karışımının az olduğuna bir işaret olduğu belirtilmiştir. Bölgedeki ana anyon elemanlarının ise Cl>HCO₃>SO₄ olarak sıralandığı ifade edilmektedir. Sonuç olarak, Zilan sıcak sularının Na-Cl ve Ca(HCO₃)₂ tipi sular olduğu tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında hesaplanan SiO₂ jeotermometresine göre ise sıcak suların hazne sıcaklıklarının yaklaşık olarak 110- 140 °C arasında değişiklik gösterdiği belirtilmiştir.

Düzen (2011); "Van Gölü su seviye değişimlerine hidrojeolojik yaklaşım" adında bir yüksek lisans tez çalışması gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada 50 yıllık (1960-2009) hidrometeorolojik parametreler yıllık bazda değerlendirilmiştir. Van Gölü su bütçesi bileşenlerine ait uzun yıllar ortalama değerler hesaplanmıştır. Hesaplanan uzun yıllar ortalama yağış değerleri; $1697.4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$, yüzeysel akım değeri $2020.8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$, buharlaşma değeri $5077.4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ve hacim farkı ise $58.7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olmak üzere hesaplanmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, 50 yıllık su bütçesi sonuçlarının

Van Gölü'nün tabandan yeraltısuları ile beslendiği sonucunu ortaya koyduğu görülmüştür.

Aydın ve diğ. (2013); Çaldıran jeotermal sahasındaki Çaldıran fayı boyunca bir dizi sıcak su kaynağı tespit etmiş ve bu noktalarda incelemeler yapmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, Çaldıran jeotermal sahasında 100 °C'den büyük, yüksek sıcaklıklı olası bir rezervuarın varlığına dair bulgular elde edilmiştir. Ayrıca örnek alınan suların düşük sıcaklıklı olmasının, karışım süreçlerinden etkileniyor olabileceği, jeotermometreler ve mineral-doygunluk modeli sonucu ulaşılan rezervuar sıcaklıklarının ise düşük ya da birbirleriyle uyumlu çıkmamasına neden olduğu ifade edilmiştir. Söz konusu çalışma kapsamında, sıcak suların fizikokimyasal ve izotopik özellikleri ile ilgili sonuçlar ise; Çaldıran sıcak su sisteminde Ayrancılar-Koçovası hattı ve Avcıbaşı-Salhane hattı olmak üzere iki farklı yeraltısuyu akım sistemi olduğunu göstermiştir. Söz konusu yeraltısuyu sistemlerinin, KB-GD doğrultulu Çaldıran Fay Zonu'na paralel gelişen kırık çatlak sistemleri boyunca geliştiği belirtilmiştir.

DSİ (2013); Van Kapalı Havzası sınırları içindeki tüm jeolojik birimlerin hidrojeolojik özelliklerini belirleyerek akifer ortamlarını saptamak, bu akiferlerin nitelik ve niceliklerini ortaya koyarak yeraltısuyu bütçelerini oluşturmak amacıyla bir hidrojeolojik etüt raporu hazırlamıştır. Raporda 10 alt havzanın jeolojik, hidrolojik ve hidrojeolojik özellikleri incelenmiştir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. BÜRO ÇALIŞMALARI

Büro çalışmaları kapsamında, öncelikle literatür çalışmaları sonucunda elde edilen bilgiler CBS tabanlı programlara aktarılarak bölgenin fiziksel ve coğrafi özellikleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bilgisayar programları yardımıyla bölge ile ilgili ön değerlendirmeler yapılmış ve inceleme alanı kapsamında yer alan kaynak ve kuyular tespit edilmiştir. Örnek alınması anlamlı olabilecek doğru noktalar seçilmeye çalışılmıştır. Seçilen örnek yerleri ve koordinatları sayısal ortama aktarılarak, gidilecek yerler belirlenmiştir. Belirlenen örnek yerlerine ait arazide kullanılmak üzere bir yol haritası oluşturulmuştur.

3.2. ARAZİ ÇALIŞMALARI

Arazi çalışmaları, 2014 Ağustos ayında gerçekleştirilmiş olup, inceleme alanındaki ağır iklim şartları nedeniyle yaz dönemi gerçekleştirilebilmiştir. İnceleme alanını oluşturan Erciş, Muradiye ve Çaldıran ilçelerindeki soğuk su kaynakları, kuyu suları ve akarsulardan su örnekleri alınmıştır. Erciş ilçesinde 7 soğuk su kaynağı, 2 sıcak su kaynağı ve Zilan deresinden, Muradiye ilçesinde 4 kuyu ve 7 soğuk su kaynağından, Çaldıran ilçesinde ise 13 soğuk su kaynağı, 3 sıcak su kaynağı, 7 kuyu ve Bendimahi deresinden olmak üzere su örnekleri alınmıştır. Tüm inceleme alanından toplam 45 su örneği alınmıştır. Ayrıca, tüm noktalarda pH, EC ve sıcaklık gibi fiziksel parametreler yerinde ölçülmüştür. Arazide kullanılan cihazlar, İstanbul Üniversitesi hidrojeoloji laboratuvarından sağlanmıştır. Koordinatları belirlemek için, Garmin Etrex Outdoor marka el tipi GPS kullanılmıştır. Yerinde ölçümler, İstanbul Üniversitesi hidrojeoloji laboratuvarı bünyesindeki "Hachlange multiprob" cihazı kullanılarak yapılmıştır. Cihaz kullanılmadan önce gerekli kalibrasyonlar yapılmış ve ölçümlerde herhangi bir ölçüm hatası yaşanmaması için elektrotlar ve problemlerin kullanımı hassasiyetle gerçekleştirilmiştir. Numune alımında kullanılan şişeler, numune alımından önce, birkaç kez çalkalanarak kullanılmıştır. Örnek alınacak yerlerin adı ve örnek numarası şişelere önceden etiketlenmiştir. Numune alındıktan sonra atmosferle temas etmemesi için

şişelerin kapağı sıkı bir şekilde kapatılmıştır. Kuyu sularından örnekler alınırken, sürekli takılı bulunan pompa sistemine sahip kuyular seçilmiştir. Suyu herhangi bir yabancı materyalin karışmaması için su örneği alınmadan önce belirli bir süre pompalama işlemi yapılmıştır. Kaynaklardan alınan örneklerde ise, suyun boşalım yaptığı yerlerden uzak durulmuş ve suyun en durgun olduğu yerlerden örnekler alınmıştır. Bunun nedeni, suyun elektriksel iletkenlik, asitlik-bazlık gibi özelliklerinin doğru belirlenebilmesidir. Alınan su örnekleri, güneş ışığından uzak tutulmuş ve uygun saklama kutularında muhafaza edilerek en kısa süre içerisinde laboratuvara ulaştırılmıştır.



Şekil 3.1: Ayrancılar sıcak su kaynağında GPS cihazı ile koordinat alımı.



Şekil 3.2: Hach Lange marka multiprob cihazı.



Şekil 3.3: Erciş-Yukarıışıkli kaynağından örnek alımı.

3.3. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Sudaki bazı parametrelerin analizi Kanada ACME Laboratuvarlarında ICP-MS cihazı kullanılarak yaptırılırken, bazı parametreler (HCO_3 , CO_3 , SO_4 , NO_2 , NO_3 , NH_4 , PO_4 ve F) ise Hachlange XION-500 Spektrofotometre cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, her lokasyondan ikişer şişe örnek alınarak ACME Laboratuvarlarında ve kimyasal küvet testleri ile analizler yapılmıştır. HCO_3 ve CO_3 'ün kimyasal analizleri titrasyon yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

4. BULGULAR

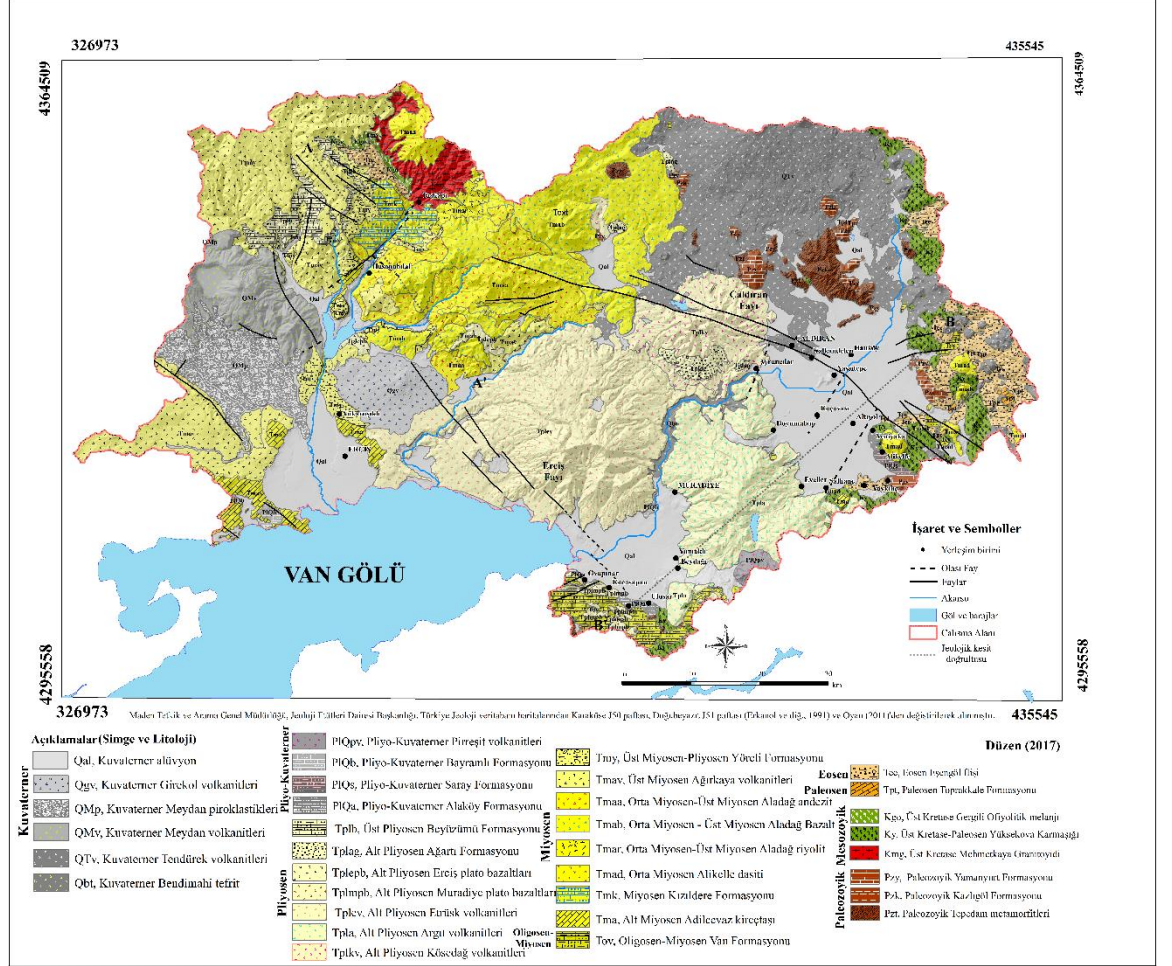
Yapılan çalışma kapsamında edilen bulgular, Jeoloji, Hidroloji, Hidrojeoloji ve Su Kimyası ana başlıkları altında değerlendirilmiştir. Jeoloji bölümünde, inceleme alanını oluşturan Van'ın Erciş, Çaldıran ve Muradiye ilçelerindeki kayaların jeolojik özellikleri incelenerek, tektonik ve jeolojik evrimi incelenmiştir. Hidroloji bölümü kapsamında, Erciş, Çaldıran ve Muradiye ilçelerinde akarsular belirlenerek drenaj alanları belirlenmiş ve 3 havza elde edilmiştir. Havzalardaki su noktaları belirlenip meteorolojik özellikler ile birlikte değerlendirilmiş ve bölgenin hidrolojik yapısı ortaya koyulmuştur. Hidrojeoloji bölümü kapsamında, inceleme alanındaki hidrojeolojik birimler tespit edilmiş ve hidrojeolojik özellikler önceden yapılmış olan jeofizik araştırmalar kullanılarak değerlendirilmiştir. Rezistivite ölçüm sonuçları ile kayaçların yeraltısuyu geçirimsizliği arasındaki ilişki incelenmiştir. Su kimyası bölümünde ise, inceleme alanından alınan su örnekleri analiz edilerek, majör anyon ve katyonlar, iz elementler ve kirlilik parametreleri incelenmiştir. İnceleme alanındaki yeraltısularının içme ve tarımsal amaçlı kullanımının uygun olup olmadığı bazı standartlar ve diyagramlar kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca bölgede önemli bir yere sahip olan jeotermal kaynaklar için de aynı değerlendirme yapılmıştır. Jeotermal kaynakların hangi amaçlarla kullanılabileceğine yönelik bir sonuç ortaya koymak için jeotermometre uygulamaları kullanılmıştır. Jeotermometre hesabı yardımıyla jeotermal kaynakların rezervuar sıcaklıkları belirlenmiştir.

4.1. JEOLojİ

İnceleme alanının jeolojik özellikleri; inceleme alanının batısının stratigrafisi, inceleme alanının doğusunun stratigrafisi, yapısal jeoloji, bölgesel tektonik ve jeolojik evrim olmak üzere 5 ana başlık altında incelenmiştir.

İnceleme alanın stratigrafisi incelenirken, inceleme alanının batısı ve inceleme alanının doğusu olmak üzere 2 bölüm şeklinde bir değerlendirme yapılmıştır. İnceleme alanının ikiye bölünme nedeni, geniş bir alanda yayılım gösteren inceleme alanının 3 farklı su toplama havzası içermiş olmasıdır. Havzalarla ilgili ayrıntılı bilgi, Bölüm 4.2 kapsamında verilmiştir. Ayrıca, her havzanın stratigrafisinin ayrı değerlendirilmesinin, Bölüm 4.4

kapsamında incelenecek olan litoloji - su kimyası ilişkilerinde de daha doğru sonuçların elde edilmesine olanak sağlayacağı düşünülmüştür.



Şekil 4.1: İnceleme alanının jeoloji haritası.

4.1.1. İnceleme alanının batısının stratigrafisi

Söz konusu alan Mezozoik ve Senozoik yaşlı birimlerden oluşmaktadır. Mezozoik yaşlı birimler, Üst Kretase yaşlı bir granitoid kütle ile Üst Kretase yaşlı bir ofiyolitik melanjdan oluşmaktadır. Senozoik yaşlı kayalar ise; Tersiyer yaşlı karbonatlı sedimanter kayalar, Tersiyer yaşlı volkanitler, Pliyo-Kuvaterner yaşlı karbonatlı kayalar, Kuvaterner yaşlı volkanitler ve alüvyondan meydana gelmektedir. Tersiyer yaşlı karbonatlı kayaları; Eşengöl Flişi (Tee), Ailcevaz kireçtaşları (Tma), Kızıldere Formasyonu (Tmk), Yörel Formasyonu (Tmy), Beyüzümü Formasyonu (Tplb) oluşturmaktadır. Tersiyer yaşlı volkanitleri; Orta Miyosen-Üst Miyosen Aladağ volkanitleri (Tmab, Tmar, Tmaa), Üst Miyosen Ağırkaya volkanitleri (Tmav) ve Alt Pliyosen Erciş plato bazaltları (Tplepb)

oluşturmaktadır. Pliyo-Kuvaterner yaşlı karbonatlı kayalar, Bayramlı Formasyonu (PlQb)'dir. Kuvaterner yaşlı volkanitleri ise Meydan volkanitleri (QMv) ve Girekol volkanitleri (Qgv) oluşturmaktadır.

4.1.1.1. Mehmetkaya granitoyidi (Kmg)

Zilan (Erciş) havza sınırları içerisinde Zilan Çayı'nın kuzeyinde görülmekte olup, 48 km²'lik bir alanda yayılım göstermektedir.

4.1.1.2. Gergili ofiyolitik melanji (Kgo)

Zilan (Erciş) havza sınırları içerisinde Zilan Çayı'nın kuzeyinde görülmekte olup, 8 km²'lik bir alanda yayılım göstermektedir. Doğu Anadolu yığışım karmaşığı kökenli bir ofiyolitik melanjdır.

4.1.1.3. Eşengöl flişi (Tee)

Alt-Orta Eosen yaşlı yarı pelajik-pelajik çökellerden oluşan bu formasyona, Şenel ve diğ. (1984) tarafından Yücelendere Formasyonu, Acarlar ve diğ., (1986) tarafından yapılan çalışmada Tekmal Formasyonu, Erkanol ve diğ. (1991) tarafından yapılan çalışmada ise Eşengöl flişi adı verilmiştir. Bu çalışmada, Eşengöl flişi adı kullanılmıştır. Formasyon, genel olarak, çamurtaşı, marn, kumtaşı, çakıltası ve mikritik kireçtaşı ardalananmasından oluşmaktadır. Bu kaya türleri, yer yer 30-40 m kalınlığında ara katkılar biçiminde gözlenmektedir. Bu ardalanın içine, seyrek olarak, türbiditik kumtaşı, tane destekli kumtaşı, küçük taneli intraformasyonel çakıltası, çört-radyolarit, şeyl ara düzeyleri girmektedir.

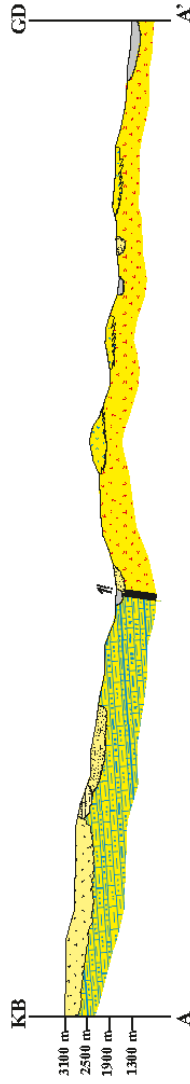
Marnlar, ince-orta tabakalı olup şarabi renklidir. Bunlar, az miktarda çört yumruları içermektedir. Çamurtaşları, kırmızı renkli ve ince tabakalıdır. Mikritik kireçtaşları ise çamurtaşı ve marnlar içinde ara katkı biçiminde gözlenmektedir. Bunlar kırmızı, sarı, krem ve sarımsı krem renklidir. Kırmızı kireçtaşları, ince-orta tabakalı, krem renkli kireçtaşları ise orta tabakalanmalıdır. Kırmızı kireçtaşları arasında ince çört-radyolarit ve kumtaşı ara düzeyleri bulunmaktadır (Acarlar ve diğ., 1991). İnceleme alanının doğusunda rastlanmaktadır. Erkanol ve diğ. (1991) tarafından derlenen örneklerden; Nummulites sp. (retiküle), Chapmanina sp., Gypsina sp., Discocyclina sp., Asterocyclina sp. gibi fosiller tespit edilmiş ve Eosen yaşı verilmiştir.

4.1.1.4. Adilcevaz kireçtaşları (Tma)

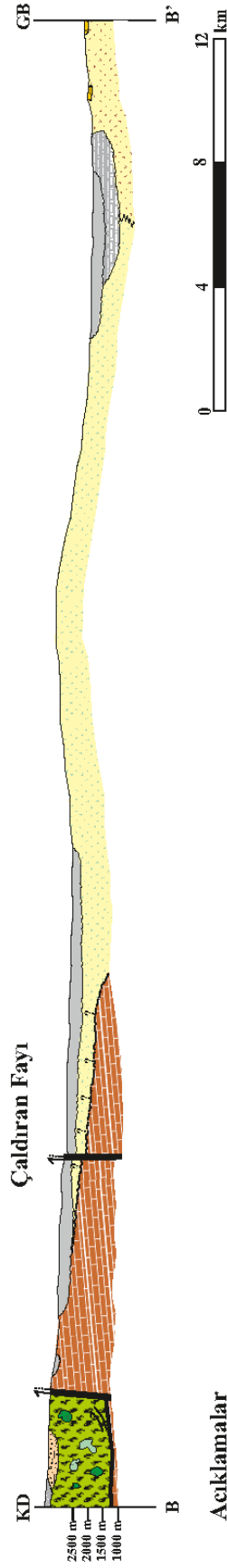
Alt Miyosen yaşlı ve bol fosilli neritik kireçtaşları ve marnlardan oluşan bu birime Demirtaşlı ve Pisoni (1965) tarafından yapılan çalışmada Adilcevaz Kireçtaşı adı verilmiştir. Bu çalışmada da benzer aynı adlama benimsenmiştir. Adilcevaz Kireçtaşı, bol fosilli neritik kireçtaşı ve marnlardan oluşmaktadır. Formasyon, tabanda kumlu-karbonatlı bir matris içinde Lamelli, Bryozoa, Mercan, Alg ve foraminifer parçaları içeren ve daha yaşlı birimler üzerinde uyumsuz olarak yer alan bir çakıltası düzeyiyle başlamakta ve bu düzeyin üzerine kumlu marn ve kumtaşları gelmektedir. Daha üste doğru, istif kumtaşı ve kumlu karbonat arakatkılı kireçtaşı marn ardalanması biçiminde devam etmektedir.

Bu istife seyrek olarak breşik kireçtaşı, tüfit ve çok seyrek olarak da çakıltası ara düzeyleri eklenmektedir. Kireçtaşları, beyaz-sarımsı krem renkli genellikle som görünümlü olup yer yer kalın tabakalıdır. Bunlar, bol makro fosilli ve çoğu resifaldır. Makro fosil olarak Mercan, Lamelli ve Gastrapod'lara rastlanmaktadır. Marnlar, kirli beyaz, açık gri ve sarımsı gri renkli olup orta-ince tabakalıdır (Acarlar ve diğ., 1991; Demirtaşlı ve Pisoni, 1965). Adilcevaz Kireçtaşı, Tabanda Van Formasyonu üzerinde uyumsuz olarak yer almaktadır. Formasyonun kalınlığı yaklaşık 500 m'dir. Adilcevaz Kireçtaşı'nın yaşı Alt Miyosen'dir. Kaya türü özellikleri ve fosil kapsamı bakımından Adilcevaz Kireçtaşı, yamaç resiflerinin bolca yer aldığı bir karbonat platformunun şelf lagünü kesiminde oluşmuştur (Acarlar ve diğ., 1991; Demirtaşlı ve Pisoni, 1965). İnceleme alanının güneybatısında Zilan Havzası içerisinde rastlanmaktadır. Demirtaşlı ve Pisoni (1965) Adilcevaz kireçtaşının Akitaniyen-Burdigaliyen yaşlı olduğunu ileri sürerler. Acarlar ve diğ. (1991) *Tarbellastraea aquitenestraea* (Chevalier), *Goniopora* cf. *Globosa* Chevalier, *Paleoplesiastrea* cf. *Corrugata* (Micheldtti), *Flabellum extensum* Michelin, *Balanophyllia* cf. *Irregularis* Seguenza mercan topluluğuna (Acarlar ve diğ., 1991) göre birimi Erken Miyosen yaşlı kabul etmişlerdir.

Zilan Havzasına ait KB-GD yönlü jeolojik kesit



Bendimahı Havzasına ait KD-GB yönlü jeolojik kesit



Açıklamalar

	Qal, Kuvaterner altıvyon		Tplnb, Alt Pliyosen Muradiye plato bazaltları		Tmk, Miyosen Kızıldere Formasyonu
	Qhv, Kuvaterner Tendürek volkanitleri		Tpla, Alt Pliyosen Argıt volkaniti		Tov, Oligosen - Miyosen Van Formasyonu
	PlQa, Pliyo-Kuvaterner Alaköy Formasyonu		Tmy, Üst Miyosen - Pliyosen Yörelî Formasyonu		Tee, Eosen Eşengöl Flişi
	Tplb, Üst Pliyosen Beyüzümü Formasyonu		Tmav, Üst Miyosen Ağrı kaya volkanitleri		Ky, Üst Kretease - Paleosen Yüksekova Karmaşığı
			Tmaa, Orta Miyosen - Üst Miyosen Aladağ andezit		Pzy, Paleozoyik Yamanyurt Formasyonu
			Tmab, Orta Miyosen - Üst Miyosen Aladağ bazaltı		

Şekil 4.2: İnceleme alanının batısı ve doğusunun jeolojisini gösteren A-A' ve B-B' jeolojik kesitleri.

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	SİMGE	FORMASYON	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	KUVATERNER	Pleyistosen Holosen	Qal	Ayrılmamış alüvyon		Alüvyon, yamaç molozu, eski akarsu çökelleri vs...
			Qgv Qmp Qmv	Girekol Volkanitleri Meydan piroklastikleri Meydan volkanitleri		Bazalt vb. lav akışları Volkan bombası, apilli ve ktlı gibi volkanik piroklastikler Andezitik, dasitik ve riyoitik lav dizileri, perlit, obsidyen
			PIQb	Bayramlı Formasyonu		Pomzalı gölsel çökeller, marn kireçtaşı, silttaşı, kumtaşı
			Tplb	Beyüzümü Formasyonu		Kokinalı kireçtaşı, kumtaşı, çakıltaşı
	TERSİYER	Pliyosen	Üst	Tpleb	Erciş plato bazaltları	Bazaltik ve hawaitik bileşimdeki lavlar
				Tmy	Yörelî Formasyonu ?	Kiltaşı, marn ve kumtaşı
				Tmav	Ağırkaya volkanitleri	Lav akışları, İgnimbritik çökeller, Piroklastik geri düşme ürünleri
		Miyosen	Üst Miyosen	Tmaa	Aladağ andezit	Andezit
				Tmab	Aladağ bazalt	Bazalt
				Tmar	Aladağ riyoit	Riyoit
				Tmk	Kızıldere Formasyonu	Tüf, lav akıntıları Marn, killi kireçtaşı, kumtaşı
		Alt Miyosen		Tma	Adilcevaz Kireçtaşı	Neritik kireçtaşı, marn
				Tee	Eşengöl Flişi	Çamurtaşı, marn, kumtaşı, çakıltaşı, mikritik kireçtaşı
	PALEOJEN	Eosen		Kgo	Gergili Ofiyolitik Melanjı	Ofiyolitik Melanj
				Kmg	Mehmetkaya Granitoyidi	Granitoyid
MESOZOYİK	KRETASE	ÜST KRETASE				

Şekil 4.3: İnceleme alanının batısına ait genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesit.

4.1.1.5. Kızıldere Formasyonu (Tmk)

Zılan Çayı Vadisi'nin iki tarafında geniş alanlarda görülen Kızıldere formasyonu, Gergili Köyü güneyinde yer almaktadır. Bu formasyon; tüf, tüfit, lav akıntıları, aglomera, marn, killi kireçtaşı ve kumtaşı ardalanmasından ibaret olup, volkano-sedimanter karakterdedir (Karamanderesi ve diğ., 1984). Karamanderesi ve diğ. (1984) tarafından yapılan çalışmada birimin yaşı Miyosen kabul edilmiştir.

4.1.1.6. Yörelî Formasyonu (Tmy)

Üst Miyosen - Pliyosen yaşlı Yörelî formasyonu (Karamenderesi ve diğ. 1984), genel olarak kilitaşı, marn ve kumtaşılarından oluşmaktadır. Söz konusu formasyon, Erciş ilçesindeki Zilan Çayı'nın güney kısmında, Yukarıışıklı köyü civarında yayılım göstermektedir (Şekil 4.3). Karamenderesi ve diğ. (1984) tarafından formasyonun yaşı, Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı kabul edilmiştir.

4.1.1.7. Beyüzümü Formasyonu (Tplb)

Kokinalı kireçtaşı, kumtaşı ve çakıltaşlarından oluşan birim, Acarlar ve diğ., (1991) tarafından Beyüzümü formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim dik kıyılı, yüksek enerjili göl kenarı ortamında çökelmiştir (Acarlar ve diğ., 1991). Beyüzümü Formasyonu, kireçtaşı arakatkılı kumtaşı ve çakıltaşlarından oluşur. Kireçtaşları, kumtaşları arasında arakatkılı biçimindedir ve birimin tabanına yakın kesimlerinde görülür. Kumtaşları gri-açık kahverenkli, ince-orta katmanlı ve yer yer de çapraz katmanlıdır. Kumtaşları içerisinde biyoturbasyon yapıları gözlenir. Kumtaşları üzerine aradüzeyli çakıltaşları gelir. Çakıltaşları, kötü boylanmalı, gevşek tutturulmuş ve kum matrikslidir. Çakılların tane yuvarlaklığı iyi düzeydedir. Çakıltası tabakalarında, düzlemsel ve tekne türü çapraz tabakalanma gözlenir. Çakıllar genelde yassı olup 4-22 mm arasında değişen boyutlardadır. İnceleme alanı içerisinde Zilan Havzası'nın orta kesimlerinde, Muradiye-Çaldıran Havzası'nın orta kesimleri ile yer yer havzanın kuzeyinde ve güneyinde küçük mostralalar halinde görülmektedir. Yaklaşık kalınlığı 100 m olan birimde *Dressencia* fosili saptanmış ve Kurtman ve diğ., (1978) tarafından Geç Pliyosen yaşlı kabul edilmiştir.



Şekil 4.4: Yörelî Formasyonu ile Adilcevaz kireçtaşı dokanağı (Bakış yönü: Kuzey; Erciş ilçesi Yukarıışıklı köyü mevki).

4.1.1.8. Orta Miyosen-Üst Miyosen Aladağ volkanitleri (Tmab, Tmar, Tmaa)

İnceleme alanının batısında ve kuzeybatısında gözlenen Aladağ volkanizması, Van Gölü'nün kuzeyinde çok geniş alanlarda yayılım göstermekte olup, volkanik istiflerin en altında yer almaktadır. Aladağ volkanitleri, bazalttan (Tmab) andezite (Tmaa) kadar değişen volkanik ürünler ile temsil edilmektedir. Aladağ volkanitlerine ait en yaşlı lavlar, çalışma alanının kuzeyinde yüzeyleyen andezitik lavlardır. Asidikten (Tmar) baziğe kadar değişen lav ve piroklastik ürünler ile temsil edilen bu volkanizma yeni K^{40}/Ar^{40} yaş bulgularına göre (Lebedev ve diğ., 2010) çalışma alanındaki ve tüm Doğu Anadolu bölgesindeki en yaşlı volkanik etkinliği oluşturmaktadır.



Şekil 4.5: Kızıldere Formasyonu ve bu formasyonu kesen mostra ölçekli fayın görünümü (Bakış yönü: Kuzey, Erciş ilçesi Zilan Nehri kuzeybatısı).

Çalışma alanında Aladağ volkanizmasına ait ilk ürünler, 14.9 My önce püskürmüş andezitik lavlardır. Bu lavları 9.8 My önce yüzeye ulaşmış olan bazaltik ve hawaitik lav akışları ve bunları izleyen dasitik domsal yükselimler izlemiştir (Oyan, 2011). Bu birimler arasında andezitik lavlar Doğu Anadolu Bölgesinde şimdiye kadar yaşları jeokronolojik yöntemlerle saptanmış en yaşlı birimlerdir (Lebedev ve diğ., 2010). Ayrıca Aladağ volkanitleri; Çökek hawaiti, Girekol volkanından türemiş Kuvaterner yaşlı çok daha genç hawaitik lavlar, söz konusu hawaitik lavları örten Ormuktepe bazaltik lavları, Aşıttepe, Sivritepe ve Küçüktaştepe dasitleri olarak adlandırılan dasitik lavları içermektedir (Oyan, 2011). İnceleme alanı içerisinde özellikle Zilan (Erciş) Havzası içerisinde Aladağ volkanitlerine sıkça rastlanmaktadır.



Şekil 4.6: Yörelî Formasyonu ve Aladağ Volkanitleri (Bakış yönü: Kuzey; Erciş ilçesinin 21 km kuzeyi, Hasanabdal Köyü güneyi, Zilan Çayı'nın kuzey bölümü).

4.1.1.9. Üst Miyosen Ağırkaya volkanitleri (Tmav)

Ağırkaya volkanitlerinin, çalışma alanı dışında ve çalışma alanının kuzey batısında yer alan Ağırkaya volkanından türemiş ignimbirit ve lav akışlarından meydana geldiği Oyan (2011) tarafından ifade edilmiştir. Çalışma alanında yer alan benmoritik lavlar ve ignimbiritlerle temsil edilen piroklastik istifler kuzeybatıda büyük bir alan kaplayan ve Ağırkaya kalderasından türemiş olduğu bilinen lav ve piroklastiklerle büyük benzerlik gösterirler (Oyan, 2011). Bu nedenle Ağırkaya volkanitlerinin, Ağırkaya volkanından

püskürmüş ve güneydoğuya akarak Van Gölü'ne yakın yerlere yerleştiği Oyan (2011) tarafından düşünülmektedir. Ağırkaya volkanitleri, Ağırkaya benmoriti ve Ağırkaya ignimbiriti ve pomza olmak üzere 2 şekilde tanımlanmıştır. Ağırkaya benmoriti, Girekol volkanının yaklaşık 1 km² kuzeyinde mostra verirken, Ağırkaya ignimbiritik çökelleri ve piroklastik geri düşme ürünleri ise Zilan vadisi boyunca görülmüştür (Oyan, 2011). Ağırkaya volkanitleri için Oyan (2011) tarafından K⁴⁰/Ar⁴⁰ yaşlandırması yapılmış ve birimin yaşı 5.27 – 5.74 milyon yıl zaman aralığında bulunmuş, dolayısıyla birimin yaşı Geç Miyosen kabul edilmiştir.

4.1.1.10. Alt Pliyosen Erciş plato bazaltları (Tplepb)

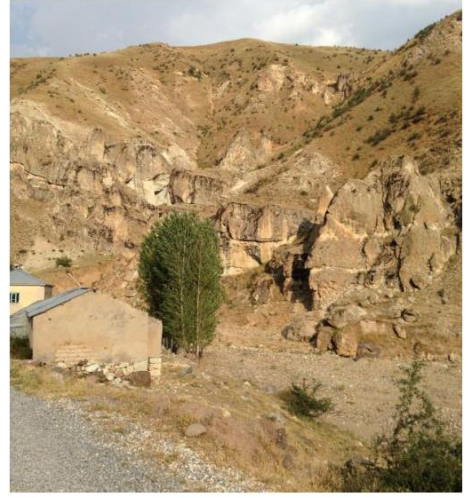
Pliyosen dönemindeki volkanizmanın ilk ürünlerini oluşturan plato bazaltları, çoğunlukla açılma çatlaklarından püskürmüş bazaltik ve hawaiiitik bileşimde lavlarla temsil edilmektedir (Oyan, 2011). Erken Pliyosen'in başlarında, inceleme alanının güneyinde yer alan Etrüsk volkanının doğusunda, batısında, kuzeyinde ve güneyinde çok geniş bir yayılım göstermektedir (Lebedev ve diğ., 2010). Çalışma alanı içerisinde en tipik görüldüğü yerler, Erciş ilçesindeki Mağaratepe ve Hocaali'dir. Oyan (2011) tarafından Mağaratepe hawaii ve Hocaali bazaltı olarak adlandırılmıştır. Plato bazaltları için Oyan (2011) tarafından K⁴⁰/Ar⁴⁰ yaşlandırması yapılmış ve birimin yaşı 3.85 – 4.02 milyon yıl zaman aralığında bulunmuş, dolayısıyla birimin yaşı Geç Pliyosen kabul edilmiştir.

4.1.1.11. Bayramlı Formasyonu (PIQb)

Pomzalı gölsel çökellerden oluşan birim, Acarlar ve diğ., (1991) tarafından adlandırılmıştır. Formasyon, pomzalı gölsel çökellerden oluşur. Kirli beyaz, sarımsı beyaz renkli marn, gri, sarımsı renkli kireçtaşı, silttaşı aralanması ve kötü boylanmalı, çapraz tabakalı çakıltaşı, ince-orta tabakalı, ince taneli kumtaşı düzeyleri birimin yaygın kaya türleridir. Pomzalı ara katkılar gri renkli olup, küçük tanelidir (çakıl-kum). Formasyon, stratigrafik konumuna göre Geç Pliyosen - Pleyistosen kabul edilmiştir (Acarlar ve diğ., 1991). Birim göl-göl kıyısı ortamında çökelmiştir.



(a) Zılan Çayı doğusu volkanik birimler



(b) Hasanabdal mevki (Erciş) andezitler



(c) Sütunsal bazalt ve andezit



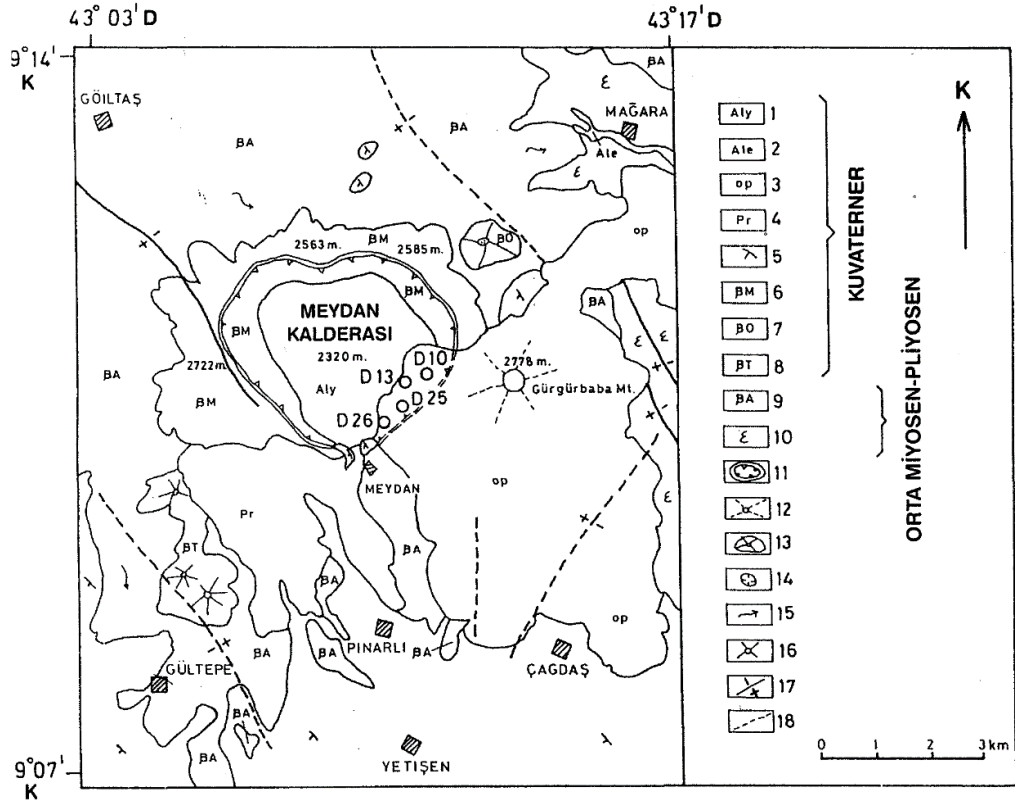
(d) Sütunsal bazaltlar

Şekil 4.7: Aladağ volkanitlerine ait birimler (Bakış yönü: Kuzey, Erciş ilçesi Zılan Çayı doğusu).

4.1.1.12. Meydan volkaniti (QMv)

Meydan Dağı volkanı Van Gölü'nün kuzeyinde Erciş ilçesinde yer alan Kuvaterner yaşlı bir volkandır (Şekil 4.8). Kalderanın içinde ve çevresinde andezitik, dasitik ve riyolitik lav dizileri ve bunları izleyen perlit ve siyahımsı gri renkte obsidiyenler ile volkan bombası, apilli ve kül gibi volkanik piroklastikler gözlenmektedir (Bigazzi ve diğ., 1997).

Volkanik piroklastikler, bu çalışma kapsamında *QMp* olarak adlandırılmıştır. Innocenti ve diğerleri (1980) tarafından bölgedeki lavlarda K/Ar yöntemi ile radyometrik yaş belirlenmesi yapılmıştır. Meydan dağının riolitik lavlarında 5.75 ± 0.46 My; Meydan Dağı'nın obsidiyenlerinde ise 450 000 yıl ile 990 000 yıllık sonuçlar elde edilmiştir (Ercan ve diğ, 1990). Akdoğan ve Kılıç (1987), Meydan dağı kraterinin oluşumundan sonra çökerek bir kaldera meydana geldiğini belirtmişlerdir.



Şekil 4.8: Meydan volkanının jeoloji, jeomorfoloji haritası (Özgür (1993); Bigazzi ve diğ. ,1997). 1: Güncel alüvyon (Pleyistosen), 2: Alüvyon (Holosen), 3: Obsidiyen, perlit, 4: Volkanik piroklastikler (volkan bombası, (apilli, kül), 5: Pumis, 6: Meydan bazaltı, 7: Deveci bazaltı, 8: Topsini bazaltı, 9: Akdağ volkanikleri (bazalt, tuf), 10: Dasitik lav, aglomera, tuf, 11: Kaldera, 12: Volkan domu, 13: Volkan konisi, 14: Krater, 15: Lav akıntısı, 16: Lav püskürme merkezi, 17: Normal fay, 18: Olası fay.

4.1.1.13. Girekol volkaniti (*Qgv*)

Girekol volkanı, simetrik yapılı 600 m çapında krater sahibidir ve tabanı ile zirvesi arasında 100 m kot farkı olan volkan, 65 km²'lik alan kaplamıştır. Minyatür bir kalkan volkan özelliği taşıyan Girekol tepenin zirvesinde yaklaşık 600 m çapında bir krater vardır (Oyan, 2011). Bu çıkış merkezi Erciş ilçesinin 13 km kuzeydoğusunda yer alır. Girekol volkanik merkezli lav akışları; kuzeyde Aladağ volkanitleri, batıda ise Etrüsk

volkanitleri ile sınırlanmışlardır. Girekol volkanından çıkan ilk lavlar, çoğunlukla güneye, en genç lavlar ise çoğunlukla kuzeye ve batıya doğru akmışlardır. Girekol volkanitleri, Girekol bazalt ve Girekol hawait olmak üzere 2 bölüm şeklinde görülmektedir (Oyan, 2011). Girekol volkanitleri için Oyan (2011) tarafından K^{40}/Ar^{40} yaşlandırması yapılmış ve birimin yaşı 0.60 – 0.36 milyon yıl zaman aralığında bulunmuş, dolayısıyla birimin yaşı Kuvaterner kabul edilmiştir.

4.1.1.14. Kuvaterner yaşlı alüvyon (Qal)

Dere ve göl yataklarında çökelmiş çakıl, kum, kil, silt ve dik yamaçlar boyunca oluşmuş yamaç döküntüleri günümüz çökel topluluğunu oluşturur. Eski akarsu - göl çökelleri; delta, fan delta ve göl kıyısı çökelleri de bu birim altında değerlendirilmiştir. Delta çökelleri ince taneli gereçlerden, fan delta çökelleri ise ince kum, silt, kil, yer yer çakıl ve kumdan, göl kıyısı çökelleri ise koylar ile kumsal alanlarında ve göl akıntılarına bağlı olarak gelişen spitler ile geçici lagünler, kıyı bataklıkları ve kıyı gerisi gölcüklerde gelişmişlerdir. Koy ve kumsallarda çakıllı ve kumlu düzeyler, spit, geçici lagün, kıyı bataklığı ve kıyı gerisi gölcüklerde ise genellikle ince kumlu, siltli düzeyler egemendir. Bu çökellerin tamamı tutturulmamış ya da az tutturulmuştur.

4.1.2. İnceleme alanının doğusunun stratigrafisi

İnceleme alanının doğusunu kapsayan bölümde; Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimler görülmektedir. Paleozoyik yaşlı birimler, metamorfik ve sedimanter kayalardan oluşmaktadır. Metamorfik kayaları, Tepedam metamorfitleri (Pzt) oluştururken, sedimanter kayaları ise Kazlıgöl Formasyonu (Pzk) ve Yamanyurt Formasyonu (Pzy) oluşturmaktadır. Mesozoyik yaşlı birimler, Üst Kretase yaşlı ofiyolitik melanjdan ibarettir. Söz konusu ofiyolitik melanj, Üst Kretase - Oligosen zaman aralığında meydana gelmiş olan Doğu Anadolu yığılma karmaşığı malzemesidir. Doğu Anadolu yığılma karmaşığı, Alp-Himalaya orojenik kuşağının ortasında 150-180 km genişliğinde ve KD-GB doğrultulu olarak konumlanmaktadır. Arap kıtası ile Avrupa kıtasının kıta-kıta çarpışması sonucunda meydana gelmiş ve kuzeyde Rodop-Pontid ile güneyde Bitlis-Pötürge mikro kıtası arasında konumlanmıştır. Doğu Anadolu yığılma karmaşığı, iki kaya birimi içermektedir. Bunlar; Üst Kretase yaşlı ofiyolitik melanj ve ofiyolitik melanj içerisinde tektonik dilimler olarak görülen Paleosen - Üst Oligosen yaşlı fliş serilerinden oluşmaktadır. Söz konusu ofiyolitik melanj içerisindeki birimler, önceki

çalışmalarda; Yüksekova Karmaşığı, Yüksekova karmaşığı içerisindeki radyolarit-çört üyesi ile resifal kireçtaşı üyesi, Mehmetalan peridotiti, Bakışık melanđı ve olistrostromu olmak üzere değerlendirilmiştir. Tüm bu ofiyolitik ürünler, aynı kökenden geldiği için, bu çalışma kapsamında tek bir başlık altında *Yüksekova Karmaşığı (Ky)* olmak üzere değerlendirilmiştir.

İnceleme alanının doğusundaki Senozoyik yaşlı birimler ise tabandan tavana doğru sırasıyla; Tersiyer yaşlı karbonatlı sedimanter kayalar, Tersiyer yaşlı volkanitler, Tersiyer yaşlı kırıntılı sedimanter kayalar, Pliyo-Kuvaterner yaşlı karbonatlı sedimanter kayalar, Pliyo-Kuvaterner yaşlı kırıntılı sedimanter kayalar, Pliyo-Kuvaterner yaşlı volkanitler, Kuvaterner yaşlı volkanitler ve Kuvaterner alüvyondan meydana gelmektedir. Tersiyer yaşlı karbonatlı sedimanter kayalar; Toprakkale Formasyonu (Tpt), Eşengöl Flişi (Tee), Van Formasyonu (Tov) ve Adilcevaş kireçtaşlarından (Tma) oluşmaktadır. Tersiyer yaşlı volkanitler; Orta Miyosen Alikelle Dasiti (Tmad), Alt Pliyosen Muradiye plato bazaltları (Tplmpb), Alt Pliyosen Etrüsk volkanitleri (Tplev), Alt Pliyosen Köseadağ volkanitleri (Tplkv) ve Alt Pliyosen Argıt volkanitlerinden (Tpla) oluşmaktadır. Tersiyer yaşlı kırıntılı sedimanter kayalar; Alt Pliyosen yaşlı Ağartı Formasyonu'dur. Pliyo-Kuvaterner yaşlı karbonatlı sedimanter kayalar, Saray Formasyonu (PIQs) ve Bayramlı Formasyonundan (PIQb) oluşmaktadır. Pliyo-Kuvaterner yaşlı kırıntılı sedimanter kayalar, Alaköy Formasyonu'nu içermektedir. Pliyo-Kuvaterner yaşlı volkanitleri, Pirreşit volkanitleri (PIQpv) oluşturmaktadır. Kuvaterner yaşlı volkanitleri ise Tendürek volkanitleri (QTV) ve Bendimahı tefrit (Qbt) oluşturmaktadır.

4.1.2.1. Tepedam metamorfikleri (Pzt)

İnce-orta tabakalı; gri, yeşil ve açık kahverenklerde meta-konglomera, meta-kumtaşı, fillat, kuvarsit, klorit-serizit şist, mermer ardalanmasından oluşur. Bu formasyon içinde metamorfik özellik kazanmış tüf, bazık volkanit, çört ve albit diyabaz seviyeleri bulunur. Üst seviyelerinde kalın tabakalı bej ve beyaz renklerde kristalize kireçtaşı ve mermer bantları gözlenir. Yaklaşık 700 m kalınlık gösteren Tepedam metamorfiklerinin taban ilişkisi tektonik olup, tavanda Oligo-Miyosen yaşlı çökeller tarafından diskordanslı olarak örtölür. Birim, düşük dereceli metamorfizma geçirmiştir. Formasyonun yaşı şenel ve diğ. (1984) tarafından Alt Paleozoyik yaşlı kabul edilmiştir.

4.1.2.2. Kazlıgöl Formasyonu (Pzk)

İnce-orta tabakalı gri ve açık gri renklerde bol mikalı şeyllerden meydana gelmiştir. Yer yer kumlu seviyeler de içeren Kazlıgöl Formasyonu, yaklaşık 200 m kalınlık göstermektedir. Taban ve tavan ilişkisi uyumluluk gösteren bu formasyonda, fosil gözlenmemiştir. Altında Orta -Üst Devoniyen'in, üstünde Üst Permiyen'in bulunuşu nedeniyle birimin yaşı Şenel ve diğ. (1984) tarafından Karbonifer - Alt Permiyen kabul edilmiştir.

4.1.2.3. Yamanyurt Formasyonu (Pzy)

Neritik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Acarlar ve diğ. (1991) ile Şenel ve diğ. (1984) tarafından Yamanyurt Formasyonu; Mengi ve Erkanol (1985) ile Saydamer (1976) tarafından ise Permiyen Kireçtaşları olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada ise Yamanyurt Formasyonu olarak önerilen adlama kullanılmıştır. Yamanyurt Formasyonu, neritik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bunlar yer yer resifal ve yer yer de kristalizedir. Resifal kesimleri som (masif) olan kireçtaşları kalın-orta tabakalıdır. Makroskobik, olarak bol fosilli, çatlaklı ve çatlakları kalsit dolguludur (Acarlar ve diğ., 1991). Formasyon, tabanda grimsi, yer yer siyahımsı renkli, ince-orta tabakalı, oldukça sert, kırık-çatlaklı, yer yer Fusulin ve kavkı izli kireçtaşları ile başlamakta ve üste doğru siyahımsı renkli, orta-kalın tabakalı, bol kırık-çatlaklı ve bol kıvrımlı kireçtaşlarına geçmektedir. Formasyonun üst seviyesi ise çörtlü kireçtaşları ile sonlanmaktadır (Mengi ve Erkanol, 1985). Mengi ve Erkanol (1985), Şenel ve diğ. (1984), Acarlar ve diğ., (1991) ve Saydamer (1976) tarafından Yamanyurt Formasyonu'nun yaşı Üst Permiyen olduğu belirtilmektedir. Formasyonu oluşturan kireçtaşları platform tipi çökelim ürünüdür.

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	SİMGE	FORMASYON	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	KUVAİTNER	Pleyistosen Holosen	Qal	Ayrılmamış alüvyon		Alüvyon, yamaç molozu, eski akarsu çökelleri vs...
			Qtv	Tendürek Volkanitleri		Bazalt, trakit, trakibazalt, piroklastik kayalar vs...
			Qbt	Bendimah tefrit		Tefrit, bazanit
			PIQpv	Pirreşit Volkanitleri		Bazaltik lavlar
			PIQb	Bayramlı Formasyonu		Pomzalı gölsel çökeller, marn, kireçtaşı, silttaşı
			PIQs	Saray Formasyonu		Çakıtaşı, kumtaşı, kilitaşı, silttaşı, killi kireçtaşı
			PIQa	Alaköy Formasyonu		Kilitaşı, silttaşı, marn ardalıması
			Tplag	Ağartı Formasyonu		Çakıtaşı, kumtaşı, çamurtaşı
			Tplmpb	Muradiye plato bazaltları		Bazaltik ve hawaitik bileşimdeki lavlar
			Tplev	Etrüsk Volkanitleri		Piroklastik geri düşme ürünleri, trakitik, latitik ve riyoitlik lavlar
			Tpla	Argıt Volkanitleri		Piroklastik çökeller, trakitik ve riyoitlik lavlar
			Tplkv	Kösedag Volkanitleri		Piroklastik çökeller, riyoitlik ve trakitik lavlar
			Tmad	Alikelle Dasiti		Dasit, riyoit vb...
			Tma	Adilcevaz Kireçtaşı		Neritik kireçtaşı, marn
			Tov	Van Formasyonu		Karbonat şelfi, kumtaşı, şeyl
MESOZOYİK	KRETASE	ÜST KRETASE	Ky	Yüksekova Karmaşığı		Spilit, spilitik bazalt, gabro, tüf, kumtaşı, konglomera, şeyl Resifal kireçtaşı, radyolarit, çört Ofiyolitik Melanj (serpantin harzburgit, dunit)
			Pzy	Yamanyurt Formasyonu		Neritik kireçtaşları
			Pzk	Kazlıgöl Formasyonu		Bol mikali şeyller
PALEOZOYİK	PERMİYEN	ALT	Pzt	Tepedam Metamorfizmaları		Meta-konglomera, meta-kumtaşı fillat, kuvarsit, klorit-serizit şist mermer
			Pzt	Tepedam Metamorfizmaları		Meta-konglomera, meta-kumtaşı fillat, kuvarsit, klorit-serizit şist mermer

Şekil 4.9: İnceleme alanının doğusuna ait genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesit.

4.1.2.4. Yüksekova Karmaşığı

Spilit, spilitik bazalt, bazalt, killi kireçtaşı, kireçtaşı, az oranda gabro, tüf, şeyl, kumtaşı, konglomera gibi kaya birimleri ile temsil edilmektedir. Karmaşık içindeki kireçtaşları; açık kırmızı, krem renkli, sileksit yumrulu, çakıllı, planktonik foraminiferli olup, volkanitlerle girik ve ardalımalıdır. Kireçtaşları yer yer radyolaritlerle yanal ve düşey geçişlidir. Konglomeralar ve çakıllıklı kumtaşları içerisindeki çakılların bir bölümü

Yüksekova Karmaşığı'ndan türemedir. Bunlar yanal yönde kireçtaşları içerisinde kamalanır ve çört, radyolarit, kırmızı krem renkli kireçtaşı ve volkanit kökenli taneler kapsar. Volkanitler yastık yapılıdır. Lav parçalarının kırmızı renkli kireçtaşları içerisinde ya da kireçtaşı mercceklerinin lavlar içinde olduğu izlenmiştir. Bazalt dışında aglomera ve tüfleri de kapsamaktadır. Yüksekova Karmaşığı içerisinde yer yer granit sokulumları ve serpantinit tektonik dilimleri de izlenir. Kalınlığı en fazla 2500 m'ye ulaşan Yüksekova Karmaşığı, yanal ve düşey yönde oldukça sık kaya türü değişimi gösterir. Birim, içerdiği fosiller bakımından Şenel ve diğ. (1984) tarafından Üst Kretase (Maestrihtiyen) - Paleosen yaşlı kabul edilmiştir. Yüksekova Karmaşığı'na ait birimler, inceleme alanının doğusunda mostra vermektedir.

Bu çalışma kapsamında radyolarit-çört üyesi, resifal kireçtaşı üyesi, Mehmetalan peridotiti, Bakışık ofiyolitik melanji ve alistrostromu Yüksekova karmaşığı bünyesinde değerlendirilmiştir. *Radyolarit-çört üyesi*; Şenel ve diğ. (1984) tarafından adlandırılan üye, Duanca köyü güneyinde tipik olarak gözlenir. İnce orta katmanlı gri, yeşil, kırmızı, kahverenklerde, mikritik dokulu pelajik kireçtaşı, radyolarit, çört ardalanması ile bunlar arasında yer yer gözlenen kil seviyelerinden oluşmuştur. Kireçtaşı oldukça sert ve çatlaklı, çatlakları ikincil kalsitle doldurulmuş olup, yer yer de mangan saptanmıştır (Şenel ve diğ., 1984). Mehmetalan peridotiti üzerinde tektonik ilişki ile bulunan birim, yanalda ve düşeyde formasyonu diğer üyeleri ile geçişlidir. Yer yer genç volkanikler tarafından örtülür. Formasyonun kalınlığı 100 m'dir. Erkanol ve diğ. (1991) tarafından derlenen örneklerde, bazı fosiller ve radyolarya görülmüştür. İçerdiği fosil kapsamına göre Maestrihtiyen (Üst Kretase) yaşı verilmiştir. *Resifal kireçtaşı üyesi*; Şehittepe Formasyonu'nun üst kesiminde yer alan üye, Şenel ve diğ. (1984) tarafından adlandırılmıştır. Yüksekova Karmaşığı'nın en üst birimini oluşturur. İnceleme alanını kuzeydoğusunda çok küçük mostralar vermektedir. Resifal kireçtaşı üyesi; gri, bej, yer yer sarımsı renktedir. Orta-kalın katmanlı kireçtaşı oldukça sert ve çatlaklıdır. Çatlaklar ikincil kalsitle doldurulmuştur. Bol makro ve mikro fosil içerir. Fosil içeriğine göre Tanesiyen (Paleosen) yaşı verilmiştir. Neritik fosil kapsayan bu üye, şelf ortamında çökelmiş olup, yer yer resiflerin geliştiği gözlenmiştir. *Mehmetalan Peridotiti*; Serpantinit, serpantinleşmiş harzburjit, dunit, piroksenitten oluşan birim ilk kez Şenel ve diğ. (1984) tarafından adlandırılmıştır. Mehmetalan peridotiti adını inceleme alanı

dışındaki (K52d1 paftasında) Mehmetalan Köyü'nden alır. Manto kökenli olan Mehmetalan peridotiti genelde serpantinleşmiş harzburgit ile az miktarda bulunan dunit, piroksenit ve lertzolitlerden oluşur. Serpantinit ve serpantinleşmiş harzburgitler yeşil, koyu yeşil, kırmızı ve koyu kahrenkleriyle, serpantinleşmiş dunitler ise, daha açık renkleri ve dereceli bantlaşma gösteren kromitleri ile tanınırlar. Serpantinit ve serpantinleşmiş peridotitlerin çatlaklarında krizotil ve antigorit kristalleri gelişmiştir. Mehmetalan peridotiti, yer yer tabakalı görünümdeki gabroları yer yer rodenjitleşmiş gabro ve diyabaz dayk parçalarını bloklar halinde bulundurur (Şenel ve diğ., 1984). En üstte ise tabakalı görünümlü gabrolar yer alır. Birimin ekaylanma düzlemlerinde, özellikle Yüksekova Karmaşığı ile olan dokanağında lisfenit zonu gözlenir. Kırık zonlarında metasomatizma sonucu hematit ve manyezit oluşumları gelişmiştir. Bölgede 1500 m kalınlığa ulaşan formasyonun tavan ve taban ilişkileri tektonik olup bölgesel korelasyon sonucu yerleşimini Üst Kretase'de gerçekleştirdiği kabul edilmiştir (Şenel ve diğ., 1984). Mehmetalan peridotitinin manto kökenli kayaçların levha tektoniğine bağlı olarak ıraksayan okyanus kabuğu malzemesi olduğu ve Mesozoyik boyunca gelişmiş olduğu varsayılan Neotetis'in parçası olduğu Şenel ve diğ. (1984) tarafından belirtilmiştir. *Bakışık ofiyolitik melanji ve olistrostromu*; ofiyolitik melanj ve olistrostromdan oluşan birim, Özalp ve çevresinde Şenel ve diğ. (1984) tarafından Bakışık Karmaşığı olarak adlandırılmıştır. Bakışık melanj ve olistrostromu daha önce Mordağ metamorfikleri ve Yüksekova Karmaşığı içerisine dahil edilmiştir (Özkaya, 1977; Balkaş, 1980; Perinçek, ve 1990). Birim, Acarlar ve diğ. (1991) tarafından Dirbi Karışığı olarak tanımlanmıştır. Aynı birim, Saydamer (1976) tarafından ise Karmaşık seri olarak incelenmiştir. Serpantinit, harzburgit, dunit, gabro, radyolarit, çört, şeyl, kireçtaşı, metamorfite, kumtaşı, kıltaşı, bazik volkanit gibi kaya türlerinden oluşan birim, oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. İçerisinde büyük boyutta mermer, dolomit, metadetritik, bazik volkanit gibi tektonik dilimler bulunur. Genellikle serpantinitik hamur içinde yer yer değişik türde kireçtaşı, çört, radyolarit, volkanit bloklarından oluşur. Birim içerisinde kumtaşı, konglomera, silttaşı gibi kırıntılı kayalar izlenir. Bu kırıntılı kayaların bir kısmı yer yer olistostrom karakterindedir. Kalınlığı 0-400 m arasında değişen birim, yanal yönde çok sık kaya türü değişimi gösterir. Alt ve üst ilişkisi genellikle tektonik olan birimin üzerinde Geç Paleosen-Eosen ve Oligosen-Miyosen yaşlı kaya birimleri aşıl uyumsuz olarak bulunur. Geç Kretase sonlarında oluşan Bakışık melanj ve olistrostromu, bölgede Eosen

ve Miyosen'de gelişen yatay hareketlerle güneye doğru aktarılmış ve daha kaotik bir yapı kazanmıştır. Bu aktarılma sırasında Paleosen - Eosen yaşlı formasyonlar da birim içerisine tektonik dilimler halinde katılmıştır.

4.1.2.5. Toprakkale Formasyonu (Tpt)

İnceleme alanının doğusunda Senozoyik'in tabanında Üst Paleosen-Alt Eosen yaşlı Toprakkale Formasyonu bulunmaktadır. Formasyon, Acarlar ve diğ. (1991) tarafından Toprakkale Formasyonu olarak, Erkanol ve diğ. (1991) tarafından Aktaş Dağı'ndan iyi izlendiği için Aktaş kireçtaşı olarak adlandırılmıştır. Toprakkale formasyonu, sarı-bej renkli fosilli neritik kireçtaşlarından ve kumlu kireçtaşlarından oluşmaktadır. Formasyon Alt-Orta Eosen yaşlı Tekmal Formasyonu (Eşengöl flişi) tarafından üzerlenmektedir. İnceleme alanının doğusunda küçük mostralara vermektedir.

4.1.2.6. Eşengöl flişi (Tee)

Alt-Orta Eosen yaşlı yarı pelajik-pelajik çökellerden oluşan bu formasyona, Şenel ve diğ. (1984) tarafından Yücelendere Formasyonu, Acarlar ve diğ., (1986) tarafından yapılan çalışmada Tekmal Formasyonu, Erkanol ve diğ. (1991) tarafından yapılan çalışmada ise Eşengöl flişi adı verilmiştir. Bu çalışmada, Eşengöl flişi adı kullanılmıştır. Formasyon, genel olarak, çamurtaşı, marn, kumtaşı, çakıltası ve mikritik kireçtaşı aralanmasından oluşmaktadır. Bu kaya türleri, yer yer 30-40 m kalınlığında ara katkılar biçiminde gözlenmektedir. Bu aralanımın içine, seyrek olarak, türbiditik kumtaşı, tane destekli kumtaşı, küçük taneli intraformasyonel çakıltası, çört-radyolarit, şeyl ara düzeyleri girmektedir. Marnlar, ince-orta tabakalı olup şarabi renklidir. Bunlar, az miktarda çört yumruları içermektedir. Çamurtaşları, kırmızı renkli ve ince tabakalıdır. Mikritik kireçtaşları ise çamurtaşı ve marnlar içinde ara katkı biçiminde gözlenmektedir. Bunlar kırmızı, sarı, krem ve sarımsı krem renklidir. Kırmızı kireçtaşları, ince-orta tabakalı, krem renkli kireçtaşları ise orta tabakalanmalıdır. Kırmızı kireçtaşları arasında ince çört-radyolarit ve kumtaşı ara düzeyleri bulunmaktadır (Acarlar ve diğ., 1991). İnceleme alanının doğusunda rastlanmaktadır. Erkanol ve diğ. (1991) tarafından derlenen örneklerden; Nummulites sp. (retiküle), Chapmanina sp., Gypsina sp., Discocyclina sp., Asterocyclina sp. gibi fosiller tespit edilmiş ve Eosen yaşı verilmiştir.

4.1.2.7. Van Formasyonu (Tov)

Şenel ve diğ. (1984) tarafından ise Mendikdere Formasyonu olarak, Acarlar ve diğ. (1991) tarafından ise Van Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada Van Formasyonu adlanması kullanılmıştır. Kırıntılı kayalardan oluşan Van Formasyonu'nun hakim kaya türünü, kumtaşı ve şeyl aralanmaları oluşturmaktadır. Kumtaşları, ince-orta, seyrek olarak da kalın tabakalı, şeyller ise ince tabakalıdır. Tektonik etkilerle kimi şeyl düzeylerinde yapraklanma görülmektedir. Kumtaşları, bol ofiyolit gereçli olup bitki izli ve genelde karbonat çimentoludur. Kumtaşları, bazen makro fosil kavkaları içermektedir. Ayrıca kumtaşları arasında grimsi kahverenkli, ince tabakalı, kumlu karbonat düzeylerine de rastlanmaktadır. Van formasyonu çökellerinin saha gözlemleriyle tanımlanan litolojik ve sedimentolojik özellikleri ve ilgili kaya birimlerinden elde edilen fosillerce ayırtlanan biyofasiyeslerin belirlediği paleoekolojik konumları temel alınarak; alttan üste doğru; alüvyon yelpaze, resif (biyofasiyes), sık karbonat şelfi (biyofasiyes), derin karbonat şelfi (biyofasiyes), derin deniz (havza - biyofasiyes) ve çökel ortamlar tanımlanmıştır (Sağlam ve Örcen, 2002). Tüm bu özellikleriyle Van formasyonu, transgresif bir istif durumundadır. Formasyonun tavan çökelleri, çakıltaşı-kumtaşı-şeyl aralanmalı türbiditik bir istif sunar. İnceleme alanının güneyinde küçük mostralara vermektedir. Van Formasyonu, içerdiği fosillere göre Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşlıdır (Balkaş, 1980, Acarlar ve diğ., 1991).

4.1.2.8. Adilcevaz kireçtaşları (Tma)

Alt Miyosen yaşlı ve bol fosilli neritik kireçtaşları ve marnlardan oluşan bu birime Demirtaşlı ve Pisoni (1965) tarafından yapılan çalışmada Adilcevaz Kireçtaşı adı verilmiştir. Bu çalışmada da benzer aynı adlama benimsenmiştir. Adilcevaz Kireçtaşı, bol fosilli neritik kireçtaşı ve marnlardan oluşmaktadır. Formasyon, tabanda kumlu-karbonatlı bir matriks içinde Lamelli, Bryozoa, Mercan, Alg ve foraminifer parçaları içeren ve daha yaşlı birimler üzerinde uyumsuz olarak yer alan bir çakıltaşı düzeyiyle başlamakta ve bu düzeyin üzerine kumlu marn ve kumtaşları gelmektedir. Daha üste doğru, istif kumtaşı ve kumlu karbonat arakatkılı kireçtaşı marn aralanması biçiminde devam etmektedir. Bu istife seyrek olarak breşik kireçtaşı, tüfit ve çok seyrek olarak da çakıltaşı ara düzeyleri eklenmektedir. Kireçtaşları, beyaz-sarımsı krem renkli genellikle som görünümlü olup yer yer kalın tabakalıdır. Bunlar, bol makro fosilli ve çoğu resifaldır. Makro fosil olarak Mercan, Lamelli ve Gastropod'lara rastlanmaktadır. Marnlar, kirli

beyaz, açık gri ve sarımsı gri renkli olup orta-ince tabakalıdır (Acarlar ve diğ., 1991; Demirtaşlı ve Pisoni, 1965). Adilcevaz Kireçtaşı, tabanda Van Formasyonu üzerinde uyumsuz olarak yer almaktadır. Formasyonun kalınlığı yaklaşık 500 m'dir. Adilcevaz Kireçtaşı'nın yaşı Alt Miyosen'dir. Kaya türü özellikleri ve fosil kapsamı bakımından Adilcevaz Kireçtaşı, yamaç resiflerinin bolca yer aldığı bir karbonat platformunun şelf lagünü kesiminde oluşmuştur (Acarlar ve diğ., 1991; Demirtaşlı ve Pisoni, 1965). İnceleme alanının güneybatısında Zilan Havzası içerisinde rastlanmaktadır. Demirtaşlı ve Pisoni (1965) Adilcevaz kireçtaşının Akitaniyen-Burdigaliyen yaşlı olduğunu ileri sürerler. Acarlar ve diğ. (1991) *Tarbellastraea aquitenestreae* (Chevalier), *Goniopora* cf. *Globosa* Chevalier, *Paleoplesiastraea* cf. *Corrugata* (Micheldtti), *Flabellum extensum* Michelin, *Balanophyllia* cf. *Irregularis* Seguenza mercan topluluğuna (Acarlar ve diğ., 1991) göre birimi Erken Miyosen yaşlı kabul etmişlerdir.

4.1.2.9. Orta Miyosen Alikelle Dasiti (Tmad)

Tipik olarak Alikelle Dağı'nda izlenen birim, kirli beyazımsı, yer yer pembemsi renkli dasitik türdeki lavlar domsal yapılarıyla izlenir (Ercan ve diğ., 1990). Petrografik incelemesinde camsı hamur içinde tamamen bozuşmuş kuvars kristalleri gözlenmektedir. Kalkalkalin nitelikteki lavlarda Innocenti ve diğ. (1976), K/Ar yöntemiyle yaptıkları radyometrik yaş tayininde 13.1 My yaşa sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Bu da Orta Miyosen yaşına karşılık gelmektedir. Çaldıran ilçesi Alikelle Köyü ve doğusunda mostralalar vermektedir. Dasit, riyolit vb. birimler içermektedir. 20 km²'lik bir alanda yayılım göstermektedir.

4.1.2.10. Alt Pliyosen Muradiye plato bazaltları (Tplmpb)

Pliyosen dönemindeki volkanizmanın ilk ürünlerini oluşturan plato bazaltları, çoğunlukla açılma çatlaklarından püskürmüş bazaltik ve hawaiiitik bileşimde lavlarla temsil edilmektedir (Oyan, 2011). Erken Pliyosen'in başlarında, inceleme alanının güneyinde yer alan Etrüsk volkanının doğusunda, batısında, kuzeyinde ve güneyinde çok geniş bir yayılım göstermektedir (Lebedev ve ark., 2010). Çalışma alanı içerisinde en tipik görüldüğü yerler Muradiye ilçesindeki Ovapınar ve Kocasapan köyleridir. Plato bazaltları için Oyan (2011) tarafından K^{40}/Ar^{40} yaşlandırması yapılmış ve birimin yaşı 3.85 – 4.02 milyon yıl zaman aralığında bulunmuş, dolayısıyla birimin yaşı Geç Pliyosen kabul edilmiştir.

4.1.2.11. Alt Pliyosen Etrüsk volkanitleri (Tplev)

Yaklaşık 500 km²'lik alan kaplayan bu volkan, trakitten riyolite kadar lavlar ve piroklastik geri düşme ürünleri ile karakterize edilir. Etrüsk volkanı, Van Gölü'nün kuzeydoğusunda yer alan, güneye açık at nalı şeklinde ve yaklaşık 4 km çapında kalderaya sahip olan bir stratovolkandır. Volkanın lavları çıkış merkezinden yaklaşık 40 km kadar uzağa akmıştır (Oyan, 2011). Etrüsk volkanına ait lav ürünleri, Oyan (2011) tarafından hazırlanan tez çalışmasında kaldera öncesi ve kaldera sonrası olmak üzere 2 evreye ayrılmıştır. Kaldera öncesi aktivite piroklastik geri düşme ürünleri ile başlayıp, trakitik lavlar ve latitik lavlarla devam etmiş ve son olarak riyolitik lavlar püskürtmüştür. Kaldera içinde gözlenen ışınsal dayklara ait yeni ⁴⁰K / ⁴⁰Ar yaş verileri 3.99 My ile 4.20 My arasında değişen yaşlar vermiştir (Lebedev ve diğ., 2010). Bunlar kaldera öncesi evreye ait riyolitik ve trakidasitik bileşimde lavları oluşturmaktadır. Volkanın kaldera sonrası evresi ise çoğunlukla yamaç erüpsiyonları şeklinde gelişmiştir (Oyan, 2011). Radyometrik yaşlandırma işlemleri sonucu Etrüsk volkanitlerinin yaşı; Alt Pliyosen - Pliyosen yaşlı kabul edilmiştir (Oyan, 2011). Etrüsk volkanitleri, inceleme alanında yer alan Deliçay Havzası'nın büyük bir bölümü ve Muradiye - Çaldıran Havzası'nın batısını kapsamaktadır.

4.1.2.12. Alt Pliyosen Köseadağ volkanitleri (Tplkv)

Yaklaşık Doğu - Batı uzanımlı ve yoğun piroklastik çökeller ile karakterize olan Pliyosen yaşlı bir volkanik merkezdir (Oyan, 2011). Bu volkanik merkez Tendürek volkanitleri ile üzerlenmiş ve Etrüsk volkanitleri ile eş yaşlıdır. 120 km² lik bir alanda yayılım gösteren bu volkanik merkez, asidik karakterli olup riyolitik ve trakitik bileşime sahip lavlar püskürtmüştür. Yoğun fay sistemleri ile kesilen bu volkanik merkezde, kayaçların ve piroklastik geri düşme çökellerinin yoğun alterasyona maruz kaldıkları söylenebilir (Oyan, 2011). Çaldıran fayının volkanın kuzey yamaçlarını keserek ikiye ayırdığı da tipik olarak gözlenmektedir.

4.1.2.13. Alt Pliyosen Argıt Volkaniti (Tpla)

Muradiye ovasının KD'sunda bulunan bir volkanik merkezdir. Pliyosen yaşlı olup, Köseadağ volkanitleri ve Etrüsk volkanitleri ile eş yaşlıdır (Oyan, 2011). 245 km²'lik bir alanda yayılım göstermektedir.

4.1.2.14. Ağartı Formasyonu (T_{plag})

Genel olarak çakıltaşlarından oluşan birim, Acarlar ve diğ. (1991) tarafından adlandırılmıştır. Formasyondaki çakıltaşları gri, yeşil renkli, kötü boylanmalı ve çapraz tabakalanmalıdır. Yeşil, kırmızı renkli çamurtaşı düzeyleri, yeşil, kırmızımsı renkli ince tabakalı, ince taneli kumtaşları, çakıltaşları içinde ara seviyeler olarak gözlenir. Formasyon karasal akarsu ortamında çökelmiştir. Yaklaşık 100 m kalınlığında olan bu birim, yaşlı kaya birimleri üzerinde uyumsuz olarak bulunur. Üstten ise birimi Alaköy formasyonu uyumsuz olarak örter. Ağartı formasyonu stratigrafik konumuna göre Alt Pliyosen yaşlı kabul edilmiştir (Acarlar ve diğ., 1991).

4.1.2.15. Saray Formasyonu (P_{IQs})

İlk kez Şenel ve diğ. (1984) tarafından tanımlanan birim, genel olarak çakıltaşı, kumtaşı, kiltası ve silttaşı ardalananmasından oluşur. Formasyondaki çakıltaşları orta-kalın tabakalı, kaba taneli, yer yer masif ve kötü boylanmalıdır. Kumtaşları kirli sarı, açık gri ince - orta tabakalı, orta kaba taneli, kötü boylanmalı olup, daha çok birimin üst düzeyine yakın bölümlerinde izlenir. Kiltası ve silttaşlarında yer yer izlenen killi kireçtaşları birimin üst düzeyini oluşturur. Formasyon genel olarak yatay tabakalıdır. Birim göl ve akarsu ortamında çökelmiştir. Birimin yaşı kireçtaşlarında saptanan mollusk kavkı izlerine göre Pliyosen - Pleyistosen olarak kabul edilmiştir (Şenel ve diğ., 1984).

4.1.2.16. Bayramlı Formasyonu (P_{IQb})

Pomzalı gölsel çökellerden oluşan birim, Acarlar ve diğ., (1991) tarafından adlandırılmıştır. Formasyon, pomzalı gölsel çökellerden oluşur. Kirli beyaz, sarımsı beyaz renkli marn, gri, sarımsı renkli kireçtaşı, silttaşı ardalanması ve kötü boylanmalı, çapraz tabakalı çakıltaşı, ince-orta tabakalı, ince taneli kumtaşı düzeyleri birimin yaygın kaya türleridir. Pomzalı ara katkılar gri renkli olup, küçük tanelidir (çakıl-kum). Formasyon, stratigrafik konumuna göre Geç Pliyosen - Pleyistosen kabul edilmiştir (Acarlar ve diğ., 1991). Birim göl-göl kıyısı ortamında çökelmiştir.

4.1.2.17. Alaköy Formasyonu (P_{IQa})

Acarlar ve diğ. (1991) tarafından Alaköy Formasyonu olarak tanımlanan birim, açık sarı renkli, ince tabakalı kiltası, silttaşı ve marn ardalanmasından oluşan gölsel çökeller ile çapraz tabakalı, aşınma yüzeyli, yanal olarak devamsız çakıltaşı, ince taneli, ince tabakalı kumtaşı ve silttaşı ardalanmasından oluşan akarsu-delta fasiyes topluluğundan oluşur.

Akarsu çökelleri içinde kırıntılı pomzalar izlenir. Birim, menderesli akarsu, delta ve göl ortamında çökelmiştir. Birim içinde fosil bulunmamıştır. Ancak formasyonun yaşı stratigrafik konumuna göre Geç Pliyosen-Pleyistosen olarak kabul edilmiştir (Acarlar ve diğ., 1991).

4.1.2.18. Pirreşit volkaniti (PlQpv)

Muradiye ilçesinin güneydoğusunda 10 km²'lik bir alanda yayılım göstermektedir. Söz konusu alanda bazaltlar görülmektedir. Pirreşit volkanı adlaması Oyan ve diğ. (2016) tarafından yapılmıştır. Pirreşit volkanı ile ilgili yapılmış ayrıntılı bir çalışma henüz bulunmamaktadır.

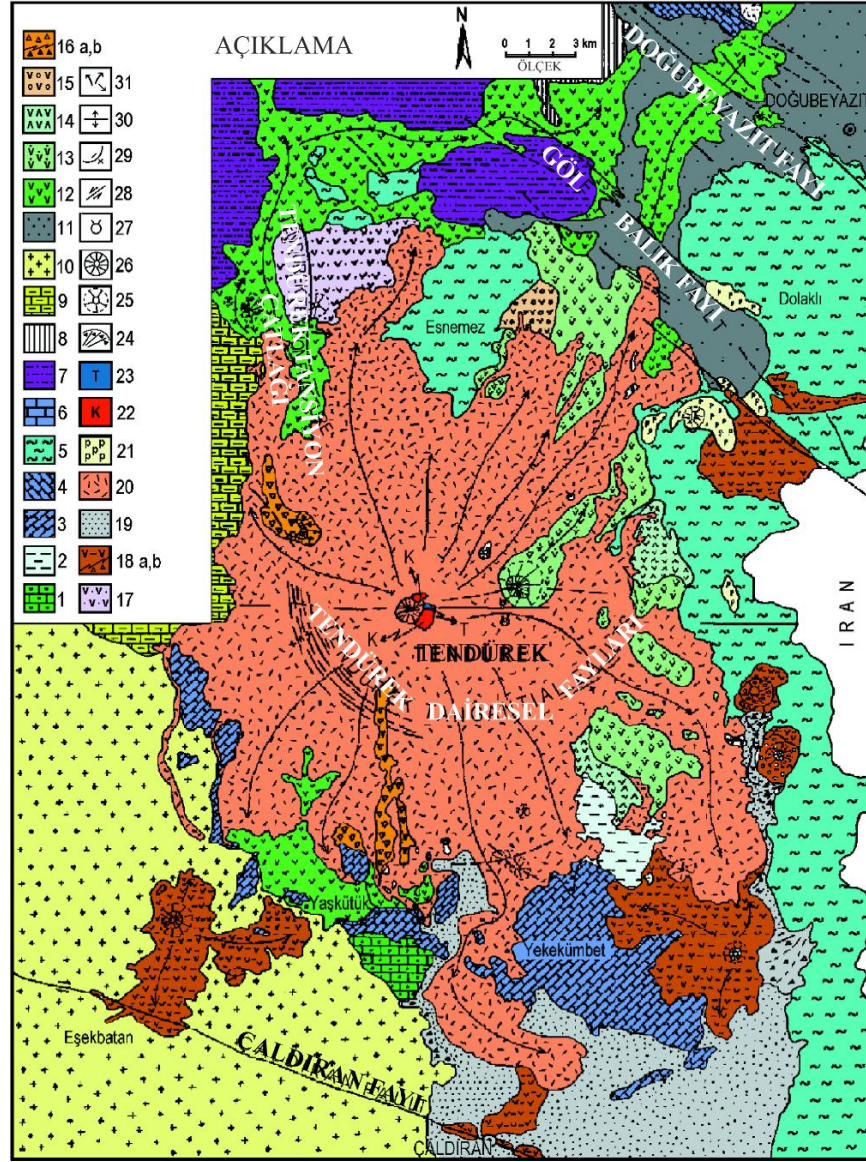
4.1.2.19. Tendürek volkanitleri (QTv)

Tendürek volkanı düşük rölyefli, 3500 metre yükseklikte ve yaklaşık 650 km²'lik bir alanda yayılım gösteren bir volkanik merkezdir. Neredeyse 300 km³ volkanik materyalden meydana gelmiştir (Yılmaz ve diğ., 1998). Volkan, Çaldıran ve Doğubeyazıt ilçeleri arasında, İran sınırı yakınında ve Ağrı Dağından 50 km güneyde konumlanmıştır (Şekil 4.10). Tendürek volkanının tümü sağ doğrultu atımlı olan Balık Gölü fay zonunda gelişmiş polijenik bir kalkan volkandır. 30 km'den fazla uzunluğa sahip fay, İran'dan Diyadin alanına kadar uzanmaktadır. Ayrıca, Tendürek volkanının merkezi eliptik bir şekle sahiptir (30 × 20 km). Elipsin uzun eksenini kuzey-güney yönünde uzanmış ve açılma kırıklarına paralel durumda konumlanmıştır.

Söz konusu tansiyonal kırıklar Balık Gölü fay zonu ile birlikte meydana gelmiştir. Tendürek volkanının merkezinde tepede iyi gelişmiş iki volkanik koni bulunur. Batıda bulunan tepe, doğudakine nazaran daha geniş ve uzundur. Geniş olan tepe hemen hemen 1km çapında ve 250 metre yüksekliğinde, daha küçük olan tepe ise yaklaşık olarak 800 metre çapında ve 100 metre yüksekliğindedir (Yılmaz ve diğ., 1998). Batıda bulunan tepe daha küçük olup, morfolojik olarak farklı özelliklere sahiptir. Batı kraterin ise dar ve huni şeklinde bir açıklığa sahip olduğu görülmektedir. Kraterin batı sırtında uzun ve silindirik bir şekle sahip trakitik bir iğne (spine) uzanmıştır. Doğu krateri düzdür ve bir krater gölüyle dolu haldedir. Buzullarla örtülmüş olan zirveyi iki koni ile çevrelenmektedir ve kısmen parçalanmış haldedir. Volkanın güney yarısı yarı dairesel, konsantrik faylar ve mevcut kırıklar nedeniyle daha iyi gelişmiştir. Söz konusu durum kuzey yarısında

bulunmamaktadır (Yılmaz ve diğ., 1998). Tendürek volkanitlerini; bazalt, trakit, trakibazalt, obsidyen, trakitik lav ve beraberindeki akma breşleri ve aglomera, piroklastik kayalar, bazalt lavı ve beraberindeki curuf çökelleri oluşturmaktadır (Şekil 4.10).

Tendürek volkanı; koni öncesi faz, koni oluşum fazı, iklimik faz, yamaç püskürme fazı ve geç faz olmak üzere 5 ayrı püskürme fazı sonucunda oluşmuştur. Tendürek volkanının yaşı 2500 yıl şeklinde belirlenen (Ercan ve diğ., 1990) güneydoğu konisinde oluşan bazaltik lav çıkışının ardından volkanizma durmuştur. Buna ek olarak, volkanın doğu kraterinde buzla kaplı bölgelerde küçük buhar çıkışları görülmektedir. Çaldıran ovasının kuzey bölümünde gaz çıkışları görülmüştür (Yılmaz ve diğ., 1998). Nagao ve diğ. (1989), $^3\text{He}/^4\text{He}$ oranlarını ölçmüş ve 5.3×10^{-6} ile 5.6×10^{-6} arasında olmak üzere bir sonuç elde etmiştir. Farklı volkanik kayalar kullanılarak yapılan izotopik yaş tayinlerinde, 0.7 My'dan tarihsel çağlara kadar değişiklik gösteren yaşlar tespit edilmiştir.



Şekil 4.10: Tendürek volkanik merkezinin jeoloji haritası 1- Kuvarsit, 2- Mika şist, 3- Mermer, 4- Permiyen rekristalize kireçtaşı, 5- Ofiyolitik karmaşık (Üst Kretase), 6- Paleosen kireçtaşı, 7- Eosen kireçtaşı, 8- Eosen fliš, 9- Alt Miyosen kumtaşı, konglomera ve kireçtaşı, 10- Aladağ volkanik merkezinin volkanik kayalar, 11- Doğubeyazıt ovası alüvyonu, 12- Bazalt, 13- Trakit, 14- Trakibazalt, 15- Obsidyen, 16- (a) Trakitik lav, (b) beraberindeki akma breşleri ve aglomera, 17- Trakitik lav ve piroklastik kayalar, 18- (a) Bazalt lavı ve (b) beraberindeki curuf çökelleri, 19- Çaldıran ovası alüvyonu, 20- Bazalt, 21- Pümeks döküntü ve akma çökelleri, 22- Kül döküntüsü çökelleri, 23- Trakit, 24- Yalpaze çökelleri (volkanik ve volkanik olmayan), 25- Volkanik koni, 26- Krater, 27- Gaz çıkışı, 28- doğrultu atımlı fay, 29- dairesel fay, 30- Gerilme çatlağı, 31- Akma yönü (Yılmaz ve diğ. 1998'den türkçeleştirilmiştir).



Şekil 4.11: A)Yayladan ayrılmış Tendürek kalkan volkanı (Bakış yönü: GD). Arkada 1500 m yüksekliğindeki volkanı temsil eden hafifçe yükselmiş yamaçlara dikkat ediniz. Solda keskin cürüflu aa lavları ve sağda düz pahoehoe lavları. Her iki lav aynı bazaltik püskürmeden türemiştir. Öndeki Çaldıran ovası alüvyonları yerleşmeden önce, lavlar 10 km'den fazla öteye taşınmıştır. B) Tendürek volkanının batı kraterinin açıldığı huni biçimli krateri ve önde 150 m yükseklikte çıkıntılı profil görüntüsü. Krater 400 m yukarıdadır. Krater duvarı kısmındaki yüzlerce ince ve hafif dalımlı bazaltik lav akıntılarına dikkat ediniz (Yılmaz ve diğ., 1998).



Şekil 4.12: Tendürek bazaltları (Bakış yönü:Kuzey, Tendürek dağı kuzeyi).

4.1.2.20. Bendimahi tefrit (Qbt)

Etrüsk volkanının doğusunda Bendimahi çayı boyunca akmış alkali bazaltik lav akışları yer almaktadır. Tefrit, olivinsiz feldispatoidli bazaltik bir lavdır. Bu birim, Oyan (2011) tarafından "Bendimahi tefriti" olarak adlandırılmış ve 0.28 My'lık $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ jeokronolojik yaş verisi elde edilmiştir. Bu lavların Etrüsk kökenli olmayıp, daha kuzeydeki başka bir volkanik sistemin lavları olduğu Oyan (2011) tarafından ifade edilmiştir. Söz konusu birim, Bendimahi çayı boyunca 8 km'lik bir lav akıntısı meydana getirmiştir. Oyan (2011)

tarfindan gerçekleştirilen jeokimyasal analizler sonucunda peralkali - bazalt özelliği sunduğu anlaşılan ve "tefrit - bazanit" olarak isimlendirilen bu lavların, dere boyunca 10 m'ye ulaşan stunsu soğuma çatlakları oluşturdukları görülmektedir belirtilmiştir. Söz konusu lavların üstünde Bendimahi ayı boyunca bazı lokasyonlarda sıcak ve soğuk su çıkışlarına bağlı olarak travertenler oluşumları dikkat çekicidir (şekil 4.13).



şekil 4.13: Bendimahi ayı boyunca akımış tefrit-bazanit lav akışları (Muradiye şelalesi, bakış yönü KD).

4.1.2.21. Kuvaterner yaşlı alüvyon (Qal)

Dere ve gl yataklarında çökelmiş çakıl, kum, kil, silt ve dik yamaçlar boyunca oluşmuş yamaç döküntüleri günümüz çökel topluluğunu oluşturur. Eski akarsu - göl çökelleri; delta, fan delta ve gl kıyısı çökelleri de bu birim altında değerlendirilmiştir. Delta kelleri ince taneli gereçlerden, fan delta çökelleri ise ince kum, silt, kil, yer yer çakıl ve kumdan, gl kıyısı çökelleri ise koylar ile kumsal alanlarında ve gl akıntılarına bağlı olarak gelişen spitler ile geçici lagünler, kıyı bataklıkları ve kıyı gerisi gölcüklerde gelişmişlerdir. Koy ve kumsallarda çakıllı ve kumlu düzeyler, spit, geçici lagün, kıyı bataklığı ve kıyı gerisi gölcüklerde ise genellikle ince kumlu, siltli düzeyler egemendir. Bu çökellerin tamamı tutturulmamış ya da az tutturulmuştur.

4.1.3. Yapısal Jeoloji

Bu bölümde çalışma alanı içerisinde gözlenen başlıca yapısal özellikler tanıtılacaktır. Bunlar faylar ile kırık ve çatlaklar başlıkları altında incelenecektir.

4.1.3.1. Faylar

İnceleme alanındaki ana fayları sağ yönlü doğrultu atımlı Çaldıran fayı ve sağ yönlü doğrultu atımlı Erciş fayı oluşturmaktadır. Ayrıca Erciş'te gözlenen Kömter Fayı, Meçtili Fayı, Şor Fayı, Doğancı Fayı, Şeytanderesi Fayı ve İlanlı Fayı gibi bazı tali faylar bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında ana faylarla ilgili bazı bilgiler verilecektir.

Çaldıran Fayı; 290-315° doğrultulu, 60 km uzunluğunda sağ yönlü doğrultu atımlı bir faydır. Çaldıran Fayı, Van Gölü'nün KD'sunda Türkiye - İran sınırında 40 km'lik bir alanda konumlanmıştır (Koçyiğit ve diğ., 2001). İran topraklarına kadar devam eden kırık zonu, birçok parçadan meydana gelmiştir. Fayın görünür atımı yaklaşık 1350 m'dir (Çakır, 1995). Çaldıran Fayı, kuzey bölüm ve güney bölüm olmak üzere iki alt kola ayrılmıştır. Fayın kuzey bölümü 290°'lik bir doğrultuyla birkaç km devam eder, sonra Çaldıran havzası Kuvaterner çökellerinin altında yok olur. Fayın güney bölümü 315°'lik bir doğrultuyla devam eder ve hem Tendürek volkanının Kuvaterner bazaltik lavlarını, hem de Çaldıran'ın genç çökellerini keser. Sonra da bir ofiyolitik melanaj içine girer ve artık Türkiye-İran sınırında gözlenemez (Koçyiğit ve diğ., 2001).

Çaldıran Fayı ayrıca güçlü morfolojik olaylara sahne olmuştur. 24 Kasım 1976 Çarşamba günü saat 14.30'da 7.3 büyüklüğünde büyük bir deprem meydana gelmiş ve 5000 kişinin ölümüne neden olmuştur (Çakır, 1995). Çaldıran fayının maksimum 3.5 m'lik sağ yanal atım yaptığı kaydedilmiştir (Gülkan ve diğ., 1978). Yırtılma genişliğinin ise 24 km ve fay zonunun 78° güneye eğimli olduğu saptanmıştır (Ohta ve diğ., 1980). Çaldıran civarında 2000 km²'lik geniş bir alanda yıkıma neden olan Çaldıran fayı boyunca 55 km uzunluğundaki bölgede yüzeysel kırıklar meydana gelmiştir. Yüzeysel kırık zonu, sayısız iyi gelişmiş tansiyon çatlakları, çek-ayır havzalar, basınç sırtları ve ters fayları içermektedir (Koçyiğit vd., 2001).

Erciş Fayı; Erciş ilçesinin kuzeydoğusunda, KB-GD doğrultusunda uzanan ve sürekli olmayan kırıklar biçiminde gözlenir. Van gölünün kuzeydoğuya doğru uzanan kolunu da

kuzeydoğudan sınırlayan bu kırıklar toplam 20 km uzunluktadır. Fay boyunca gözlenen ve doğrultu atımlı faylanmaya özgü basınç sırtları ve açılma çatlakları, Erciş Fayı'nın Kuvaterner'de etkin olmuş sağ yanal doğrultu atımlı bir kırık sistemi olduğunu göstermektedir (Gülkan ve diğ., 1993; Gündoğdu, 2009). Deprem üretme potansiyeline sahip aktif bir faydır (Bozkurt, 2001). İltir (2011)'e göre, sağ yanal doğrultu atımlı Erciş Fayı'nın bazı kesimlerde ters bileşene sahip birbirine paralel birçok segmentten meydana gelmiş olması, bu fayın bir zon olduğu düşüncesini doğurmuştur. Söz konusu çalışmada, genellikle Pliyo - Kuvaterner yaşlı çökeller içerisinde Erciş Fayı'na ait izler belirlenmiştir.

4.1.3.2. Kırık ve Çatlaklar

Doğu Anadolu'daki sıkışma rejiminin etkisiyle, çalışma alanında özellikle bazalt ve andezit gibi kayalarda kırık – çatlak sistemleri gelişmiştir. Erciş ilçesinde Yukarı Işıklı Köyü, Koçköprü Köyü, İşbaşı Köyü ve Kocapınar bucağında çatlaklı bazaltlara rastlanmıştır (DSİ, 2013). Yukarı Işıklı köyü civarında bazaltlar siyah renkli, bol çatlaklı ve gözeneklidir. Çatlaklar düşey yönde gelişmiştir. Koçköprü köyünde bazaltlar kahverengimsi siyah renkte, sert, sütun halinde, genellikle dikey çatlaklı, alt kısmı kovukludur. İşbaşı köyünde bazaltlar siyahımsı kahverenkli, sert, altta kompakt, üstte düşey yönde çatlaklıdır. Erciş ilçesindeki Uncular, Ziyaret, Doğancı köyleri kuzeyinde bazaltlar kahverengimsi siyah, çatlaklı ve gözeneklidir. Kocapınar Bucağı batı ve kuzeyindeki bazaltlar da aynı özelliği taşır (DSİ, 2013). Erciş'teki Aladağ andezitlerinde de K-G yönlü çatlaklar gelişmiştir. Andezitler; Sabunbüken köyü güneyinde pembemsi renkli, orta sert, porfirik dokulu ve çatlaklıdır. Çatlaklar genellikle doğu-batı yönünde gelişmiştir. Sabunbüken Köyü kuzeyindeki andezitler, daha az sert, yer yer pembemsi mor renkte olup, çatlak sistemi daha az gelişmiştir. Altındere harasının kuzeyinden itibaren Köycük ve Söğütlü köylerine doğru uzanan bölgede alt kısımda pembemsi renkli ve sert, ortada esmerimsi ve gri renkli yumuşak, en üstte pembemsi sert ve çatlaklıdır. Çatlaklar genellikle düşey yönde gelişmiştir. Tandırbaşı Mahallesi kuzeyinde esmer renkli, porfirik dokulu, sert ve az çatlaklıdır. Hasanabdal köyü kuzeyinde altta esmerimsi, sert ve çatlaklı, ortada siyahımsı renkli sütunlar halinde, üstte oldukça kırılmış, dağılmış bir durumdadır. Hasanabdal köyü ile Mectili Mahallesi arasındaki andezitler ise esmer renkli, grimsi, morumsu ve pembemsi renklerde olup, bazı yerlerde sert, bazı yerlerde orta sertlikte olup, soğuma çatlaklarına sahiptir (DSİ, 2013).

4.1.4. Bölgesel Tektonik

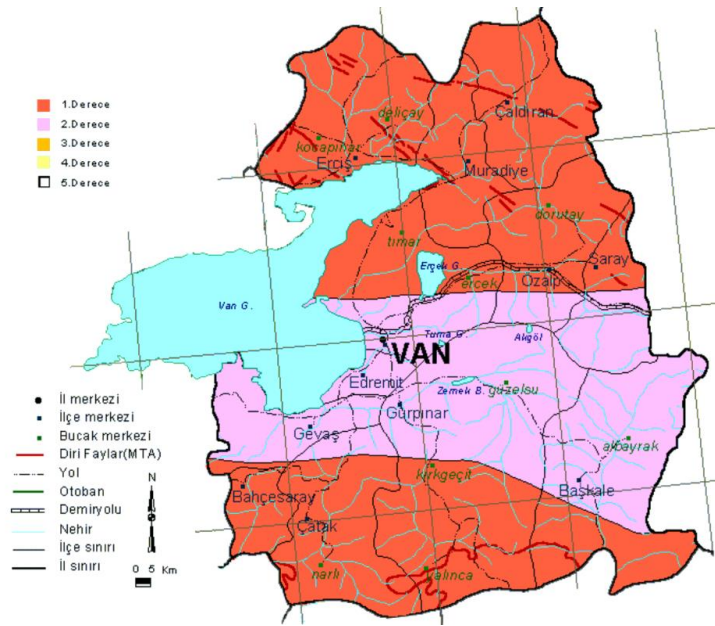
Bölgesel tektonik; çalışma alanı ve yakın çevresinin Neotektoniği ile çalışma alanının depremselliği olmak üzere 2 başlık altında incelenmiştir.

4.1.4.1. Çalışma Alanı ve Yakın Çevresinin Neotektoniği

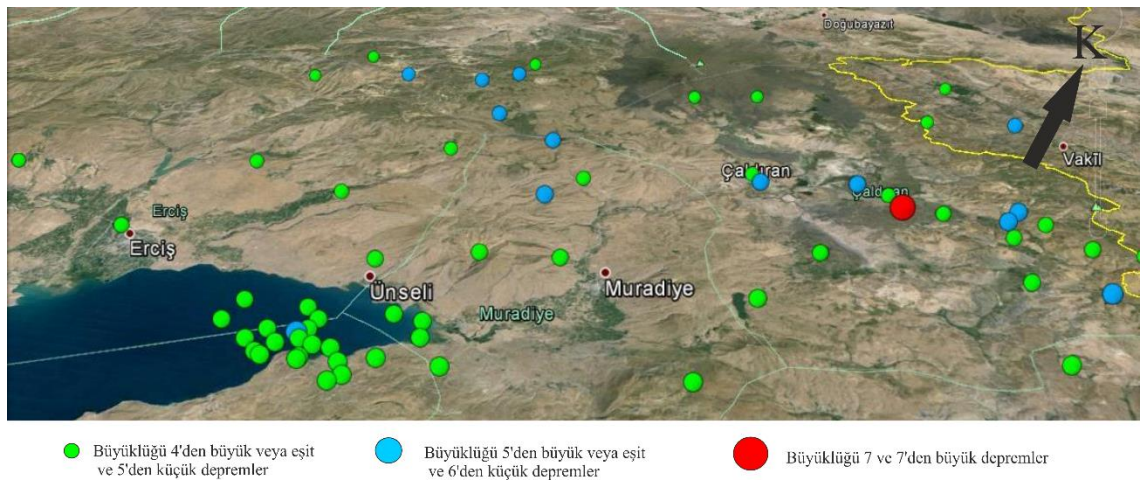
Arap levhasının Avrasya levhasıyla çarpışarak kenet oluşturduğu, Bitlis Bindirme Kuşağı'nın kuzeyinde yer alan Van Gölü Havzası, ayrıca Kuzey Anadolu Fayı'nın Doğu Anadolu Fayı'yla kesiştiği Karlıova Eklemleri ile Zagros Fay Zonu arasında konumlanmaktadır. Karlıova üçlü eklemi ile Zagros Fay Zonu arasındaki söz konusu ara bölgenin, davranış şekli yönünden Kuzey Anadolu Fayı'nın devamı olarak nitelendirilen Çaldıran Fayı gibi yine sağ yönlü doğrultu atımlı faylardan meydana gelen (Ketin, 1977) bir geçiş fay zonu içerisinde yer alması, bölgenin jeodinamiği açısından önemlidir (Köse ve Özkaymak, 2002).

Doğu Anadolu'da, neotektonik rejim başlangıcının günümüzden yaklaşık olarak 10-14 milyon yıl öncesinde Serravaliyen'in (Orta Miyosen) son dönemlerinde meydana geldiği düşünülmektedir (Şengör ve Kidd, 1979; Şengör ve Yılmaz, 1983; Dewey ve diğ., 1986; Şaroğlu ve Yılmaz, 1986; Yılmaz ve diğ., 1987; Koçyiğit ve diğ., 2001). Bu çalışmalarda, Doğu Anadolu'daki neotektonik rejimin, yaklaşık olarak 12 milyon yıl önce Avrasya ile Arap plakalarının çarpışması sonucunda Neotetis okyanusu tabanının tümüyle yok olması ile geliştiğine işaret edilmiştir. Çarpışmadan sonra gelişen yeni bir tektonik rejim ile aynı zaman içerisinde magmatik aktivite de başlamıştır. Doğu Anadolu'da yeni tektonik dönem (neotektonik) süresince, bölgesel bir yayılım gösteren B-D doğrultulu kıvrımlar, bindirmeler ve eşlenik yanal-atımlı faylar etkili olmaya başlamış; ayrıca volkanların çıkışlarını kontroleden K-G yönlü açılma çatlakları da gelişmiştir. Çarpışmadan sonra kıta-kıta birleşmesi sonrasındaki bu dönemde etkili olan deformasyon, kabuk kısılması ve kalınlaşmasına; yani bölgenin yükselmesine sebep olmuştur (Şaroğlu ve Yılmaz, 1986; Yılmaz ve diğ., 1987).

Doğu Anadolu-İran Platosu günümüzde 2000 metre civarında yükselmiştir (Koçyiğit ve diğ., 2001). Çarpışmayla birlikte bölgede etkili olan K-G yönlü kısalma ile kalınlaşan kabuk, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu yanal atımlı faylarının oluşmasına, daha sonra da D-B açılmalarla sıkışma tektoniğine uyumluluk göstermiştir (Yılmaz ve diğ., 1987). Kıta-kıta çarpışmasının olduğu söz konusu bölgede, jeolojik bir yapı olarak Bitlis Kenet Kuşağı yer almaktadır. Bitlis Kenet Kuşağı daha doğudaki İran sınırlarına kadar uzanır. Bazı güncel araştırmalarda, Üst Miyosen sonu ile Alt Pliyosen sonu arasındaki dönemde, sıkışma-kısalma ile ifade edilen tektonik rejimin, sadece Bitlis Kenet Kuşağı boyunca etkili olabileceğinden söz edilmiştir (Koçyiğit ve diğ., 2001). Alt Pliyosen'in sonlarında sağ yönlü Kuzey Anadolu Fayı, sol yönlü Doğu Anadolu Faylarının gelişmesi ve ikisi arasında kalan litosfer parçasının daha sonra Afrika okyanusal litosferine doğru kaçmaya başlayan Anadolu Plakacığı olmak üzere başlıca üç yapı oluşmuştur (Hempton, 1987; Koçyiğit ve Beyhan, 1998). Bu görüş doğrultusunda, sıkışmalı-daralmalı tektonik rejimin yerini, Üst Pliyosen'de sıkıştırımlı-genişlemeli türdeki neotektonik rejime bıraktığı Koçyiğit ve diğ. (2001) tarafından belirtilmektedir. Neotektonik rejimle temsil edilen yapılar olarak da eşlenik doğrultu atımlı faylar ve bunlarla ilgili kaçma tektoniğine yönelik alkali özellikli volkanik püskürmeler oluşmuştur (Tapponnier, 1977). Tapponnier (1977) gibi, Ketin (1977) de bazı morfolojik datalar doğrultusunda Van Gölü havzasının doğu kesiminde, sağ yönlü yanal atımlı fayların fazla miktarda gözlemlendiğini işaret etmiştir. Tümü aktif olan bu gibi yapıların Van Gölü Havzası'nın da içinde olduğu bölgede tarihsel dönemden günümüze değin sismik açıdan önemli bir hareketliliğe köken oluşturduğu (Ergin ve diğ., 1967; Soysal ve diğ., 1981; Guidoboni ve diğ., 1994; Ambraseys ve Finkel 1995; Tan ve diğ., 2008) görülmekte olup, bazı tarihsel deprem kayıtlarında ise bölgedeki yerleşim birimlerinin büyük depremlere tanıklık ettiği şeklinde bilgiler bulunmaktadır. Buna ek olarak, bölgedeki Kuvaterner yaşlı çökeller ile ilgili yapılan bir araştırmada, Van Gölü'ne ait göl istiflerinde genel olarak gözlenen "sismisit" gibi sedimantasyon ile aynı yaşta depremle ilişkili olabilecek deformasyon yapılarının bulunması, Van Gölü Havzası ve yakın dolayının Üst Kuvaterner'de 5.0 ve üzerindeki büyüklüklerde çok sayıda depremin etkisinde kalmış olduğunu göstermiştir (Üner ve diğ., 2010).



Şekil 4.15: Van depremsellik haritası (TC. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı, 2012).



Şekil 4.16: 1900-2016 zaman aralığında gerçekleşen ($4 \leq M < 8$) depremler (deprem.gov.tr/deprem katalogu, 2016). Göz hızası : 31 km, Uydu görüntü tarihi: 4.10.2013.

Bölgede yakın tarihte yaşanan en büyük deprem, 23 Ekim 2011 Pazar günü yerel saat 13:41’de merkez üstü Van-Tabanlı, lokal büyüklüğü 6.7 (M_l) ve moment büyüklüğü 7.0 (M_w), derinliği 19.02 km olan bindirme odaklı depremdir (AFAD, 2011a). Bu depremde 15 Kasım itibariyle 604 kişi hayatını kaybetmiştir (Yağmurlu ve diğ., 2011).

Akabinde 09.11.2011 tarihinde yerel saat 21.23'de merkez üstünün Van-Edremit olduğu açıklanan lokal büyüklüğü 5.6 (*MI*) (AFAD, 2011a) ve derinliği 5 km olan ikinci bir deprem, Van Merkez ve Edremit'te hasarsız olduğu düşünülen iki otelin göçmesine ve 40 kişinin ise enkaz altında kalarak yaşamlarını yitirmesine neden olmuştur (Yağmurlu ve diğ., 2011). Fiziksel parametrelerden yararlanılarak geliştirilen fay çözümleri, bu depremin daha çok sağ yönlü doğrultu atımlı bir faylanma sonucu oluştuğunu belgelemektedir. Bu depreme ait fay çözümlerinin yanı sıra, artçı şokların dizilimi KB-GD uzanımlı bir fayın bu depreme neden olduğunu göstermektedir (Yağmurlu ve diğ., 2011). 1900 - 2016 zaman aralığında gerçekleşen büyüklüğü 4 ile 8 arasında olan depremler Şekil 4.16'daki gibidir.

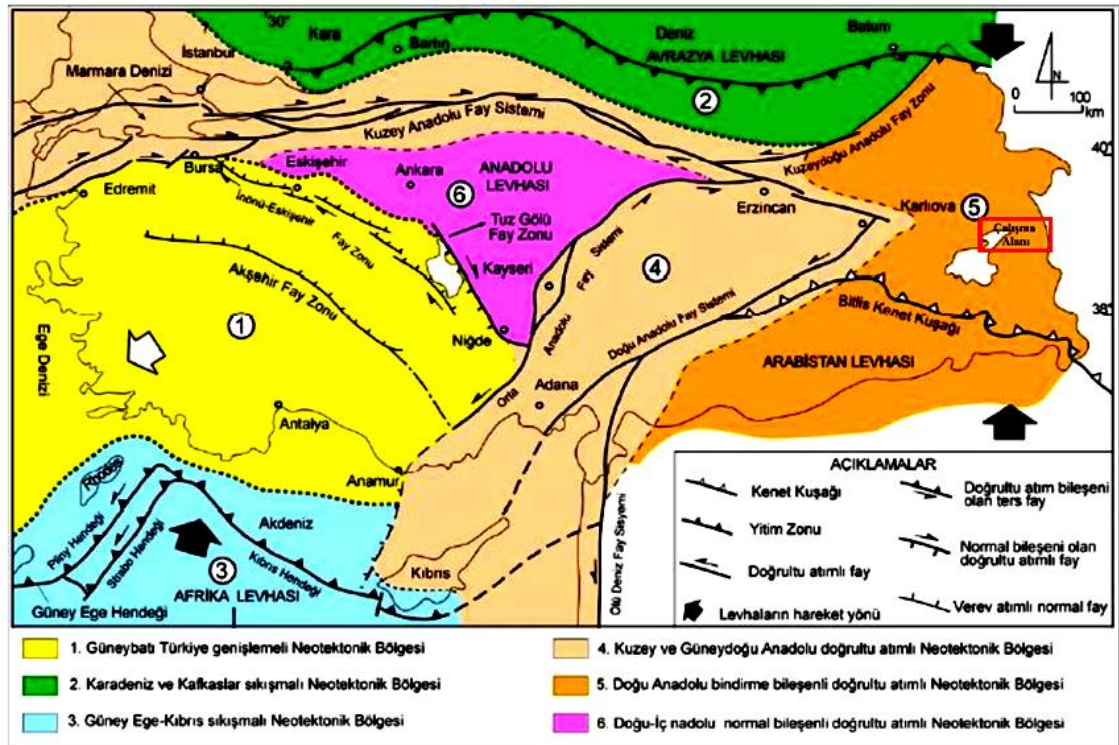
4.1.5. Jeolojik Evrim

Türkiye, Serravaliyan'de (Orta Miyosen) Anadolu levhası ile Arap levhasının Bitlis bindirme zonu boyunca çarpışmaları ile günümüzde de hala devam etmekte olan yeni bir tektonik rejimin etkisi altına girmiştir. Neotektonik dönem olarak isimlendirilen bu yeni rejimden önce gerçekleşen tektonizmaya ise, paleotektonik dönem adı verilmektedir (Şengör ve Yılmaz, 1981).

Neotektonik dönemde, Arap plakasının Avrasya plakasıyla çarpışması sonucu Anadolu bloğu batıya doğru kaçış sürecine girmiştir. Şengör ve diğ., (1985), bu süreçte Anadolu levhasının tektonik olarak kendi içinde homojen olan bölgelerini; Doğu Anadolu Sıkışma, Kuzey Anadolu, Batı Anadolu Açılma ve Orta Anadolu Ova Bölgesi şeklinde dört grupta sınıflamışlardır. Şengör ve diğ., (1985) tarafından yapılan sınıflama esas alındığında, inceleme alanı ve yakın çevresinin, Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi'nde yer aldığı görülmektedir. Afet Bilgi Sistemi Komisyonu Raporu (2011)'e göre ise; Doğu Anadolu bindirme bileşenli doğrultu atımlı neotektonik bölgesinde yer almaktadır (Şekil 4.17).

Bölge Paleozoyik'ten başlayarak Mesozoyik'in sonuna kadar süren zaman aralığında zaman zaman volkanizmanın da etken olduğu bir karbonat platformu halindedir. Üst Kretase döneminde ise, bölgedeki okyanus yok oluş sürecine girmiştir. Ricou ve diğ. (1975) yaptıkları çalışmalarda, Anatolid-Torid platformunun hemen her kesimi ile Arap platformunun kuzeyi için Üst Kretase'nin ofiyolit yerleşme dönemi olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma alanı yakın çevresinde yüzeylenen Yüksekova Grubu'nun yaş

aralığı yerleşme döneminin Üst Kretase yaşlı olduğunu ispatlamaktadır (Koçyiğit, 2013). Ofiyolit yerleşimini takiben bölge genel manada yükselmeye başlamış, tektonizma etkisiyle de bölgede ekaylı yapılar ve bindirmeler gelişmiştir (Acarlar ve diğ, 1991).



Paleosen ve Eosen'de Doğu Anadolu'nun tümünde görüldüğü gibi inceleme alanı yeniden sular altında kalmış ve çok fazla miktarda karbonatın biriktiği bir platform halini almıştır (Demirtaşlı ve Pisoni, 1965; Acarlar ve diğ., 1991). Fakat Eosen sonu Oligosen başındaki bölgesel sıkışmaya bağlı olarak bölgede tekrar ofiyolit yerleşimleri gelişmeye başlamıştır (Şaroğlu ve Güner, 1981; Koçyiğit, 2013). Söz konusu alanlar dışındaki bölgelerde ise denizel koşullar devam etmekte ve büyük bir kısmı türbiditlerden oluşan çökelimlerin geliştiği görülmektedir. Oligosen'in sonlarında ise sığ denizel koşulların hakim olduğu görülmüştür.

Miyosen'in başlangıcında, Eosen'de gerçekleşen transgresyondan daha fazla ve yaygın şekilde transgresyonların başladığı görülmüştür. Burdigaliyen (Erken Miyosen) sırasında, Miyosen transgresyonu en geniş yayılma dönemine ulaşmıştır (Şaroğlu ve Güner, 1981). Şaroğlu ve Yılmaz (1986)'ın gerçekleştirdikleri çalışmada, Doğu Anadolu'da paleotektonik dönemin en son çökellerinin Erken Miyosen yaşlı çökeller olduğunu belirtmişlerdir. Şengör (1980) ise Türkiye'deki neotektonik dönem başlangıcının Adilcevaz Kireçtaşı'nın sudan çıkması sonucunda olduğunu belirtmiştir. Şengör (1980), Serravaliyen-Tortoniyen zaman dilimini, Türkiye için paleotektonik dönemin kapanması ve neotektonik dönemin başlangıcı olarak kabul etmiştir. Orta ve Üst Miyosen zaman diliminde neotektoniğe bağlı olarak okyanus tümüyle bölgeden çekilmiş ve gerisinde gölssel alanlar bırakmıştır (Demirtaşlı ve Pisoni, 1965; Acarlar ve diğ., 1991). Bölgede hızlı gelişen regresyonla birlikte aşınmalar da gelişmiş ve aşınan malzemelerin havzalarda biriktirilmesi neticesinde kalınlığı fazla olan karasal konglomeralar, kumtaşları ve diğer kırıntılı sedimanlar gelişmiştir. Söz konusu hızlı transgresyonla birlikte bölgede mevcut gölssel alanlar iklimsel süreçlerin etkisi ile hızlı bir şekilde kurumaya başlamış ve çok sayıda alanda bu karasal kırıntılılarla geçişli evaporitler gelişmiştir (Acarlar ve diğ., 1991).

Pleyistosen'e gelindiğinde ise sıkışma rejimine bağlı olarak meydana gelen yarık ve çatlakların etkisi ile bölgede travertenler oluşmuş ve volkanizma faaliyete geçmiştir (Demirtaşlı ve Pisoni, 1965; Şaroğlu ve Güner, 1981; Acarlar ve diğ., 1991). Bu dönemden sonra bölge tamamıyla karasal şartların etkisi altına girmiştir. Gelişmiş olan travertenlerle aynı zaman içerisinde aşınmalar nedeniyle yamaçlarda malzemeler

biriktirilmiş, aşınan malzemelerin bir bölümü ise akarsularla taşınarak göl ağızlarında delta çökellerini, gölsel çökelleri ve akarsu çökellerini meydana getirmiştir (Acarlar ve diğ., 1991).

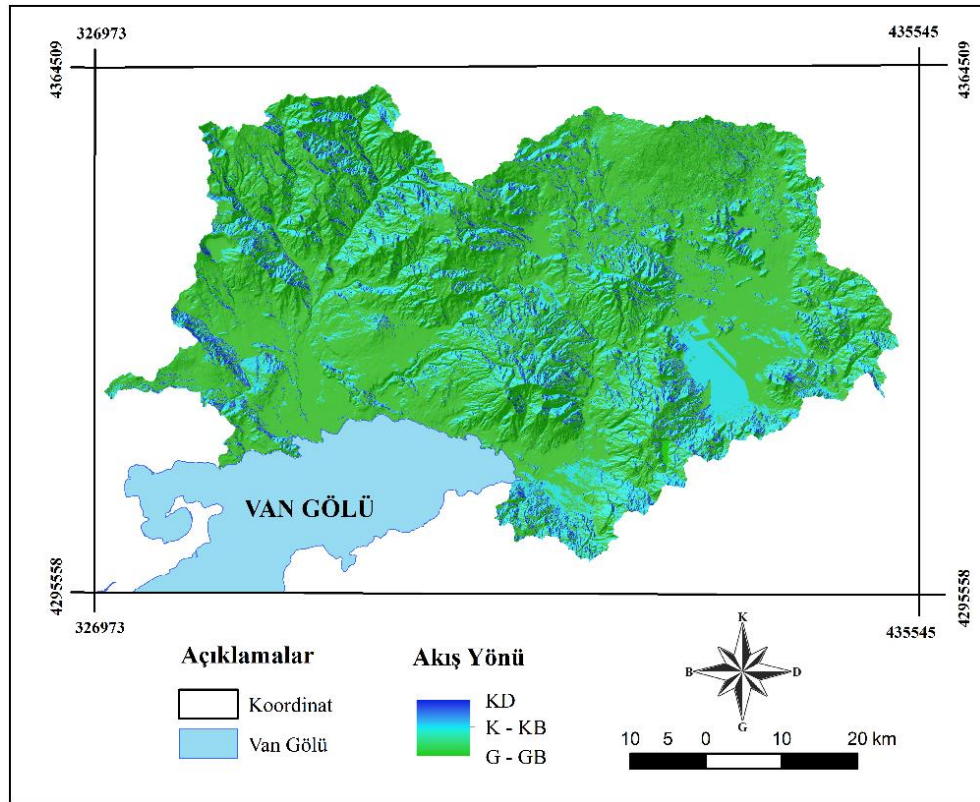
4.2. HİDROLOJİ

Bu bölüm 3 alt bölümden meydana gelmektedir. Birinci alt bölüm kapsamında bazı havza karakteristikleri belirlenerek, çalışma alanına ait drenaj alanları belirlenmiştir. İkinci alt bölümde inceleme alanındaki su noktaları ile ilgili bilgiler verilmiş ve tüm veriler birlikte değerlendirilerek inceleme alanına ait hidroloji haritası hazırlanmıştır. Üçüncü alt bölümde ise; meteorolojik veriler değerlendirilmiş ve elde edilen veriler ışığında hidrolojik su bütçesi oluşturulmuştur.

4.2.1. Havza Karakteristiklerinin Belirlenmesi

4.2.1.1. Su Akış Yönünün Belirlenmesi

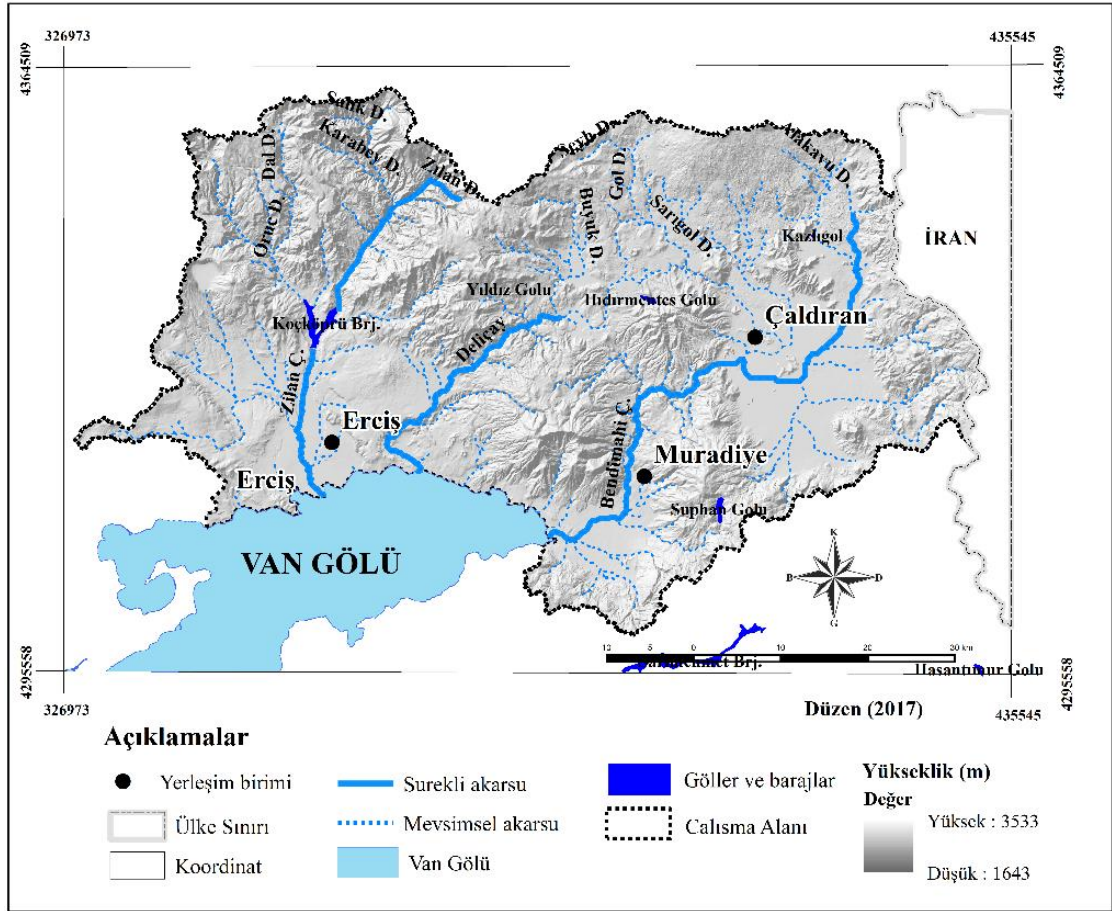
Akış yönleri, sayısal yükseklik modeline bağlı olarak hidrolojide su yollarının ve sediment taşınım hareketlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır (Tarboton, 1997). Bu çalışmada, akış yönleri belirlenirken Bölüm 2 kapsamında elde edilen sayısal arazi modelinden faydalanılmış ve CBS tabanlı bazı programlar kullanılarak akış yönleri belirlenmiştir. Şekil 4.18'deki akış yönlerini gösteren haritada her bir renk, farklı yönlere olan akışı ifade etmektedir. Koyu mavi ile gösterilen yamaçlarda yüzeysel akışın KD yönünde gerçekleştiği, açık mavi renkli bölgelerde K-KB yönünde bir akışın olduğu ve yeşille gösterilen bölgede ise G-GB yönünde akışlara rastlanmaktadır. İnceleme alanı genelinde de, akışın G - GB yönünde toplandığı görülmektedir.



Şekil 4.18: Su akış yönleri haritası.

4.2.1.2. Drenaj Ağlarının Belirlenmesi

Drenaj ağı haritası hazırlanırken, akış yönleri ve akışın toplandığı alanlar göz önünde bulundurularak CBS tabanlı bilgisayar programları yardımıyla drenaj ağı haritası hazırlanmıştır. İnceleme alanındaki drenaj ağını Zılan Çayı, Deliçay ve Bendimahı Çayı olmak üzere 3 büyük akarsu ve kolları oluşturmaktadır. İnceleme alanına ait drenaj ağı haritası Şekil 4.19'daki gibidir. Drenaj ağı haritasının elde edilmesiyle inceleme alanına ait toplam drenaj alanı hesaplanabilmiştir. 3 havzaya ait toplam drenaj alanı CBS tabanlı programların işlem yeteneğinden faydalanılarak hesaplanmıştır. İnceleme alanına ait toplam drenaj alanı 3782 km² bulunmuştur (Şekil 4.20).



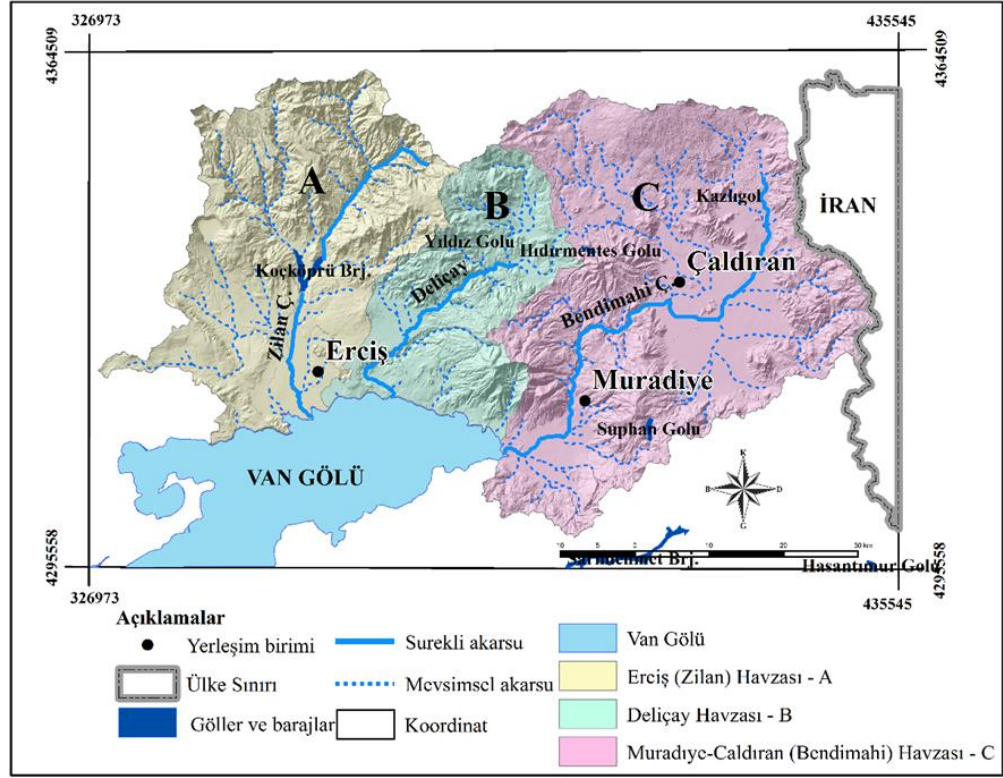
Şekil 4.19: İnceleme alanı drenaj ağı haritası.

4.2.2. Su Noktaları

Akarsular, göller ve barajlar, kuyular, kaynaklar ve sulak alanlar olmak üzere ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

4.2.2.1. Akarsular

İnceleme alanında Zilan Çayı, Deliçay ve Bendimahî Deresi olmak üzere 3 sürekli akarsu bulunmakta olup, çok sayıda da mevsimsel akarsu yer almaktadır. Sürekli akarsuların yüzeysel drenaj alanları; 1227 km² (Zilan Çayı), 668 km² (Deliçay), 1887 km² (Bendimahî Deresi) şeklindedir. Debileri ise; Zilan Çayı (8-33 m³/s), Deliçay (6-21 m³/s) ve Bendimahî Çayı ise (5-21 m³/s) arasında değişmektedir. Zilan Çayı; Ağırkaya köyü, Evbeyli mahallesi, Mağara köyünden geçerek Köycük köyünden gelen bir kolla birleşir ve Altındere harasından geçerek, Koçköprü köyü yakınında kuzeydoğudan gelen Ilıca çayı ile birleşir.



Şekil 4.20: İnceleme alanındaki yüzeysel drenaj alanları.

Zilan Çayının doğduğu yerdeki kotu 2900 m, Ilıca Çayı ile birleşmeden önceki kotu ise 1740 m dir. Deliçay, Van Gölü sınırlarına yaklaşırken havzanın güneybatısından gelen Taşlı dere ile birleşerek Van Gölüne boşalım yapmaktadır. Bendimahi Çayı ise; Van Gölü kapalı havzasının en önemli akarsularındandır. Van'ın kuzeyinde Aladağ ve Tendürek dağı arasında doğar ve Van Gölü'ne dökülür. Çok sayıda kola sahip olup, Çaldıran ovasını sulamaktadır. Çaldıran ovasından sonra çeşitli vadileri geçerek Muradiye ovasına gelir. Muradiye şelalesi bu dere üzerinde yer alır (Şekil 4.21). Burada çeşitli büyüklükte şelaleler oluşturarak Van Gölü'ne bağlanır. Uzunluğu yaklaşık 90 km'dir (DSİ, 2013). Akarsulara ait bilgiler Tablo 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.21: Muradiye Şelalesi (Bakış Yönü: KD, Bendimahi Çayı Akış Yönü: GB).

Tablo 4.1: İnceleme alanındaki sürekli akarsulara ait bilgiler.

Akarsu adı	Drenaj alanı (km ²)	Debi (m ³ /s)			Gözlem Süresi
		Ortalama	En düşük	En Yüksek	
Zilan	1227	18.206	8.245	33.860	1960-2012
Deliçay	668	10.561	6.522	21.570	1960-2012
Bendimahi	1887	13.488	5.860	21.942	1960-2012
Toplam	3782	42.256	20.627	77.372	1960-2012

4.2.2.2. Göller ve barajlar

İnceleme alanındaki en önemli göl, inceleme alanının güneyinde yer alan ve Türkiye'nin en büyük gölü olan Van Gölü'dür. Van Gölü kapalı havzası, Avrasya ve Arap levhaları arasında Üst Miyosen'de meydana gelen çarpışmanın ürünü olan Doğu Anadolu

Platosu'nda yer almaktadır (Şengör ve Kidd, 1979; Şengör ve Yılmaz, 1981; Keskin ve diğ., 1998). Van Gölü'nün oluşumu ve yaşı ile ilgili yapılan ilk araştırmalarda, Van Gölü'nün günümüzden 100.000 yıl önce Nemrut Volkanı'ndan çıkan lavların akarsu sisteminin önünü tıkaması sonucunda oluştuğu (Blumenthal ve diğ., 1964; Wong ve Finckh, 1978) ve Nemrut Volkanı'nın mağma odasındaki çökmeye ilişkili olarak derinleştiği ifade edilmektedir (Degens ve diğ., 1984). Litt ve diğ., (2009) tarafından yapılan çalışmada ise gölün günümüzden en az 500.000 yıl önce oluştuğu düşüncesi ortaya atılmıştır. Düzen (2011) tarafından yapılan çalışmada Van Gölü ortalama serbest su yüzeyi alanı 3580.9 km² olarak hesaplanmış olup, Van Gölü'nün en derin noktasının, Adilcevaz'ın yaklaşık 16.7 km GB'sındaki basende yer aldığı ifade edilmiştir. Aynı çalışmada, Van Gölü batimetri çalışmalarının değerlendirilmesi sonucunda, gölün taban kotu 1195.42 m olarak belirlenmiştir. Ayrıca, 1944-2010 yılları arasında kalan 67 yıllık sürede gözlenen uzun yıllar ortalama göl su seviyesi (1648.33 m) ve göl batimetri haritasından elde edilen en düşük taban kotu dikkate alındığında, Van Gölü'nün en derin yeri yaklaşık 452.91 m ve ortalama derinliği ise 162.42 m olarak hesaplanmıştır (Düzen, 2011). Düzen (2011)'e göre; Van Gölü'nün D-B (Van-Tatvan), K-G (Adilcevaz-Reşadiye) ve KDGB (Bendimahi Salıkları-Tatvan) doğrultusu boyunca sahip olduğu uzunluk değerleri sırası ile 90.0 km, 42.0 km ve 131.0 km'dir. 1944-2010 yılları arasında kalan 67 yıllık sürede gözlenen uzun yıllar ortalama göl hacmi ise; 568.1 km³ hesaplanmıştır (Düzen, 2011). İnceleme alanı içerisinde yer alan diğer göller ise; Yıldız Gölü, Süphan Gölü, Hıdırmentes Gölü ve Kazlıgöl'dür. Göllere ait bilgiler Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2: İnceleme alanındaki göllere ait bilgiler.

Göl adı	Alan (ha)	Çevre (m)	Havza
Yıldız	1.98	540	Deliçay
Kazlıgöl	15	1677	Bendimahi
Hıdırmentes	98.86	5882	Bendimahi
Süphan	186.56	7126	Bendimahi

Ayrıca inceleme alanında DSİ tarafından planlama aşamasında olan Meydanboğazı Göleti adında 1 adet de gölet bulunmaktadır. İnceleme alanında yer alan barajlar ise, Erciş'te Koçköprü barajı ve Erciş ilçesinin 36 km kuzeydoğusunda yer alan Morgedik barajıdır. Koçköprü ve Morgedik barajına ait bilgiler Tablo 4.3'de ve Tablo 4.4 'de verilmiştir (DSİ, 2013).

Tablo 4.3: Koçköprü Barajına ait bilgiler (DSİ, 2013).

Barajın Yeri	Van-Erciş
Akarsuyu	Zilan Çayı
Amacı	Sulama, Enerji, Taşkın Koruma
İnşaatin bitiş yılı	30.06.1992
Gövde Dolgu Tipi	Kil çekirdekli toprak dolgu
Gövde Hacmi	2025 hm ³
Yükseklik (talvegden)	51-73.5 m
Normal su kotunda göl hacmi	86 hm ³
Normal su kotunda göl alanı	21 km ²
Sulama Alanı	9295 ha
Güç ve Yıllık Üretim	8.5 MW - 24.5 GWh

Tablo 4.4: Morgedik Barajına ait bilgiler (DSİ, 2013).

Barajın Yeri	Erciş ilçesinin 36 km kuzeydoğusu
Akarsuyu	Deliçay
Amacı	Sulama
İnşaatin (başlama - bitiş) yılı	08.05.1998 - 2013
Gövde Dolgu Tipi	Kil çekirdekli kaya dolgu
Gövde Hacmi	0.71 hm ³
Yükseklik (talvegden)	55 m
Normal su kotunda göl hacmi	97.58 hm ³
Normal su kotunda göl alanı	892 km ²
Sulama Alanı	17574 ha

4.2.2.3. Kuyular

İnceleme alanında sulama ve kullanım amaçlı açılmış 27'si DSİ'ye ve 11'i şahıslara ait olmak üzere toplam 38 sondaj kuyusu değerlendirilmiştir. Vatandaşlar tarafından açılan kuyular genellikle sığ kuyular olup, derinlikleri 2 m ile 7 m arasında değişmektedir. Derinliği en fazla olan kuyu ise 35 m'dir. DSİ tarafından açılmış kuyuların derinlikleri ise 18 m ile 161 m arasında değişmektedir. DSİ tarafından açılmış kuyulara ait bilgiler ile inceleme alanında vatandaşlar tarafından açılmış kuyulara ait bilgiler ayrı tablolar halinde

Tablo 4.5 ve Tablo 4.6'daki gibidir. Kuyulara ait fotoğraflar ise, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'teki gibidir.

Tablo 4.5: İnceleme alanında DSİ tarafından açılmış kuyulara ait bilgiler (DSİ, 1977).

Kuyu No	Kuyu yeri	Koordinat (UTM)		Derinlik (m)	Statik seviye (m)	Dinamik seviye (m)	Debi (Qp) (l/s)	Debi(QA) (l/s)	Özgül Verim(l/s /m)
		X	Y						
4504	Muradiye-Karahan Köyü	383824	4311697	37	4.04	13.63	15.00	-	1.56
5368	Muradiye-Kilimli Köyü	413243	4317686	119.50	4.70	15.29	5.30	-	0.50
5369-B	Muradiye-Merkez	393043	4316194	161.90	22.80	37.65	2.40	-	0.16
5401	Muradiye-Köşk Köyü	389414	4310080	36.55	12.25	12.42	22.00	-	129.41
5401-B	Muradiye-Köşk Köyü	389420	4310090	36.20	-	-	-	-	-
27095	Erciş - Merkez	358700	4323000	45	29.35	37.64	30.00	-	3.62
27095-A	Erciş - Merkez	358714	4323054	30	-	-	0.00	-	0.00
27095-B	Erciş - Merkez	358742	4323121	34.5	-	-	0.00	-	0.00
27096	Erciş - Merkez	358807	4323003	50	15	31	34.00	-	2.12
28657	Erciş-Koçköprü barajı	355882	4331627	70	23.68	40.68	10	-	0.59
3908-A	Erciş - Merkez	359419	4320542	118	8	16.3	18.4	-	2.22
3908-B	Erciş - Merkez	359431	4320542	119	4	-	-	56.9	-
3909	Erciş - Merkez	354428	4319008	180	5	0.75	-	35	-
3910	Erciş -Sivek	349705	4328183	20	-	-	-	-	-
3911-A	Erciş - İrşad	355902	4324590	18	3	0	-	10	-
3911-B	Erciş - İrşad	356233	4324653	52.5	3	1.86	43.45	8	8.94
4055	Erciş - Alpaslan İlk Okulu	358163	4321342	52	5	10.4	10.00	-	1.85
4056-A	Erciş- Zortul	352496	4322810	58	3	-	-	10	-
4056-B	Erciş- Zortul	352926	4322770	58	3	0.75	-	10	-
4169	Erciş Askeri gar	357030	4320684	107	1	14.9	0.5	8	0.03
4170-A	Erciş - Çelebibağ	354103	4317308	188	2	-	-	3	-
4170-B	Erciş - Çelebibağ	353710	4317811	51	1.8	6.65	8	-	1.65
41983-A	Erciş-Kockopru barajı	356011	4332114	41	-	-	0	-	0
4434-A	Erciş-Yatılı Okul	357191	4322484	99.4	11	23	7.2	-	0.43
4434-B	Erciş - Yatılı Bölge Okulu	357195	4322697	84	-	-	-	-	-
4434-C	Erciş-Yatılı Okul	356942	4322366	101	-	-	-	-	-
48912	Deliçay Havzası-Ünseli	379250	4316000	90	0.91	46.47	2.40	-	0.05

Tablo 4.6: İnceleme alanında vatandaşlar tarafından açılmış kuyulara ait bilgiler.

Kuyu No	Kuyu yeri	Koordinat (UTM)		Derinlik	Kot	Statik seviye
		X	Y	(m)	(m)	(m)
116	Muradiye-Ovapınar Köyü	383148	4309179	5	1663	1658
117	Muradiye-Kocasaban Köyü	385873	4306762	6.00	1730	1724
118	Muradiye-Uluşar Köyü	389426	4306216	4.00	1693	1689
119	Muradiye-Merkez-Fevzi Çakmak Mh.	392468	4314261	5	1678	1673
120	Çaldıran - Yassitepe Köyü	409931	4330771	2	2048	2046
121	Çaldıran - Yaykılıç Köyü	417079	4318227	35	2105	2070
122	Çaldıran - Kilimli Köyü	413444	4317869	5	2121	2116
123	Çaldıran - Koçovası Köyü	408328	4326037	3,5	2043	2039.5
124	Çaldıran - Doyumalan Köyü	404429	4323658	6	2067	2061
125	Çaldıran - Hanköy	412746	4331861	7	2044	2037
126	Çaldıran - Aşağıkuyucak K.	414687	4333329	6,5	2058	2051.5

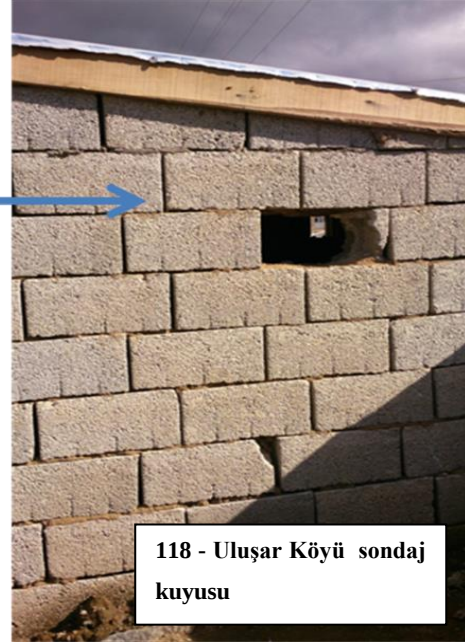
4.2.2.4. Soğuk Su Kaynakları

İnceleme alanında alanındaki en önemli ve en yüksek debiye sahip kaynağı Zılan (Erciş) havzası Yukarıışıklı köyündeki 1 nolu soğuk su kaynağı oluşturmaktadır. Erciş ilçesine verilen su, bu kaynaktan karşılanmaktadır. Kaynağın debisi DSİ tarafından Eylül 1973'de ölçülen değere göre 918 l/s civarındadır. Söz konusu kaynak DSİ raporlarında İrşad kaynakları olarak belirtilmektedir. DSİ tarafından yapılan ölçümlere göre, inceleme alanındaki Doğancı köyü 1 km kuzeybatısındaki 100 l/s debiye sahip kaynak, Meydan mahallesindeki kaynak (203 l/s), Ağırkaya köyü doğusundaki kaynak (111 l/s), Şehirpazarı mahallesi 4 km güneydoğusundaki kaynak grubu (150 l/s), Aksakal köyü 1.5 km doğusundaki kaynak (100 l/s), Ağırkaya köyü 3.3 km batısındaki kaynak grubu (100 l/s), Meydan mahallesi 2 km kuzeybatısındaki kaynaklar grubu (200 l/s) bazaltların kırık ve çatlaklarından boşalan en önemli kaynaklardır. Ayrıca yüksek debili kaynaklardan Sınırköy'ün 4.6 km kuzeybatısındaki kaynak grubu (200 l/s) hyalo-trakitlerin kırık ve çatlaklarından, Yörelüköy'ün 3 km batısındaki kaynak grubu dasitlerin kırık ve çatlaklarından, Sınırköy'ün 7.5 km güneydoğusundaki kaynak grubu (300 l/s), Aksakal köyü 5.8 km kuzeydoğusu ve 4 km kuzeydoğusundaki kaynak grubu (200 l/s ve 100 l/s) ise andezitlerin kırık ve çatlaklarından boşalmaktadır. İnceleme alanında DSİ tarafından

debi ölçümü yapılmış 82 kaynak ve bu çalışma kapsamında değerlendirilen 25 soğuk su kaynağı bulunmaktadır. Çalışma alanında çok sayıda kaynak bulunması nedeniyle, sadece önemli sayılabilecek noktalardan su örnekleri alınmış ve kaynak sayısı azaltılarak belirlenen 25 kaynak değerlendirmeye alınmıştır. DSI'nin ölçüm yaptığı kaynaklar Tablo 4.7'de ve bu çalışma kapsamında incelenen kaynaklar ile ilgili bilgiler ile arazide yapılmış yerinde ölçümler sonucu elde edilen fiziksel parametreler Tablo 4.8'deki gibidir. Soğuk su kaynaklarına ait fotoğraflar Şekil 4.24'teki gibidir. Su kimyası ile ilgili değerlendirmeler ise Bölüm 4.4'de su kimyası başlığı altında ayrıntılı bir şekilde anlatılacaktır.

4.2.2.5. Sıcak su kaynakları

Zilan havzasında Yalındam köyü ile Meçtili mahallesi arasında kalan andezitlerin çatlaklarından 8 adet kaynak boşalımının gerçekleştiği bilinmektedir (DSİ, 2013). Söz konusu kaynakların debileri 0.5 ile 5 l/s arasında değişirken, elektriksel iletkenlikleri 7200 - 7500 μ -ohm/cm ve sıcaklıkları ise 20 - 40 °C arasında değişmektedir. Bendimahi havzasında ise Muradiye'nin 20 km kuzeydoğusunda Çaldıran ilçesinde Ayrancılar kaynağı bulunmaktadır. Kaynağın verimi 0.021 m³/s'dir (DSİ, 2013). Bu çalışma kapsamında ise, 5 önemli sıcak su kaynağı incelenmiştir. Bu kaynaklar, Erciş'teki Hasanabdal kaynağı ve Taşkapı kaynağı ile Çaldıran'daki Ayrancılar, Koçovası ve Buğulukaynak jeotermal kaynaklarıdır (Şekil 4.25, Şekil 4.26). Kaynaklar ile ilgili bilgiler ve arazide yapılmış yerinde ölçümler sonucu elde edilen fiziksel parametreler Tablo 4.9'daki gibidir. Ayrıca söz konusu jeotermal kaynaklarla ilgili ayrıntılı bilgi Bölüm 4.4'de su kimyası başlığı altında ayrıntılı olarak incelenecektir.



Şekil 4.22: İnceleme alanı Muradiye ilçesindeki kuyular.



Şekil 4.23: İnceleme alanı Çaldıran ilçesindeki kuyular.

Tablo 4.7: DSİ tarafından debi ölçümü yapılan ve boşalım yaptığı birimleri belirlenen kaynaklar (DSİ, 1977).

Kaynak No	Havza	Mevki	Koordinat (UTM)		Adet	Debi (l/s)	Boşalım Yaptığı Birim
			X	Y			
28	Zilan	Canguran köyü 1 km kuzeydoğusu	349961	4320090	1	3	Bazalt
29	Zilan	Üçogul köyü 300 m güneyi	349178	4321688	1	5	Bazalt
30	Zilan	Taşlıçay köyü 1 km güneybatısı	336325	4322376	1	10	Bazalt
31	Zilan	Taşlıçay köyü 2,2 km batısı	335129	4322948	1	2	Bazalt
32	Zilan	Taşlıçay köyü 4,3 km batısı	333176	4323075	1	3	Bazalt
33	Zilan	Taşlıçay köyü 5,7 km batısı	331652	4322900	1	30	Bazalt
34	Zilan	Taşlıçay köyü 7 km batısı	330382	4322995	1	8	Bazalt
35	Zilan	Taşlıçay köyü 1 km kuzeybatısı	336367	4323964	2	7	Bazalt
36	Zilan	Küplü mah 1,9 km güneyi	349070	4323714	2	10	Bazalt
37	Zilan	Gedikdibi köyü civarında	339296	4325106	5	17	Bazalt
38	Zilan	Görüşlü köyü	346055	4322099	1	5	Bazalt
39	Zilan	Bulamac köyü civarında	341701	4327287	3	20	Bazalt
40	Zilan	Kumlubulak mah	341384	4330340	1	1	Bazalt
41	Zilan	Kırkpınar köyü civarı	340956	4331404	3	25	Bazalt
42	Zilan	Ziyaret köyü	349161	4334343	1	10	Bazalt
43	Zilan	Cagdas mah	346271	4334605	1	5	Bazalt
44	Zilan	Doganci köyü 1 km kuzeybatısı	343761	4335285	1	100	Bazalt
45	Zilan	Pınarlı köyü	343398	4335510	1	4	Bazalt
46	Zilan	Meydan Mah	343424	4338415	7	203	Bazalt
47	Zilan	Gultepe mah	339509	4334312	1	2	Bazalt
48	Zilan	Cagdas köyü	346859	4334897	3	20	Bazalt
49	Zilan	Ziyaret mah	349195	4334099	1	3	Bazalt
50	Zilan	Cagdas köyü	346946	4334772	1	10	Bazalt
51	Zilan	İsbaşı köyü	358851	4336741	1	2	Bazalt
52	Zilan	Magara köyü	348392	4344574	4	56	Bazalt
53	Zilan	Ağırkaya köyü doğusu	345848	4347268	8	111	Bazalt
54	Zilan	Kardogan köyü	350441	4346125	2	18	Bazalt
55	Zilan	Yunoren köyü güneyi	363342	4336334	1	1	Trakitik tüf
56	Zilan	İlanlı mah	364914	4335961	1	10	Trakitik tüf
57	Zilan	Hacıkas mah	363167	4332816	1	9	Bazalt
58	Zilan	Yalındam köyü ile Mectılı Mah arası	364094	4350436	8	0.5-5	Andezit
59	Zilan	Gergılı köyü 9 km kuzeybatısı	352097	4355050	K.grubu (4)	25	Bazalt
60	Zilan	Gergılı köyü 8 km kuzeybatısı	353063	4354609	Kaynak (1)	20	Riyolitik tüf
61	Zilan	Kardogan köyü 6 km kuzeyi	350858	4351756	K.grubu (2)	20	Trakitik tüf
62	Zilan	Sınırkoy 4.6 km kuzeybatısı	357073	4355062	K.grubu (13)	200	Hyalo-trakit
63	Zilan	Gergılı köyü 3.5 km batısı	357395	4353182	K.grubu (3)	20	Cam tüfü
64	Zilan	Gergılı köyü 1.5 km güneybatısı	359636	4352271	K.grubu (5)	50	Bazalt
65	Zilan	Sogutlu köyü 4 km kuzeydogusu	354529	4348938	K.grubu (4)	60	Riyolitik tüf
66	Zilan	Sogutlu köyü 2.5 km kuzeydogusu	354483	4346991	K.grubu (2)	20	Bazalt
67	Zilan	Yorelikoy 3 km batısı	358591	4347663	K.grubu (10)	200	Andezit

*Boşalım yaptığı birim DSİ tarafından yapılmış gözlemsel tanımlamadır.

Tablo 4.7 (devam): DSİ tarafından debi ölçümü yapılan ve boşalım yaptığı birim belirlenen kaynaklar (DSİ, 1977).

Kayn No	Havza	Mevki	Koordinat (UTM)		Adet	Debi (l/s)	Boşalım Yaptığı Birim
			X	Y			
68	Zilan	Koycuk köyü 4 km dogusu	354848	4343261	K.grubu (4)	20	Andezit
69	Zilan	Yalındam köyü 0.6 km batısı	359512	4346817	Kaynak (1)	20	Cam tüfü
70	Zilan	Taskapı köyü 3.1 km kuzeybatısı	361590	4349288	K.grubu (2)	30	Riyolitik tuf
71	Zilan	Dogancı köyü 2 km guneydogusu	362608	4341529	K.grubu (4)	50	Andezit
72	Zilan	Dogancı köyü 4 km dogusu	365405	4342849	Kaynak (1)	20	Andezit
73	Zilan	Sehirpazarı mah 4 km dogusu	367700	4344079	K.grubu (4)	60	Bazalt
74	Zilan	Sehirpazarı mah 4 km guneydogusu	366967	4342307	K.grubu (4)	150	Andezit
75	Zilan	Aksakal köyü 2 km kuzeydogusu	365384	4339342	K.grubu (4)	20	Bazalt
76	Zilan	Aksakal köyü 1.5 km dogusu	365329	4337905	Kaynak (1)	100	Andezit
77	Zilan	Aksakal köyü 7.5 km kuzeydogusu	369975	4341853	Kaynak (1)	20	Bazalt
78	Zilan	Taslicay köyü 5.7 km batısı	331536	4322470	Kaynak (1)	30	Bazalt
79	Zilan	Kocapınar bucagi 1.5 km batısı	342852	4329544	K.grubu (2)	30	Bazalt
80	Zilan	Cagdas köyü 2.5 km kuzeydogusu	348756	4336760	K.grubu (3)	20	Bazalt
81	Zilan	Ağırkaya köyü 3.3 km batısı	342699	4347649	K.grubu (6)	100	Bazalt
82	Zilan	Canguran köyü	349819	4319751	1	10	Tuf
83	Zilan	Dınlence köyü 1 km kuzeybatısı	344144	4320893	1	20	Tuf
84	Zilan	Taslicay köyü 2,2 km guneybatısı	335383	4322011	1	15	Bazalt
85	Zilan	Tasevler köyü batısı	340201	4322431	1	5	Tuf
86	Zilan	Bulamac köyü 0,8 km kuzeybatısı	341702	4328153	1	10	Bazalt
87	Zilan	Kocapınar bucagi 0,4 km kuzeyi	344339	4330799	1	15	Tuf
88	Zilan	Kırkpınar köyü 2.3 km kuzeybatısı	338658	4332283	2	20	Bazalt
89	Zilan	Ziyaret köyü 1.6 km guneybatısı	347663	4333182	2	60	Tuf
90	Zilan	Meydan Mah 2 km kuzeybatısı	342760	4340208	5	200	Bazalt
91	Zilan	Cagdas mah 3,7 km kuzeydogusu	349784	4337995	1	3	Andezit
92	Zilan	Toklu Mah 2,1 km guneydogusu	349723	4340255	1	2	Andezit
93	Zilan	Koycuk köyü 5 km dogusu	355010	4344352	1	1	Andezit
94	Zilan	Magarakoy 1,5 km kuzeyi	346793	4345837	1	15	Bazalt
95	Zilan	Magara koy 2 km kuzeydogusu	347021	4346314	1	20	Bazalt
96	Zilan	Gergılı köyü 8.3 km batısı	352746	4353411	4	80	Andezit
97	Zilan	Gergılı köyü 1.5 km guneyi	360688	4351311	7	30	Andezit
98	Zilan	Yalındam köyü 3.7 km batısı	356320	4346721	4	50	Andezit
99	Zilan	Hasanabdal köyü 1,5 km guneyi	358693	4340904	1	3	Andezit
100	Zilan	Sınırkoy 7.5 km guneydogusu	368871	4352155	12	300	Andezit
101	Zilan	Aksakal köyü 5.8 km kuzeydogusu	369322	4340010	6	200	Andezit
102	Zilan	Aksakal köyü 4 km kuzeydogusu	367125	4339643	3	100	Andezit
103	Zilan	Aksakal köyü 1.5 km kuzeydogusu	364119	4341388	1	5	Andezit
104	Zilan	Aksakal köyü 1.8 km kuzeybatısı	361827	4340688	2	10	Andezit
105	Zilan	Yunoren köyü 1.5 km kuzeydogusu	364822	4337066	1	50	Andezit
106	Zilan	Hacıkas mah 1 km kuzeydogusu	363821	4334697	1	1	Bazalt

*Boşalım yaptığı birim DSİ tarafından yapılmış gözlemsel tanımlamadır.

Tablo 4.7 (devam): DSİ tarafından debi ölçümü yapılan boşalım yaptığı birim belirlenen kaynaklar (DSİ, 2013).

İlçe	Kaynak No	Havza	Mevki	Koordinat (UTM)		Adet
				X	Y	
Muradiye	108	Bend.	Muradiye'nin 4,5 km doğusu (Benevse Kaynağı) - Verim (0,022 m ³ /s)	396300	4317285	1
Çaldıran	109	Bend.	Muradiye'nin 20 km kuzeydoğusu (Ayrancılar Kaynağı) - Verim (0,021 m ³ /s)	401708	4330926	1
Erciş	110	Deliçay	Erciş'in 35 km kuzeydoğusu (İmamabdal kaynağı) - Verim (0.055 m ³ /s)	387013	4341493	1

*Ölçümler DSİ tarafından yapılmıştır.

Tablo 4.8: Bu çalışma kapsamında incelenen soğuk su kaynaklarına ait bilgiler.

Kaynak No	İlçe	Havza	Kaynak yeri	Koordinat (UTM)		Boşalım Yaptığı Birim
				X	Y	
1	Erciş	Zilan	Yukarışıklı Köyü	356344	4325400	Kireçtaşı
2	Erciş	Zilan	Taşkapı Köyü	364545	4348298	Kireçtaşı
4	Erciş	Zilan	Hasanabdal Mevki	359388	4340491	Kireçtaşı
5	Erciş	Zilan	Hasanabdal Mevki	359936	4341524	Kireçtaşı
6	Erciş	Zilan	Kekliksırtı Köyü	354124	4332683	Çatlaklı Andezit
7	Erciş	Zilan	Ağaçören Köyü	354589	4333796	Kireçtaşı
8	Muradiye	Bendimahi	Ovapınar Köyü	383772	4307641	Karbonat
9	Muradiye	Bendimahi	Köşkköy	389261	4310111	Kireçtaşı
10	Muradiye	Bendimahi	Topuzarpa Köyü Cami	387969	4304867	Karbonat
11	Muradiye	Bendimahi	Uluşar Köyü	390336	4305042	Bazalt
12	Muradiye	Bendimahi	Beydağı Köyü Sağlık Evi Yanı	393436	4309169	Karbonat
13	Muradiye	Bendimahi	Yumaklı Köyü	394541	4310610	Kireçtaşı
14	Muradiye	Bendimahi	Merkez	393129	4316249	Kireçtaşı
15	Çaldıran	Bendimahi	Ayrancılar Köyü	401379	4330276	Çatlaklı Andezit
16	Çaldıran	Bendimahi	Kalkandelen Köyü	408491	4331726	Kireçtaşı
17	Çaldıran	Bendimahi	Yağlıbasan Köyü	412661	4325758	Çatlaklı Granit
18	Çaldıran	Bendimahi	Altıyol Köyü	412909	4324481	Çatlaklı Granit
19	Çaldıran	Bendimahi	Yeniyaka Köyü	414850	4323673	Kireçtaşı
20	Çaldıran	Bendimahi	Alikelle Köyü	415675	4321272	Kumtaşı
21	Çaldıran	Bendimahi	Kilimli Köyü	414524	4318073	Kireçtaşı
22	Çaldıran	Bendimahi	Kilimli Köyü	413072	4318419	Kumtaşı
24	Çaldıran	Bendimahi	Salhane Köyü	409991	4317487	Kireçtaşı
25	Çaldıran	Bendimahi	Evciler Köyü	408008	4317243	Kireçtaşı
26	Çaldıran	Bendimahi	Evciler K. - Mineralli su	406843	4318327	Peridotit
27	Çaldıran	Bendimahi	Hanköy Köyü	412420	4331638	Çatlaklı Riyolit



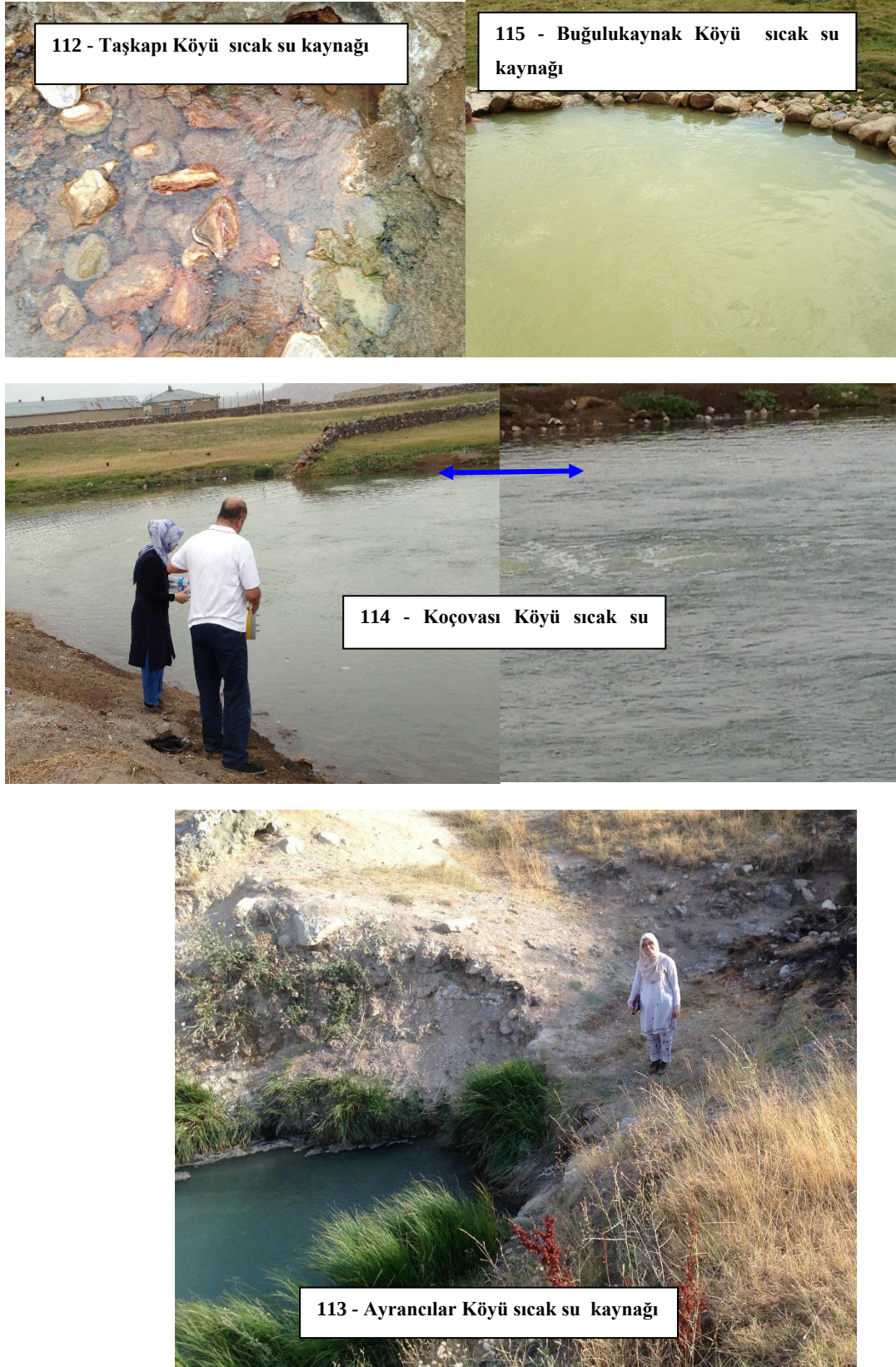
Şekil 4.24: İnceleme alanındaki soğuk su kaynakları.



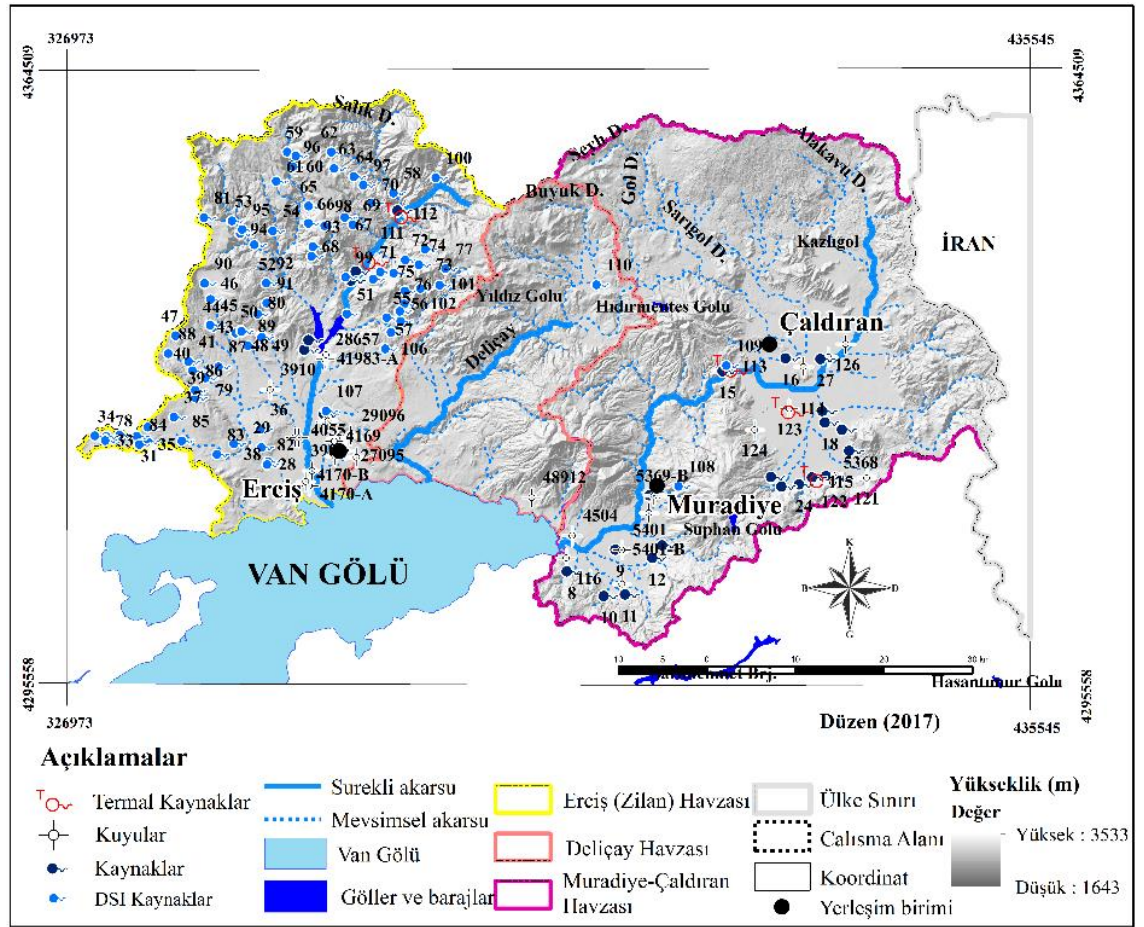
Şekil 4.25: Hasanabdal sıcak su kaynağı.

Tablo 4.9: İnceleme alanındaki sıcak su kaynaklarına ait bilgiler.

Kaynak No	İlçe	Havza	Kaynak yeri	Koordinat (UTM)		Sıcaklık (oC)	pH	EC (µs/cm)
				X	Y			
111	Erciş	Zilan	Hasanabdal Köyü-Jeotermal	360874	4342971	51	8.53	4620
112	Erciş	Zilan	Taşkapı Köyü-Jeotermal	364530	4348093	53.3	7.53	3800
113	Çaldıran	Bendimahi	Ayrancılar Köyü-Jeotermal	401745	4330818	34.7	7.74	3420
114	Çaldıran	Bendimahi	Koçovası Köyü-Jeotermal	408250	4326067	25.8	7.43	1696
115	Çaldıran	Bendimahi	Buğulukaynak Köyü-Jeotermal	411465	4318326	33.5	7.29	1155



Şekil 4.26: İnceleme alanındaki sıcak su kaynakları.



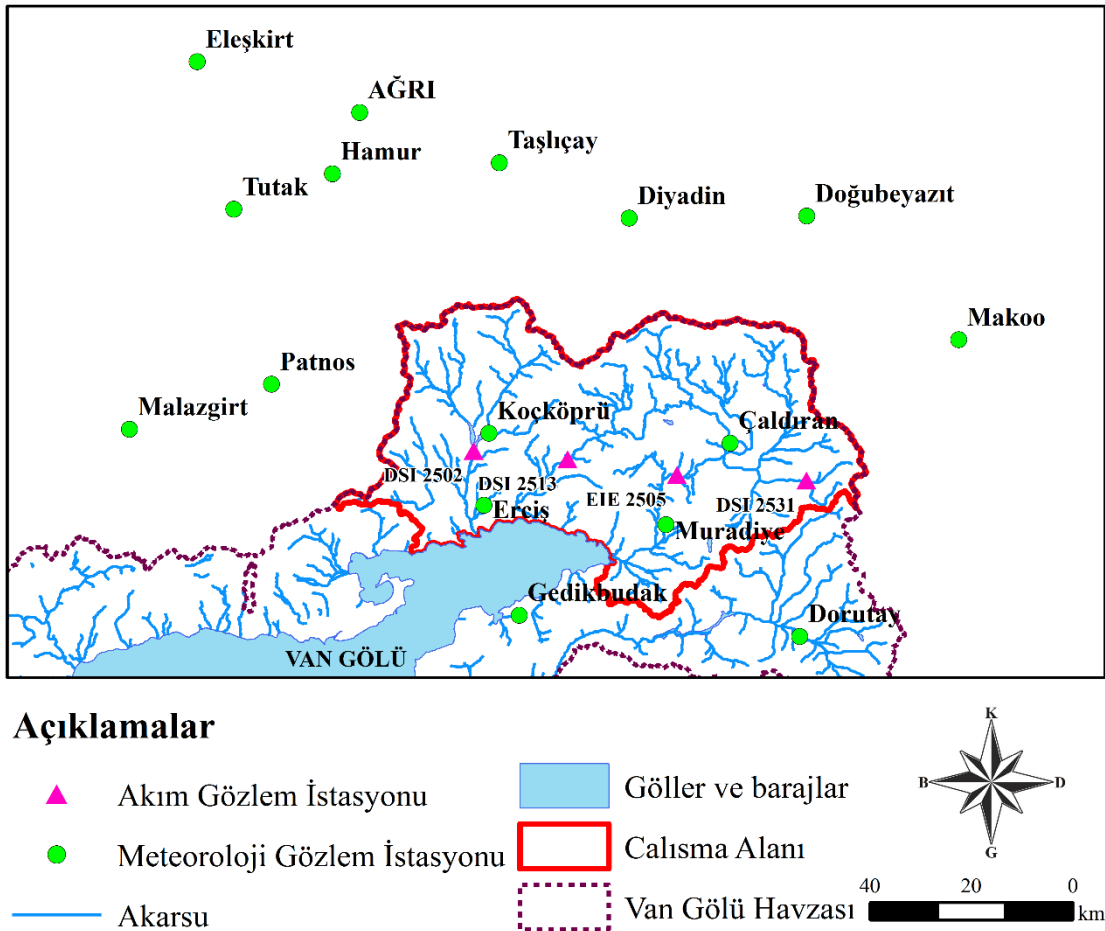
Şekil 4.27: İnceleme alanı hidroloji haritası.

4.2.2.6. Sulak Alanlar

İnceleme alanında sulak alan teşkil edebilecek 2 bölge bulunmaktadır. Bunlardan biri Erciş (Zilan) havzasında, diğeri ise Muradiye-Çaldıran (Bendimahi) havzasındadır. Erciş (Zilan) havzasında görülen en önemli sulak alan Erciş Çelebibağ sazlığı olup, alanı 550 ha kadardır. İkinci sulak alan, bataklık özelliği taşıyan Bendimahi deltasıdır. Bendimahi deltası, 230 ha alana sahiptir (DSİ, 2013). Tüm hidrolojik veriler ışığında inceleme alanına ait hidroloji haritası elde edilmiştir. İnceleme alanına ait hidroloji haritası Şekil 4.27'deki gibidir.

4.2.3. Meteorolojik Verilerin Değerlendirilmesi

Erciş-Çaldıran-Muradiye bölgesinin hidrodinamik yapısının aydınlatılması amacı ile yapılan meteorolojik çalışmalar; akım, yağış, sıcaklık ve buharlaşma verilerinin değerlendirilmesi ve bu veriler ışığında su bütçesi hesaplamalarını kapsamaktadır. İnceleme alanı ve yakın dolayında bulunan Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ), İran Meteoroloji Organizasyonu (İMO, 2016) ve Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından işletilen 16 meteorolojik gözlem istasyonu (Türkiye: 15 istasyon, İran: 1 istasyon) ile inceleme alanı içinde bulunan 3'ü DSİ ve 1'i önceden Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından işletilmekte olup şu anda DSİ'ye devredilen akım gözlem istasyonu olmak üzere toplam 4 akım gözlem istasyonunun yer aldığı inceleme alanı ve yakın çevresine ait hidrolojik gözlem ağı haritası Şekil 4.28'deki gibidir.



Şekil 4.28: İnceleme alanı ve yakın çevresine ait hidrolojik gözlem ağı haritası.

4.2.3.1. Yağış

Çalışma alanı ve yakın çevresine ait yağış miktarının belirlenebilmesi amacıyla inceleme alanı ve yakın çevresinde bulunan 15 meteorolojik gözlem istasyonundan elde edilen uzun yıllar aylık toplam yağış değerleri kullanılmıştır (Şekil 4.28). 1960 - 2012 (53 yıl) zaman aralığında uzun yıllar ortalama yağış miktarının hesaplanması hedeflenmiştir. Ancak, bazı meteorolojik gözlem istasyonlarında yağış verilerinin eksik olması nedeniyle, eksik yağış verilerinin tamamlanması yöntemine başvurulmuştur. Bu bölüm kapsamında meteoroloji gözlem istasyonlarında gözlenen yıllık toplam yağış değerlerinin değerlendirilmesi inceleme alanı ve yakın çevresi için 4 aşamada gerçekleştirilmiştir. 1. aşamada yağış-yükseklik ilişkisi ortaya koyulmuş, 2. aşamada eksik yağış verileri tamamlanmış, 3. aşamada eş yağış eğrisi yöntemi kullanılarak inceleme alanı ve yakın çevresi için alansal yağış miktarları hesaplanmış ve 4. aşamada ise yağışlar eklenik sapma grafikleri ile değerlendirilmiştir. İnceleme alanı ve yakın dolaylı için değerlendirmeye alınan istasyonların kotları, en düşük 1411 m kot ile İran sınırları içerisinde yer alan Makoo istasyonu ve en yüksek 2051 m kot ile Dorutay istasyonudur.

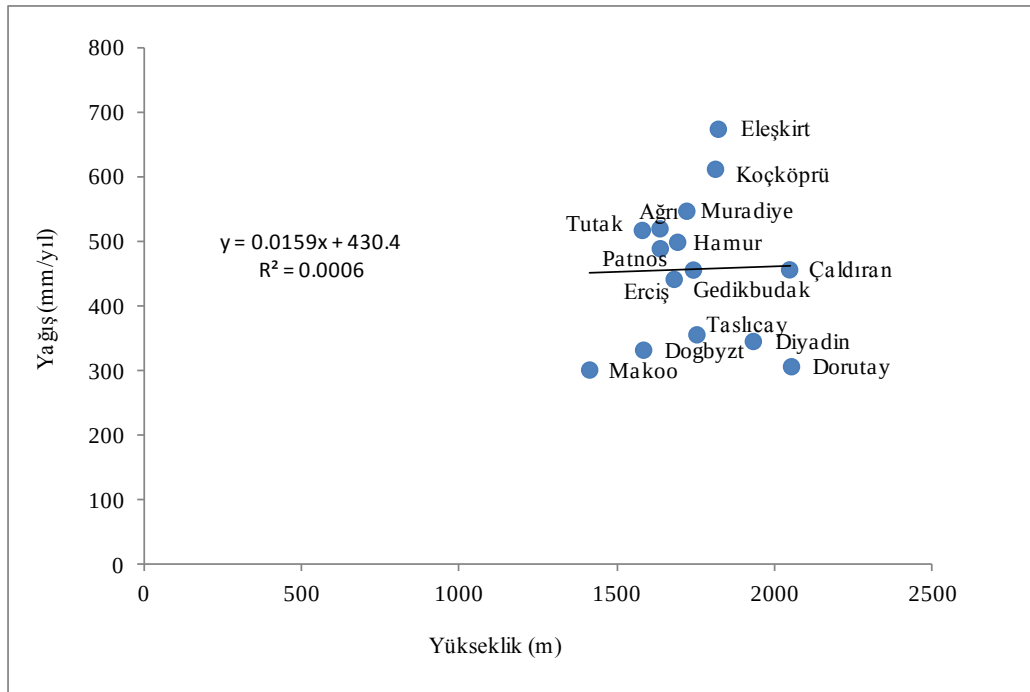
Tablo 4.10: İnceleme alanı ve yakın çevresindeki yağış gözlem istasyonlarına ait bilgiler.

İstasyon adı	Kurum	Kot (m)	Gözlem süresi	Ortalama Yıllık toplam yağış (mm/yıl)
Ağrı	DMİ	1634	1939 - 2009	521.1
Çaldıran	DMİ	2045	1963 - 1996	457.6
Diyadin	DMİ	1930	1976 - 1995	346.7
Doğubeyazıt	DMİ	1582	1975 - 2006	333.2
Dorutay	DMİ	2051	1973 - 2005	307.6
Eleşkirt	DMİ	1819	1986 - 1990	675.2
Erciş	DMİ	1679	1960 - 2012	442.8
Gedikbudak	DMİ	1740	1963 - 1968	457.2
Hamur	DMİ	1690	1984 - 1991	500.2
Koçköprü	DSİ	1810	1973 - 2006	613.2
Makoo	İMO	1411	1985 - 2005	302.5
Muradiye	DMİ	1719	1960 - 2012	548.3
Patnos	DMİ	1635	1976 - 2003	490.3
Taşlıçay	DMİ	1751	1984 - 1997	357.0
Tutak	DMİ	1578	1984 - 1990	518.6
Ort		1738.27		458.1
Min		1411		302.5
Max		2051		675.2

İnceleme alanı ve yakın çevresinde yapılan değerlendirmede, yıllık toplam en düşük yağış değeri 302.5 mm/yıl ile Makoo istasyonu iken, en yüksek yıllık toplam yağış değerine sahip istasyon ise 675.2 mm/yıl ile Eleşkirt istasyonudur. İnceleme alanı ve yakın çevresindeki yağış gözlem istasyonlarına ait bilgiler Tablo 4.10'da verilmiştir.

Yağış-Yükseklik İlişkisi

İnceleme alanının en düşük, en yüksek ve ortalama kot değerleri 1643, 3533 ve 2590 m'dir. İnceleme alanı ve yakın çevresinde yer alan tüm meteoroloji gözlem istasyonları inceleme alanı ortalama yüksekliğinin altındaki kotlarda konumlanmıştır. Bu durum, meteoroloji gözlem istasyonlarının inceleme alanını temsil etmediğini göstermektedir. İnceleme alanı ve yakın çevresindeki istasyonlar için yağış-yükseklik ilişkisini belirlemeye yönelik regresyon denklemi oluşturulmuş ve korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. İnceleme alanı ve yakın çevresi için yağış-yükseklik ilişkisi; $Yağış = (0.0159 \times Yükseklik) + 430.4$ denklemi ve 0.024 korelasyon katsayısı ile ifade edilmektedir (Şekil 4.29).



Şekil 4.29: İnceleme alanı ve yakın çevresine ait yağış-yükseklik ilişkisi.

Yapılan istatistiksel hesaplamalar sonucunda çok küçük korelasyon katsayıları elde edilmiş ve kurulan denklem ile yıllık toplam yağış miktarlarının hesaplanmasının anlamlı sonuçlar vermeyeceği görülmüştür.

Eksik Yağış Verilerinin Tamamlanması

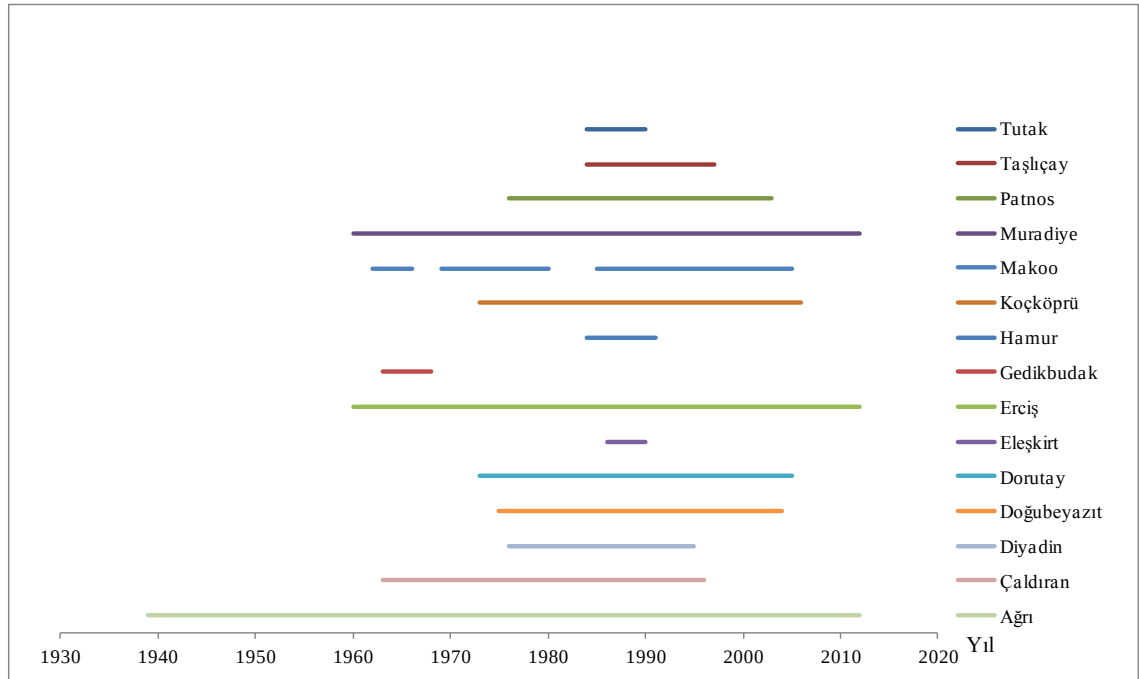
1960-2012 zaman aralığındaki (53 yıl) yıllık toplam yağış değerleri belirlenmiş ve bazı yıllara ait meteorolojik gözlemlerin yapılmadığı görülmüştür (Şekil 4.30). Bu bağlamda istatistiksel bir yaklaşım olan ‘Korelasyon Yöntemi’nden faydalanılmıştır. Korelasyon Yöntemi; birbiri ile ilişkisi olabilecek iki istasyonda yapılmış aynı zamanlı yağış ölçümlerinin bir kartezyen koordinat takımında noktalanması ile saçılma diyagramı elde edilmesi olarak tanımlanmaktadır (Şen, 2002). Böyle bir saçılma diyagramına, en küçük kareler yöntemi ile uygun bir doğru veya eğrinin geçirilebilmesi yağışlar arasında bir bağıntının olduğunu göstermektedir. Bu bağıntı aracılığıyla kayıtları tam olan istasyon verilerinden, kayıtları eksik olan istasyonun verileri belirlenebilmektedir. Eksik yağış verileri tamamlanırken; öncelikle birbirine yakın iki istasyon arasında, ortak periyotta bir karşılaştırma yapılmış, $a = bx \pm c$ regresyon denklemi elde edilmiştir. Birbirine yakın istasyonlar arasında aynı döneme karşılık gelen korelasyonlarda hangi iki istasyon ile yapılan karşılaştırmada korelasyon katsayısı 1’e daha yakınsa, verisi tam olan istasyon verileri elde edilen denklemde kullanılarak verisi eksik olan istasyon verisi tamamlanmıştır. Elde edilen denklemim korelasyon katsayısının 1’e yakın olması, istasyonlarda gözlenen veriler arasındaki ilişkinin anlamlı olduğunu ifade etmektedir ve böylece elde edilen verilerin güvenilir olacağı öngörülmüştür. Birbirlerinin verileriyle tamamlanmış, verisi eksik olan ve verisi tam olan meteoroloji gözlem istasyonlarını gösteren regresyon denklemleri, korelasyon katsayıları ve eksik yağışlar tamamlandıktan sonra 1960-2012 zaman aralığında elde edilen ortalama yıllık yağış miktarları Tablo 4.11’de verilmiştir.

Tablo 4.11: Verisi eksik olan ve verisi tam olan meteoroloji gözlem istasyonları kullanılarak oluşturulan regresyon denklemleri ve korelasyon katsayıları.

İstasyon Adı Verisi Eksik - Verisi Tam		Regresyon Denklemi	Kor. Kat.	Eksik Veri Tamamlanan Yıllar	Toplam Yağış (mm/yıl)		Fark (%)
					Önce	Sonra	
Çaldıran	Muradiye	$P_{CLD} = 0.527 \times P_{MRD} + 148.2$	0.64	1960-1962, 1997-2012	457.6	437.4	-4.40
Diyadin	Eleşkirt	$P_{DYD} = 0.714 \times P_{ELS} - 140.8$	0.89	1960-1975, 1996-2012	346.7	312.9	-9.73
Doğubeyazıt	Eleşkirt	$P_{DOG} = 1.048 \times P_{ELS} - 350.0$	0.84	1960-1974, 2005-2012	333.2	314.3	-5.66
Dorutay	Doğubeyazıt	$P_{DRT} = 0.773 \times P_{DOG} + 48.48$	0.74	1960-1972, 2006-2012	307.6	295.9	-3.81
Eleşkirt	Ağrı	$P_{ELS} = 0.491 \times P_{AGR} + 369.9$	0.80	1960-1985, 1991-2012	675.2	625.3	-7.39
Gedikbudak	Erciş	$P_{GDB} = 0.4918 \times P_{ERC} + 195.33$	0.72	1960-1962, 1969-2012	457.2	408.6	-10.63
Hamur	Eleşkirt	$P_{HMR} = 0.971 \times P_{ELS} - 125.5$	0.97	1960-1983, 1992-2012	500.2	477.7	-4.51
Koçköprü	Erciş	$P_{KOC} = 1.919 \times P_{ERC} - 198.3$	0.65	1960-1972, 2007-2012	613.2	651.6	6.25
Makoo	Doğubeyazıt	$P_{MKO} = 0.727 \times P_{DOG} + 58.06$	0.70	1960-1961, 1967-1968, 1981-1984, 2006-2012	302.5	295.1	-2.44
Patnos	Erciş	$P_{PTN} = 0.764 \times P_{ERC} + 170.9$	0.87	1960-1975, 2004-2012	490.3	509.3	3.88
Taşlıçay	Tutak	$P_{TAS} = 0.608 \times P_{TUT} + 29.07$	0.94	1960-1983, 1998-2012	357.0	356.6	-0.09
Tutak	Patnos	$P_{TUT} = 1.131 \times P_{PTN} - 39.41$	0.97	1960-1983, 1991-2012	518.6	537	3.55

* P, istasyonlarda gözlenen yağışları ifade etmektedir.

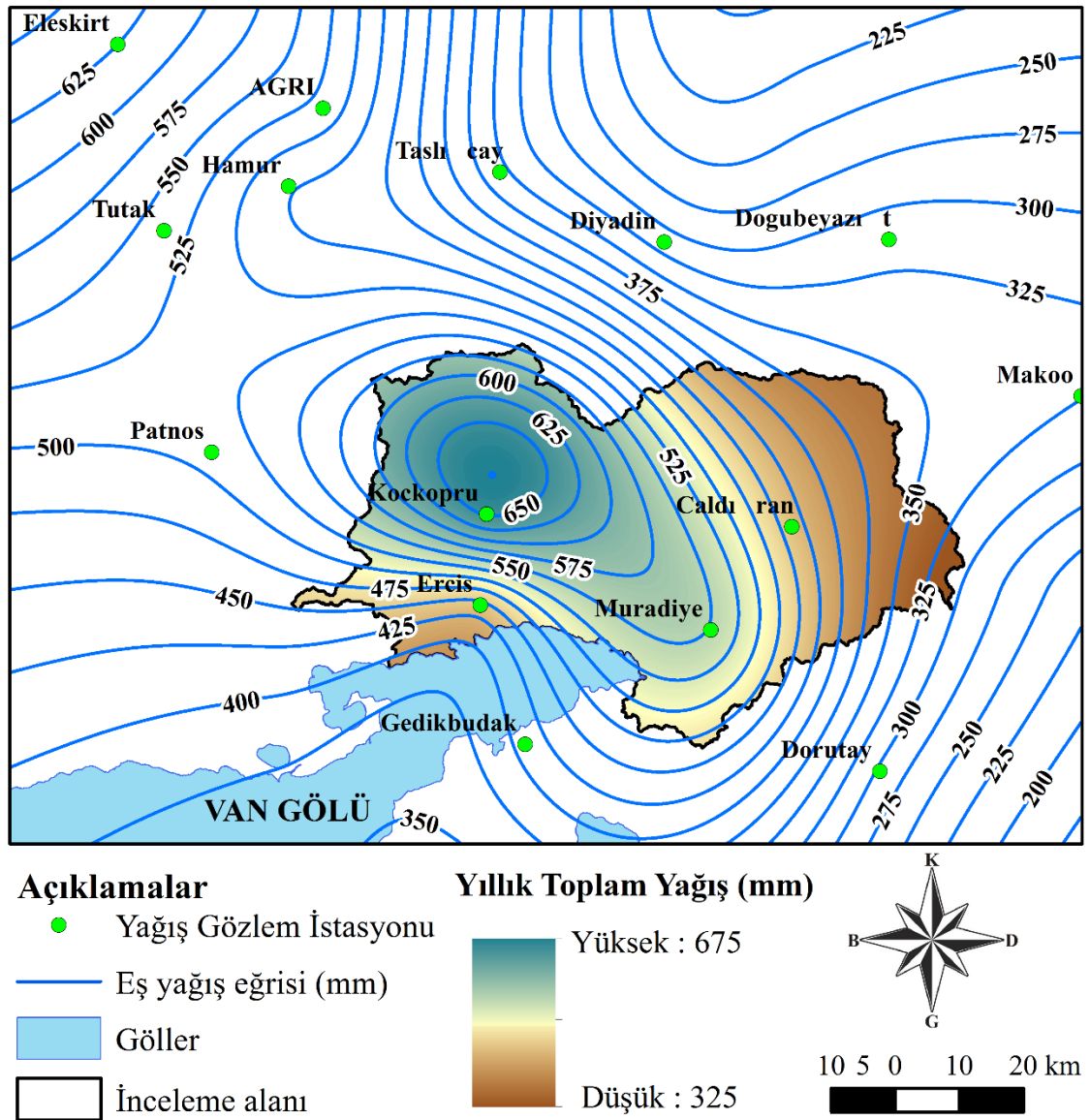
Eksik veriler tamamlanmadan önce ve sonraki toplam yağışlar arasındaki fark, yüzde -10.63 ile 6.25 arasında değişmekte olup, korelasyon katsayıları ise 0.64 ile 0.97 arasında değişmektedir. Bu durum, tamamlanan verilerin güvenilir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 4.30: İnceleme alanı ve yakın çevresinde bulunan yağış gözlem istasyonlarına ait gözlem süresi grafiği.

Eş Yağış Eğrisi Yöntemi

Meteoroloji gözlem istasyonlarındaki eksik yıllara ait yağış verileri tamamlandıktan sonra 1960-2012 zaman aralığında (53 yıl) her bir yıla ait yıllık toplam yağış değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra, alansal yağışın hesaplanması için özellikle dağlık alanlarda daha çok tercih edilen eş yağış eğrisi yöntemi kullanılarak inceleme alanı ve yakın çevresindeki istasyonların tamamlanmış yağış verileri kullanılarak inceleme alanına ait alansal yağış miktarı hesaplanmıştır. İnceleme alanı genelinde eş yağış eğrisi yöntemi ile hesaplanan ortalama yıllık toplam yağış miktarı 500 mm'dir. İnceleme alanında 3 ayrı havza bulunmaktadır ve her havza için ayrı su bütçesi hesaplaması yapılacaktır. Bu nedenle Zilan havzası, Deliçay havzası ve Bendimahi havzaları için eş yağış eğrisi yöntemi kullanılarak ayrı ayrı alansal yağış miktarı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda Zilan havzası, Deliçay havzası ve Bendimahi havzası için ortalama yıllık toplam yağış miktarı sırasıyla; 537.5, 525 ve 450 mm'dir. 1960-2012 zaman aralığında inceleme alanı ve yakın çevresine ait eş yağış eğrisi haritası Şekil 4.31'deki gibidir.

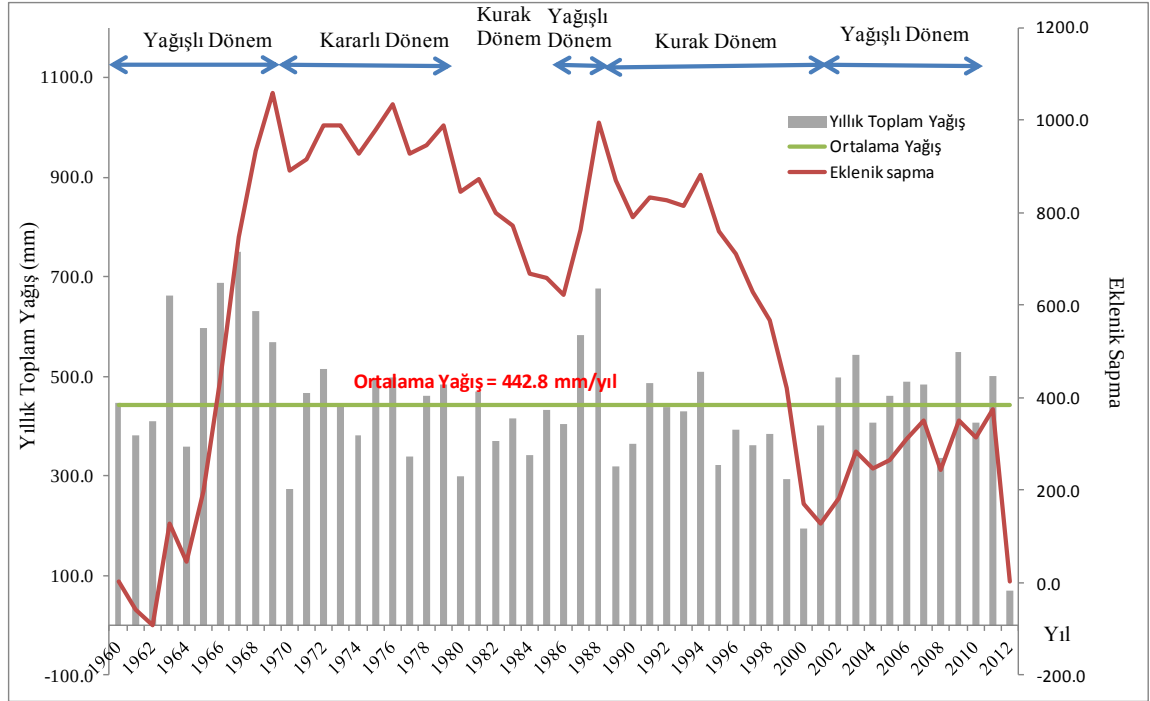


Şekil 4.31: 1960-2012 zaman aralığında inceleme alanı ve yakın çevresine ait eş yağış eğrisi haritası.

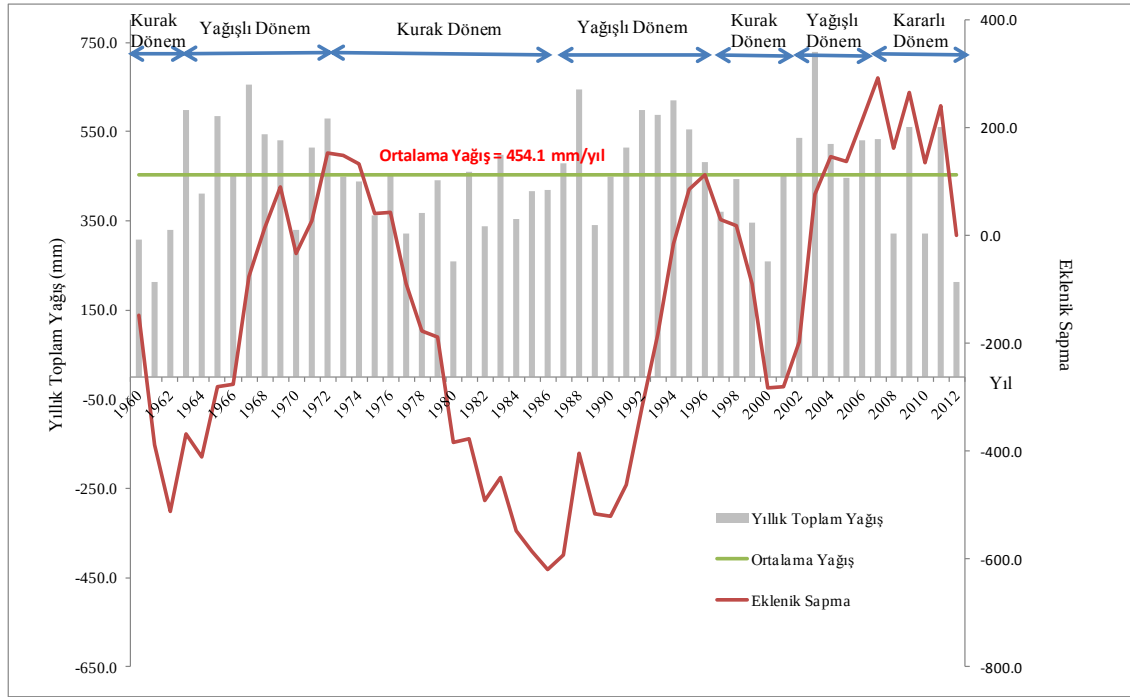
Yağışların Eklenik Sapma Grafiği ile Değerlendirilmesi

İnceleme alanındaki yağış ve zaman ilişkisini belirlemek amacıyla yıllık toplam yağıştan eklenik sapma grafikleri oluşturulmuştur. Eklenik sapma grafiklerinin doğruluğu veri aralığının geniş olmasıyla doğru orantılı olduğundan, 1960-2012 zaman aralığında 53 yıllık veriler kullanılarak verisi tam olan Erciş istasyonu ile Muradiye istasyonları için eklenik sapma grafikleri oluşturulmuştur. Erciş istasyonu için oluşturulan grafikte, 1960-1970 zaman aralığında yağışlı dönem yaşanırken, 1970-1980 zaman aralığında kararlı dönem, 1980-1986 yılları arasında kurak dönem, 1986-1988 yılları arasında tekrar yağışlı döneme girilmiştir. 1988 yılından 2001 yılına kadar kurak dönem ve 2001 yılından

2012'ye kadar yağışlı dönemin yaşandığı görülmektedir. 2012 yılı itibariyle yeniden kurak bir döneme girme eğilimi görülmektedir (Şekil 4.32).

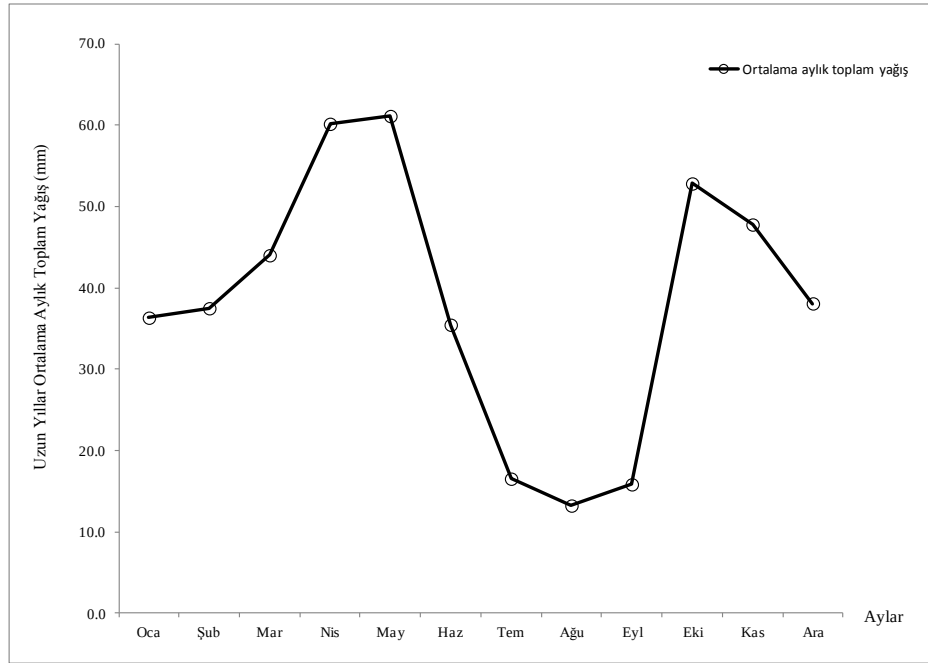


Şekil 4.32: 1960-2012 zaman aralığında devlet meteoroloji işleri Erciş istasyonuna ait yıllık ortalama yağıştan eklenik sapma grafiği.



Şekil 4.33: 1960-2012 zaman aralığında devlet meteoroloji işleri Muradiye istasyonuna ait yıllık ortalama yağıştan eklenik sapma grafiği.

Muradiye istasyonu için oluşturulan grafikte ise, 1960-1963 zaman aralığında kurak bir dönem yaşanırken, 1963-1972 zaman aralığı yağışlı geçmiştir. 1972-1987 zaman aralığında tekrar kuraklı bir döneme girilmiş ve 1987-1996 zaman aralığında ise yağışlı bir dönem yaşanmıştır. 1996 - 2002 kurak, 2002 - 2007 yağışlı ve 2007-2011 zaman aralığında ise kararlı bir dönem yaşanmıştır. 2012 yılından itibaren kurak bir döneme girme eğilimi görülmektedir. Ayrıca inceleme alanı ve yakın çevresindeki meteoroloji gözlem istasyonlarında gözlenen uzun yıllar ortalama aylık toplam yağış değerleri hesaplanmış ve Tablo 4.12'deki gibi belirtilmiştir. Nisan ve Ekim aylarının yağışlı, Ağustos ayının ise kurak geçtiği görülmektedir (Şekil 4.34).



Şekil 4.34: Ortalama aylık toplam yağış miktarının aylara göre değişim grafiği.

Tablo 4.12: İnceleme alanı ve yakın çevresindeki meteoroloji gözlem istasyonlarında gözlenen uzun yıllar ortalama aylık toplam yağış.

İstasyon Adı	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	Aylık Toplam Yağış (mm)
Ağrı	37.1	48.8	50.3	72.7	70.8	47.1	20.4	13.3	17.1	53.3	47.8	42.3	521.1
Çaldıran	39.7	41.7	39.5	54.6	58.1	36.2	18.8	13.5	18.8	48.8	48.8	39.1	457.6
Diyadin	18.9	19.5	29.1	36.5	55.0	51.0	21.2	16.3	8.7	34.5	35.8	20.2	346.7
Doğubeyazıt	16.3	23.3	27.5	37.5	58.4	44.6	19.9	12.2	14.4	33.9	25.2	20.1	333.2
Dorutay	21.9	16.9	22.3	39.8	52.1	30.4	25.1	12.9	11.8	28.5	22.9	23.2	307.6
Eleşkirt	57.3	49.2	63.1	70.1	65.6	36.7	31.6	37.8	22.4	98.8	87.7	55.0	675.2
Erciş	35.2	39.5	48.9	68.6	54.6	23.9	10.6	7.1	17.7	50.7	50.5	42.5	442.8
Gedikbudak	56.9	36.1	52.3	59.4	53.2	22.7	9.2	4.6	23.5	59.4	43.1	36.8	457.2
Hamur	41.2	33.3	39.1	72.2	65.6	38.6	12.8	12.7	12.0	69.8	58.4	44.6	500.2
Koçköprü	48.3	47.1	65.4	88.3	81.9	36.4	12.2	21.7	17.9	69.0	74.6	50.4	613.2
Makoo	19.5	21.6	30.0	43.5	59.2	37.5	11.2	8.2	7.5	28.7	19.4	16.2	302.5
Muradiye	50.2	53.6	58.3	78.9	54.0	29.0	17.5	11.8	23.5	58.2	62.5	57.7	548.3
Patnos	35.0	41.4	54.7	76.2	73.0	32.1	18.3	7.5	13.3	48.3	47.9	42.6	490.3
Taşlıçay	24.1	27.9	27.2	39.1	59.5	38.3	11.2	13.7	16.7	42.8	33.6	23.0	357.0
Tutak	43.6	62.5	52.7	65.4	56.1	27.6	8.3	5.4	12.5	67.9	58.7	57.8	518.6
Ort	36.3	37.5	44.0	60.2	61.1	35.5	16.5	13.2	15.9	52.8	47.8	38.1	458.1
Min	16.3	16.9	22.3	36.5	52.1	22.7	8.3	4.6	7.5	28.5	19.4	16.2	302.5
Max	57.3	62.5	65.4	88.3	81.9	51.0	31.6	37.8	23.5	98.8	87.7	57.8	675.2

akım değerleri 1960-2012 zaman aralığını kapsamamaktadır. Akım gözlem istasyonlarında akım verilerinin eksik olduğu ve akım gözlem istasyonlarının konumları nedeniyle tüm havzayı temsil etmediği görülmektedir (Şekil 4.35). Bu nedenle inceleme alanındaki uzun yıllar ortalama toplam akım miktarının hesaplanması 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. 1. aşamada eksik akım verileri tamamlanarak akım gözlem istasyonlarının temsil ettiği drenaj alanlarındaki akım miktarı hesaplanmıştır. 2. aşamada akım - drenaj alanı ilişkisi ortaya koyularak akış katsayısı hesaplanmış ve akış katsayısı kullanılarak her havza için akım gözlem istasyonunun temsil etmediği alana ait akımlar hesaplanmıştır. 3. aşamada ise her havza için akım gözlem istasyonunun temsil ettiği alanda hesaplanan akım miktarı ile istasyonun temsil etmediği kalan alan için hesaplanan akım miktarı toplanarak havzadaki toplam akım miktarı elde edilmiştir. İnceleme alanı ve yakın çevresindeki akım gözlem istasyonlarına ait bilgiler Tablo 4.13'te ve inceleme alanındaki akım gözlem istasyonlarının konumlarını ve temsil ettikleri drenaj alanlarını gösteren harita ise Şekil 4.35'de verilmiştir.

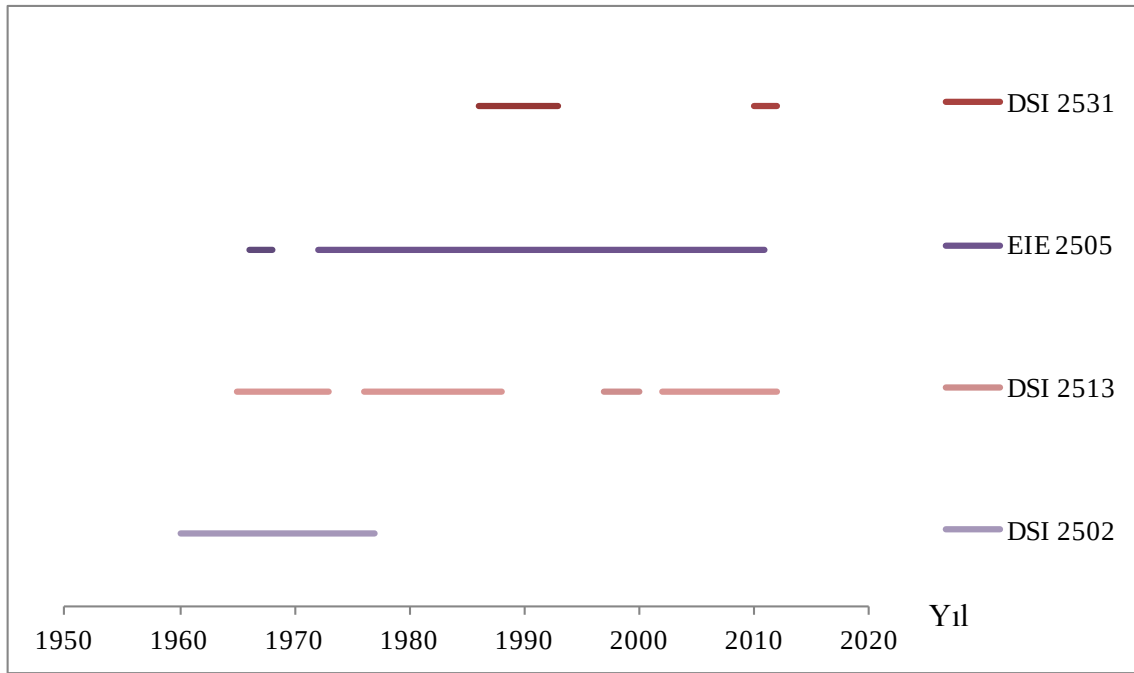
Tablo 4.13: İnceleme alanı ve yakın çevresindeki akım gözlem istasyonlarına ait bilgiler.

Havza	İstasyon Adı	İstasyon No	Kot (m)	Drenaj alanı (km ²)	Koordinat (UTM)		Ölçüm Periyodu
					X	Y	
Zılan	Koçköprü	DSİ 2502	1765	700	355435	4331991	1960-1977
Deliçay	Payköy	DSİ 2513	1992	335	373991	4330294	1965-1967, 1970-1973, 1976-1988, 1997-2000, 2002-2012
Bendim ahi	Göndürme	EİE 2505	1915	1374	395550	4327210	1966-1968, 1972-2011
Bendim ahi	Çubuklu	DSİ 2531	2080	96	421093	4326123	1986-1993, 2010-2012

Eksik Akım Verilerinin Tamamlanması

1960-2012 zaman aralığında 53 yıllık akım verilerinin hesaplanması için inceleme alanındaki akım gözlem istasyonlarında bazı yıllara ait veriler eksik olduğundan, eksik verilerin tamamlanmasına gerek duyulmuştur (Şekil 4.36). Eksik akım verilerinin tamamlanması 'Korelasyon Yöntemi' kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Korelasyon yöntemi Bölüm 4.2.3.1 başlığı altında ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Eksik akım verilerinin tamamlanması amacıyla her bir akım gözlem istasyonu drenaj alanında gözlenen akım değerleri ile aynı yıllara ait Van Gölü üzerine düşen yağış değerleri (Düzen, 2011) arasındaki ilişki incelenmiştir. Hidrolojide bilindiği üzere, yağışların bir kısmı

buharlaşma sonucu atmosfere dönerken, bir kısmı alanın hidrojeolojik yapısının ve yağış şiddetinin izin verdiği ölçüde yeraltına süzülmekte ve geri kalan kısmı ise, yüzeysel akıma geçmektedir. Yağışın bir kısmı inceleme alanındaki Zilan, Deliçay ve Bendimahi dereleri aracılığıyla Van Gölü'ne boşaldığından, Van Gölü'ne düşen yağışlar ile söz konusu akarsular üzerindeki akım gözlem istasyonlarının verileri arasında bir regresyon ve korelasyon ilişkisinin kurulmasında bir sakınca görülmemektedir.



Şekil 4.36: Akım gözlem istasyonları gözlem süreleri.

Her bir akım gözlem istasyonu için kurulan ilişkide uygun korelasyon katsayılarının elde edilmesi de, eksik akım verilerinin Van Gölü üzerine düşen yağışlar ile tamamlanabileceğini göstermektedir. Zilan havzasındaki DSİ 2502 nolu akım gözlem istasyonu için oluşturulan regresyon denklemi ($DSİ\ 2502\ Yıllık\ Ortalama\ Akım = (720.25 \times \text{Van Gölü'ne düşen yağış}) - 1.6192$) ve korelasyon katsayısı ise 0.593 olarak hesaplanmıştır. Deliçay havzasındaki DSİ 2513 nolu akım gözlem istasyonu için oluşturulan regresyon denklemi ($DSİ\ 2513\ Yıllık\ Ortalama\ Akım = (294.71 \times \text{Van Gölü'ne düşen yağış}) + 0.3131$) ve korelasyon katsayısı ise 0.757 olarak hesaplanmıştır. Bendimahi havzasındaki EIE 2505 nolu akım gözlem istasyonu için oluşturulan regresyon denklemi ($EIE\ 2505\ Yıllık\ Ortalama\ Akım = (383.17 \times \text{Van Gölü'ne düşen yağış}) + 3.3956$) ve korelasyon katsayısı ise 0.461 olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla bu

denklemler kullanılarak eksik akım verileri, Van Gölü üzerine düşen yağışlar ile tamamlanmıştır. 1960-2012 zaman aralığında Van Gölü'ne düşen yağışlara ait veriler ile DSİ 2502, DSİ 2513 ve EİE 2505 nolu istasyonlarda gözlenen akım verileri Tablo 4.14'deki gibidir. Zilan, Deliçay, Bendimahi havzalarının toplam yüzeysel akarsu drenaj alanı 3782 km²'dir. İnceleme alanında volkanik birimlerin fazla olması nedeniyle yağışların büyük bir kısmı yüzeysel akıma geçmektedir.

Akım-Drenaj Alanı İlişkisi

İnceleme alanının hidrodinamik yapısının belirlenmesi amacı ile, inceleme alanı içinde yer alan akım gözlem istasyonlarında gözlenen aylık akım değerleri kullanılarak her bir akım gözlem istasyonu için drenaj alanı-akış katsayısı (α) ilişkisi kurulmuştur. Bu ilişkiye, akım gözlem istasyonunda ölçülen akım değerinin söz konusu akım gözlem istasyonunun drenaj alanına bölünmesi ile ulaşılmaktadır. Akış katsayısı, birim süre içinde birim alanda oluşan akım miktarının l/s/km² türünden ifadesidir. Yağış rejimi ve havza özellikleri benzeyen ve ana akarsuya suni veya dış kökenli katkıların olmadığı havzalarda, ana akarsuyun farklı noktalarındaki akış katsayıları arasında büyük bir değişiklik gözlenmemektedir. Buna karşın; akarsuya yeraltısuyu katkısı olması durumunda, katkı noktasından itibaren akış katsayısı değerinde artma, karstik kayıpların oluşması durumunda ise, akış katsayısı değerinde azalış olduğu görülmektedir (Aydın, 2015). Bu çalışma kapsamında, öncelikle inceleme alanında gözlem yapan her bir ana akarsuyun membası ile söz konusu akarsu üzerindeki akım gözlem istasyonu arasında kalan alan (drene ettiği drenaj alanı) belirlenmiştir. Sonrasında ise o akarsu üzerinde akım gözlem istasyonu ile Van Gölü arasında kalan alanı belirlenmiştir. Her bir havzada yer alan akım gözlem istasyonundaki eksik akım verilerin tamamlanması sonucunda elde edilen 1960-2012 yılları arasındaki yıllık ortalama akım değeri, söz konusu akım gözlem istasyonunun drenaj alanına bölünerek her bir yıl için akış katsayısı hesaplanmıştır. İnceleme alanı içinde yer alan DSİ 2502 nolu akım gözlem istasyonunda gözlenen akım değerlerine ait akış katsayıları 0.007 l/s/km² ile 0.028 l/s/km² arasında değişirken, ortalama akış katsayısı ise 0.015 l/s/km² olarak hesaplanmıştır. Bu durum, Zilan havzası içinde birim alanda (1 km²) meydana gelen akım miktarının 0.015 l/s olduğunu göstermektedir. DSİ 2513 nolu akım gözlem istasyonunda gözlenen akım değerlerine ait akış katsayıları 0.010 l/s/km² ile 0.032 l/s/km² arasında değişirken, ortalama akış katsayısı ise 0.016 l/s/km² olarak hesaplanmıştır. Bu durum, Deliçay havzası içinde birim alanda

(1 km²) meydana gelen akım miktarının 0.016 l/s olduğunu ifade etmektedir. EİE 2505 nolu akım gözlem istasyonunda gözlenen akım değerlerine ait akış katsayıları 0.003 l/s/km² ile 0.012 l/s/km² arasında değişirken, ortalama akış katsayısı ise 0.007 l/s/km² olarak hesaplanmıştır. Bu durum, Bendimahı havzası içinde birim alanda (1 km²) meydana gelen akım miktarının 0.007 l/s olduğunu göstermektedir. Havzada akım gözlem istasyonunun temsil etmediği yüzeysel drenaj alanı ile akış katsayısının çarpılması sonucunda ise havzanın geri kalan kesimi için akım miktarı elde edilmiştir.

Zilan, Deliçay ve Bendimahı havzaları için DSİ 2502, DSİ 2513 ve EİE 2505 nolu akım gözlem istasyonlarının temsil ettiği alanlar sırasıyla; 700, 335 ve 1374 km² olup, geri kalan kısma ait drenaj alanları ise sırasıyla; 527, 333 ve 513 km²'dir. Sonuç olarak, her bir havza için havzada akım gözlem istasyonunun temsil ettiği alandaki akım miktarı ile havzanın geri kalan kesimindeki akım miktarı toplanarak her havzadaki toplam akım miktarı belirlenmiştir. İnceleme alanında yer alan akım gözlem istasyonlarında gözlenen aylık akım değerleri kullanılarak her yıl için hesaplanan akış katsayıları Tablo 4.15'te verilmektedir.

Tablo 4.14: 1960-2012 zaman aralığında Van Gölü'ne düşen yağışlar ve akım gözlem istasyonu verileri.

Yıl	V. Gölüne düşen yağışlar (m)	DSI 2502 (Yıllık ortalama akım - m3/s)	DSI 2513 (Yıllık ortalama akım - m3/s)	EIE 2505 (Yıllık ortalama akım - m3/s)
1960	0.020	5.415	6.317	11.201
1961	0.013	4.704	4.273	8.544
1962	0.014	7.709	4.581	8.944
1963	0.020	19.317	6.317	11.201
1964	0.013	10.962	4.191	8.438
1965	0.015	8.118	5.064	9.333
1966	0.020	12.972	6.185	9.854
1967	0.022	10.329	5.307	10.336
1968	0.021	15.941	7.687	15.977
1969	0.021	15.541	6.864	11.307
1970	0.013	8.793	4.397	8.295
1971	0.015	7.851	3.593	9.259
1972	0.020	12.581	5.982	12.755
1973	0.016	9.762	5.480	10.485
1974	0.015	9.702	4.592	7.763
1975	0.016	9.370	4.892	6.723
1976	0.018	13.203	6.070	10.303
1977	0.015	9.837	4.498	10.245
1978	0.018	11.342	5.896	12.183
1979	0.018	10.994	5.609	9.812
1980	0.014	8.133	5.325	9.611
1981	0.017	10.892	4.342	8.169
1982	0.016	10.117	4.194	9.198
1983	0.016	9.746	3.480	8.219
1984	0.016	10.217	6.487	10.068
1985	0.015	9.419	5.688	12.132
1986	0.017	10.363	5.354	7.583
1987	0.020	12.735	4.205	13.894
1988	0.022	14.438	4.668	14.928
1989	0.013	7.886	4.203	8.817
1990	0.014	8.566	4.481	9.154
1991	0.019	11.923	5.854	6.727
1992	0.018	11.581	5.400	10.384
1993	0.021	13.171	6.365	12.982
1994	0.020	12.998	6.294	10.217
1995	0.016	9.793	4.983	8.573
1996	0.017	10.436	5.246	7.725
1997	0.015	9.097	6.069	8.281
1998	0.014	8.454	4.008	7.673
1999	0.012	7.215	3.453	6.134
2000	0.010	5.882	3.271	6.407
2001	0.015	9.523	4.872	4.267
2002	0.018	11.026	5.405	9.061
2003	0.018	11.375	6.559	12.122
2004	0.017	10.312	5.180	11.517
2005	0.015	9.276	5.109	11.422
2006	0.018	11.617	4.405	10.346
2007	0.016	9.897	10.817	11.198
2008	0.013	7.831	3.516	8.907
2009	0.018	11.422	6.398	8.433
2010	0.010	5.882	6.797	12.808
2011	0.022	14.438	5.573	10.844
2012	0.017	10.396	4.923	9.787
Ort	0.017	10.387	5.297	9.822
Min	0.010	4.704	3.271	4.267
Max	0.022	19.317	10.817	15.977

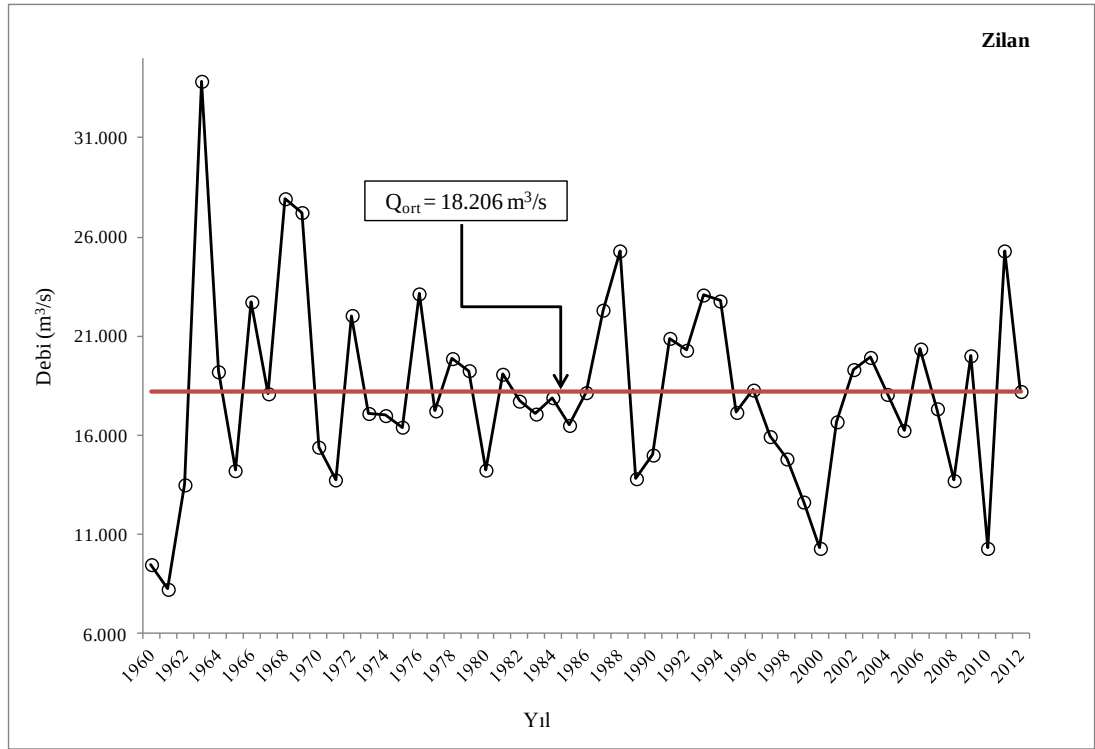
* Eksik yıllara ait tamamlanmış veriler kırmızı renkle, var olan veriler ise siyah renkle gösterilmiştir.

Tablo 4.15: İnceleme alanındaki havzalara ait yüzeyel akım değerleri ve akış katsayıları.

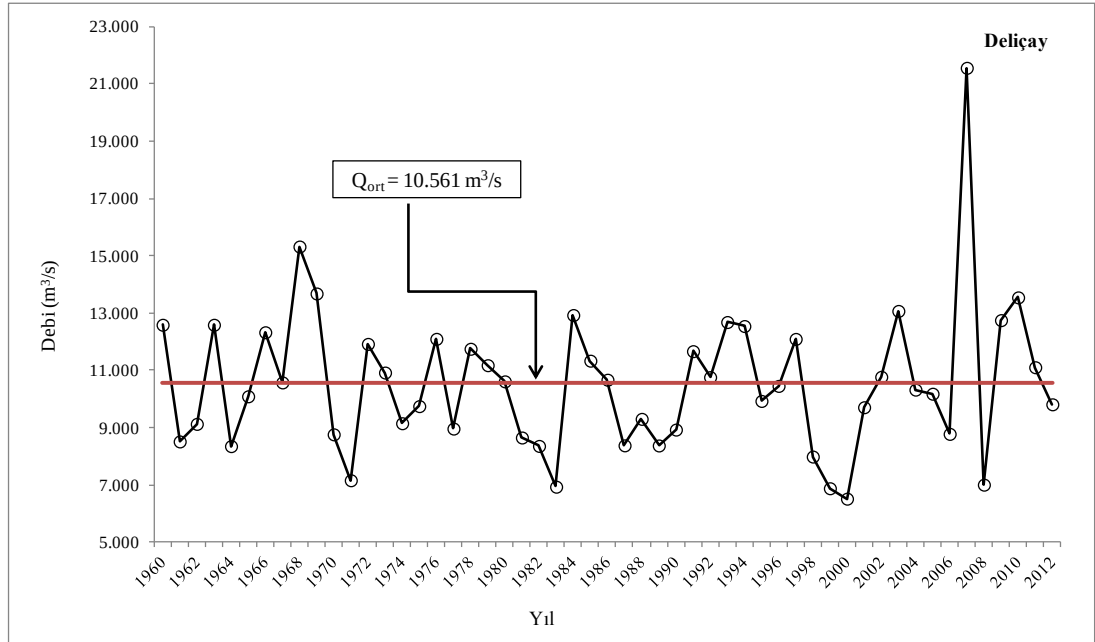
Akarsu	Q_{ZİLAN} (m ³ /s)	Q_{DELİÇAY} (m ³ /s)	Q_{BENDİMAHI} (m ³ /s)	Akış Katsayısı (α) (l/s/km ²)	Akış Katsayısı (α) (l/s/km ²)	Akış Katsayısı (α) (l/s/km ²)
Alan(km²)	1227	668	1887	ZİLAN	DELİÇAY	BENDİMAHI
1960	9.492	12.595	15.383	0.008	0.019	0.008
1961	8.245	8.521	11.734	0.007	0.013	0.006
1962	13.514	9.134	12.283	0.011	0.014	0.007
1963	33.860	12.595	15.383	0.028	0.019	0.008
1964	19.214	8.357	11.588	0.016	0.013	0.006
1965	14.230	10.097	12.818	0.012	0.015	0.007
1966	22.737	12.334	13.533	0.019	0.018	0.007
1967	18.105	10.582	14.195	0.015	0.016	0.008
1968	27.941	15.328	21.942	0.023	0.023	0.012
1969	27.241	13.688	15.529	0.022	0.020	0.008
1970	15.412	8.768	11.392	0.013	0.013	0.006
1971	13.762	7.165	12.716	0.011	0.011	0.007
1972	22.053	11.927	17.517	0.018	0.018	0.009
1973	17.112	10.927	14.400	0.014	0.016	0.008
1974	17.006	9.157	10.662	0.014	0.014	0.006
1975	16.424	9.755	9.232	0.013	0.015	0.005
1976	23.143	12.104	14.150	0.019	0.018	0.007
1977	17.243	8.970	14.070	0.014	0.013	0.007
1978	19.880	11.757	16.731	0.016	0.018	0.009
1979	19.270	11.184	13.475	0.016	0.017	0.007
1980	14.257	10.619	13.199	0.012	0.016	0.007
1981	19.092	8.658	11.219	0.016	0.013	0.006
1982	17.734	8.364	12.632	0.014	0.013	0.007
1983	17.083	6.940	11.288	0.014	0.010	0.006
1984	17.910	12.935	13.826	0.015	0.019	0.007
1985	16.510	11.341	16.661	0.013	0.017	0.009
1986	18.164	10.676	10.415	0.015	0.016	0.006
1987	22.323	8.384	19.082	0.018	0.013	0.010
1988	25.308	9.309	20.501	0.021	0.014	0.011
1989	13.824	8.380	12.108	0.011	0.013	0.006
1990	15.015	8.935	12.572	0.012	0.013	0.007
1991	20.900	11.674	9.238	0.017	0.017	0.005
1992	20.299	10.767	14.261	0.017	0.016	0.008
1993	23.086	12.692	17.829	0.019	0.019	0.009
1994	22.783	12.551	14.031	0.019	0.019	0.007
1995	17.165	9.935	11.773	0.014	0.015	0.006
1996	18.292	10.460	10.609	0.015	0.016	0.006
1997	15.945	12.101	11.373	0.013	0.018	0.006
1998	14.818	7.992	10.538	0.012	0.012	0.006
1999	12.647	6.886	8.424	0.010	0.010	0.004
2000	10.310	6.522	8.799	0.008	0.010	0.005
2001	16.693	9.715	5.860	0.014	0.015	0.003
2002	19.327	10.778	12.444	0.016	0.016	0.007
2003	19.939	13.079	16.647	0.016	0.020	0.009
2004	18.075	10.330	15.817	0.015	0.015	0.008
2005	16.259	10.187	15.686	0.013	0.015	0.008
2006	20.363	8.785	14.209	0.017	0.013	0.008
2007	17.349	21.570	15.378	0.014	0.032	0.008
2008	13.727	7.011	12.232	0.011	0.010	0.006
2009	20.021	12.758	11.582	0.016	0.019	0.006
2010	10.310	13.552	17.589	0.008	0.020	0.009
2011	25.308	11.112	14.893	0.021	0.017	0.008
2012	18.222	9.817	13.442	0.015	0.015	0.007
Ortalama	18.206	10.561	13.488	0.015	0.016	0.007
Min	8.245	6.522	5.860	0.007	0.010	0.003
Max	33.860	21.570	21.942	0.028	0.032	0.012

Akım Verilerinin Değerlendirilmesi

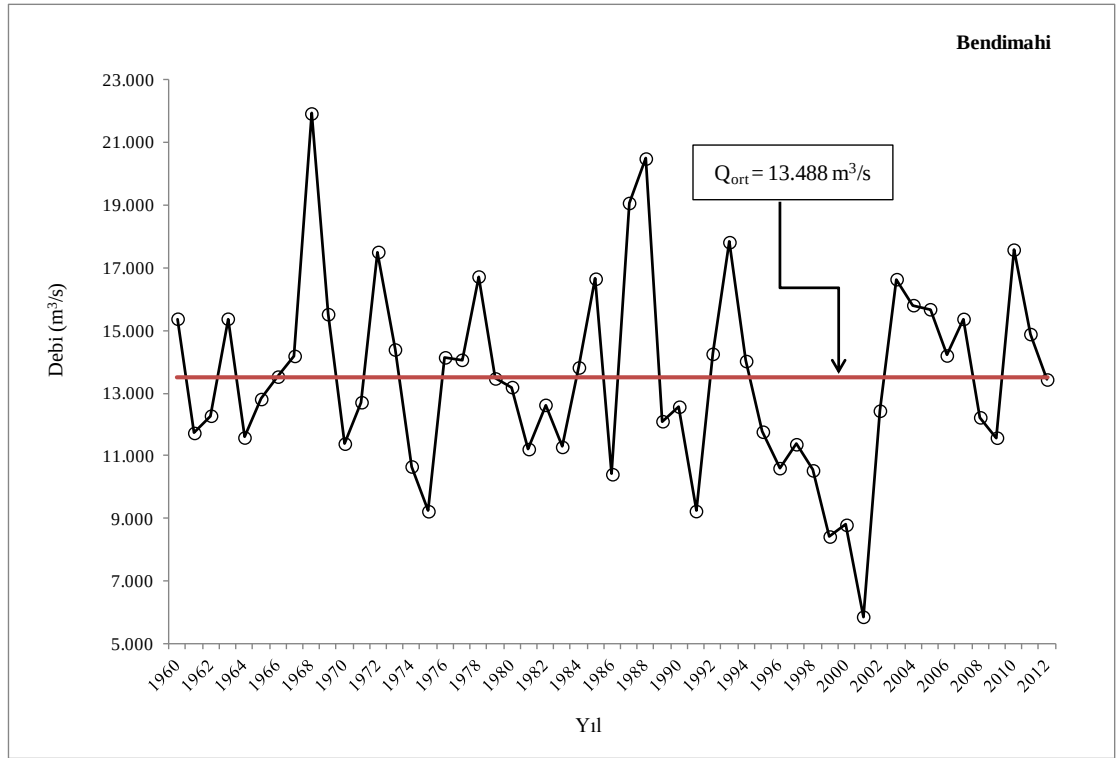
Zılan Çayı'nda 1960-2012 zaman aralığında gözlenen en küçük uzun yıllar ortalama akım değeri 1961 yılında $8.245 \text{ m}^3/\text{s}$ iken, en yüksek akım değeri $33.860 \text{ m}^3/\text{s}$ ile 1963 yılında görülmekte ve ortalama akım değeri ise $33.860 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.37). Deliçay'da 1960-2012 zaman aralığında gözlenen en küçük uzun yıllar ortalama akım değeri 2000 yılında 6.522 olarak gözlenirken, en yüksek akım değeri 2007 yılında $21.570 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.38). Bendimahi deresinde ise, 1960-2012 zaman aralığındaki en düşük akım değeri 2001 yılında $5.860 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak hesaplanırken, en yüksek akım değeri 1968 yılında $21.942 \text{ m}^3/\text{s}$ şeklinde hesaplanmıştır (Şekil 4.39). İnceleme alanı genelinde akımın aylara göre değişimi incelendiğinde ise, en yüksek akımın görüldüğü ay Mayıs ayı iken, tüm akım gözlem istasyonlarında akımın en düşük olduğu dönem, kış ve sonbahar aylarıdır. En yüksek aylık ortalama akım değeri $41.04 \text{ m}^3/\text{s}$ ile DSİ 2502 nolu istasyonda, en düşük akım değeri ise $0.24 \text{ m}^3/\text{s}$ ile DSİ 2531 nolu akım gözlem istasyonunda gözlenmiştir. İnceleme alanında bulunan akım gözlem istasyonlarına ait aylık ortalama akım hidrografi Şekil 4.40'daki gibidir.



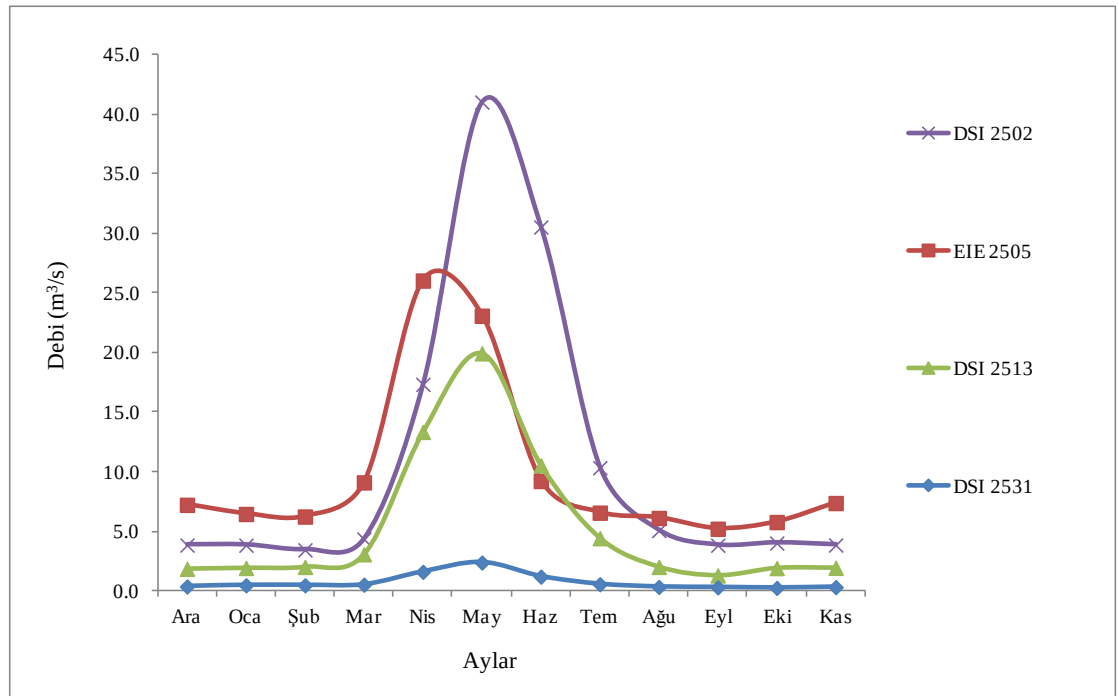
Şekil 4.37: Zilan Çayı 1960-2012 zaman aralığı yıllık ortalama akım grafiği.



Şekil 4.38: Deliçay 1960-2012 zaman aralığı yıllık ortalama akım grafiği.



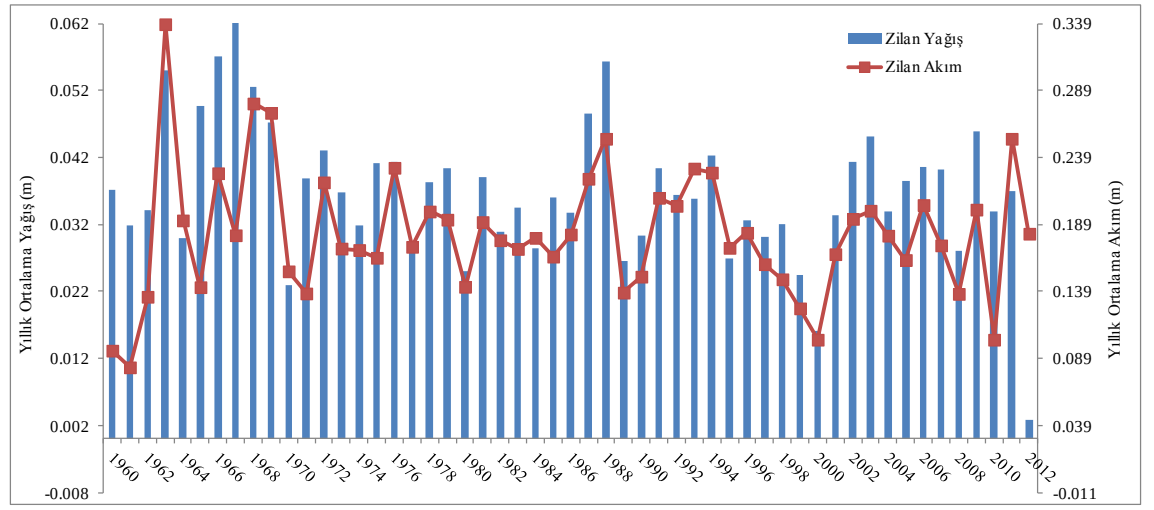
Şekil 4.39: Bendimahi deresi 1960-2012 zaman aralığı yıllık ortalama akım grafiği.



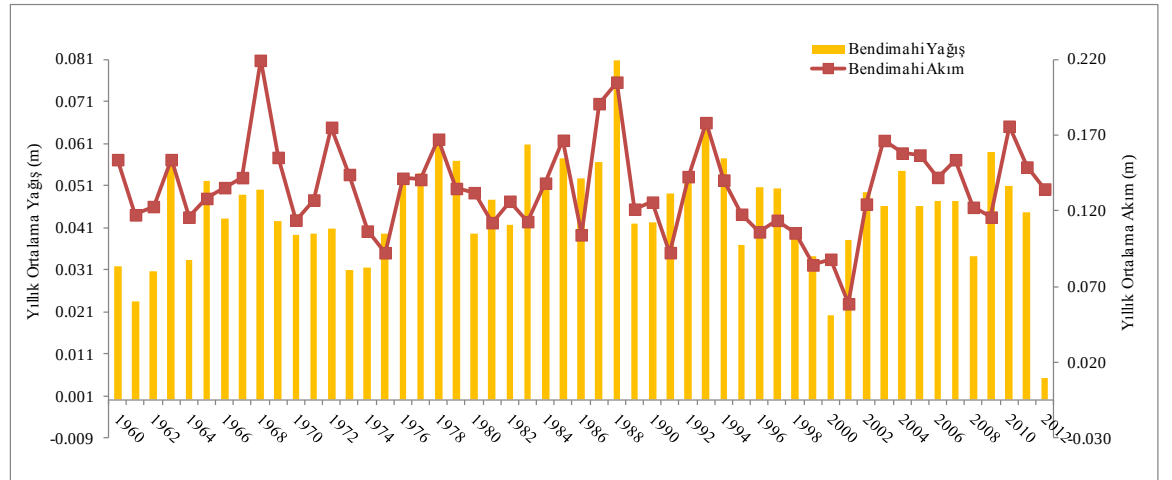
Şekil 4.40: İnceleme alanında bulunan akım gözlem istasyonlarına ait aylık ortalama akım hidrografi.

Yağış-Akım Arasındaki İlişki

Zilan havzasında yer alan Erciş istasyonundaki ve Bendimahi havzasında yer alan Muradiye istasyonundaki 1960-2012 zaman aralığında her yıl için gözlenen yıllık ortalama yağış ile yıllık ortalama akım verileri arasındaki ilişki incelenmiştir. Zilan ve Bendimahi havzalarında yağış ile akım arasında doğru orantılı bir ilişkinin varlığı görülmektedir (Şekil 4.41, Şekil 4.42). Yağış gecikme olmaksızın aynı ay akışa geçmiştir. Bunun nedeni bölgedeki geçirimsiz birimlerdir.



Şekil 4.41: Zilan havzası yağış-akım ilişkisi.



Şekil 4.42: Bendimahi havzası yağış-akım ilişkisi.

4.2.3.3. Sıcaklık

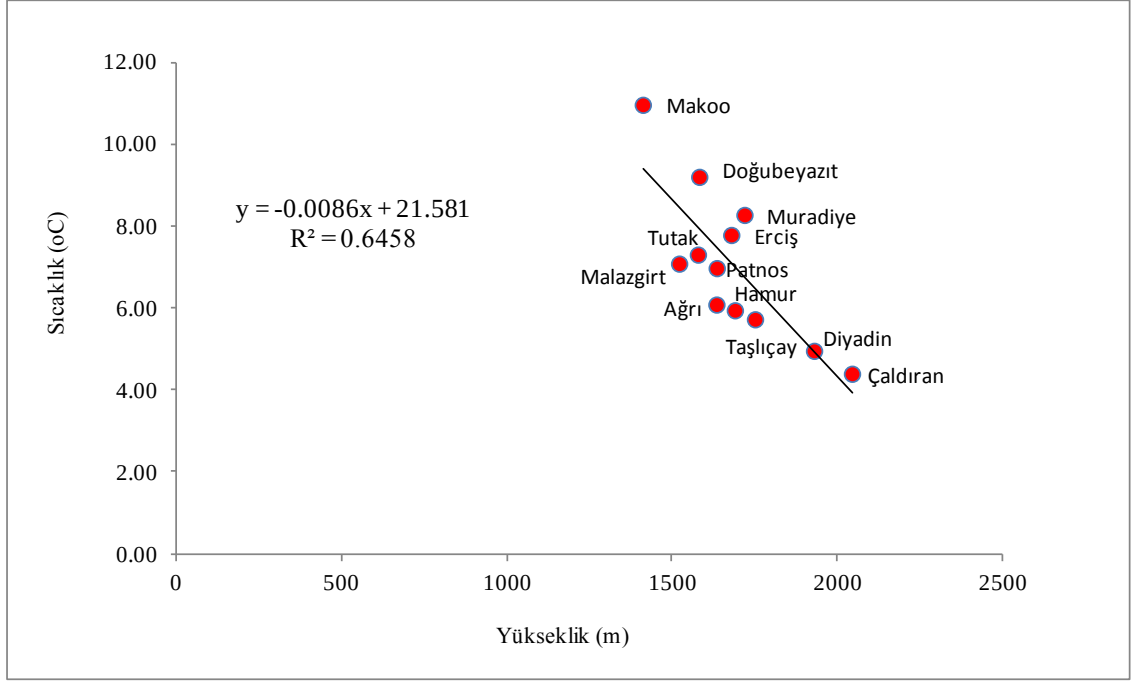
Sıcaklık değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla inceleme alanı ve yakın çevresinde bulunan 12 meteorolojik gözlem istasyonundan elde edilen uzun yıllar aylık ortalama sıcaklık değerleri kullanılmıştır (Tablo 4.16). 1960 - 2012 (53 yıl) zaman aralığında uzun yıllar ortalama sıcaklığın hesaplanması hedeflenmiştir. Ancak, bazı meteorolojik gözlem istasyonlarında yağış verilerinde olduğu gibi sıcaklık verilerinin de eksik olması, eksik sıcaklık verilerinin tamamlanmasını gerektirmiştir. Bu bölüm kapsamında meteoroloji gözlem istasyonlarında gözlenen yıllık ortalama sıcaklık değerleri inceleme alanı ve yakın çevresi için 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. 1. aşamada sıcaklık - yükseklik ilişkisi ortaya koyulmuş, 2. aşamada eksik sıcaklık verileri tamamlanmış, 3. aşamada ise isohyete yöntemi ile eş sıcaklık eğrisi haritaları oluşturularak inceleme alanı ve yakın çevresi için sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Sıcaklık gözlemi yapılan meteorolojik gözlem istasyonlarından en düşük kota sahip istasyon, 1411 m ile İran sınırları içerisinde yer alan Makoo istasyonu iken, en yüksek kota sahip istasyon ise 2045 m ile Çaldıran istasyonudur. İnceleme alanı ve yakın çevresinde yapılan değerlendirmede, yıllık ortalama en düşük sıcaklık değeri 4.4 °C ile Çaldıran istasyonunda gözlenirken, en yüksek yıllık ortalama sıcaklık ise 10.97 °C ile Makoo istasyonunda görülmektedir. İnceleme alanı ve yakın çevresindeki sıcaklık gözlem istasyonlarına ait bilgiler ise Tablo 4.16'da verilmiştir.

Tablo 4.16: İnceleme alanı ve yakın çevresindeki sıcaklık gözlem istasyonlarına ait bilgiler.

İstasyon adı	Kurum	Kot (m)	Gözlem süresi		Yıllık Ortalama Sıcaklık (°C)
Ağrı	DMİ	1634	1960	2012	6.09
Çaldıran	DMİ	2045	1985	1996	4.40
Diyadin	DMİ	1930	1976	1995	4.96
Doğubeyazıt	DMİ	1582	1975	2006	9.21
Erciş	DMİ	1679	1964	2012	7.79
Hamur	DMİ	1690	1984	1991	5.95
Makoo	İMO	1411	1961	2005	10.97
Malazgirt	DMİ	1521	1960	2012	7.09
Muradiye	DMİ	1719	1960	2012	8.28
Patnos	DMİ	1635	1976	2003	6.98
Taşlıçay	DMİ	1751	1984	1997	5.73
Tutak	DMİ	1578	1984	1990	7.31

Sıcaklık - Yükseklik İlişkisi

İnceleme alanı ve yakın çevresinde yer alan aynı kottaki meteoroloji gözlem istasyonlarında hem yağış, hem sıcaklık değerleri ölçüldüğünden, yağış bölümünde değinildiği gibi bu bölümde de meteoroloji gözlem istasyonlarının inceleme alanı ve yakın dolayının ortalama yüksekliğinin altında kotlara kurulduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4.43: İnceleme alanı ve yakın çevresine ait sıcaklık-yükseklik ilişkisi.

İnceleme alanı ve yakın çevresindeki istasyonlar için sıcaklık-yükseklik ilişkisini belirlemeye yönelik bir regresyon denklemi oluşturulmuş ve korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. İnceleme alanı ve yakın çevresi için sıcaklık-yükseklik ilişkisi $Sıcaklık = (-0.0086 \times Yükseklik) + 21.581$ denklemi ve 0.803 korelasyon katsayısı ile ifade edilmektedir (Şekil 4.43). Yapılan istatistiksel hesaplamalar sonucunda yüksek korelasyon katsayıları elde edilmiş ve bu durum kurulan denklemler aracılığıyla yıllık ortalama sıcaklık değerleri ile yükseklik ilişkisinde anlamlı sonuçlar elde edilebileceğini ortaya koymaktadır.

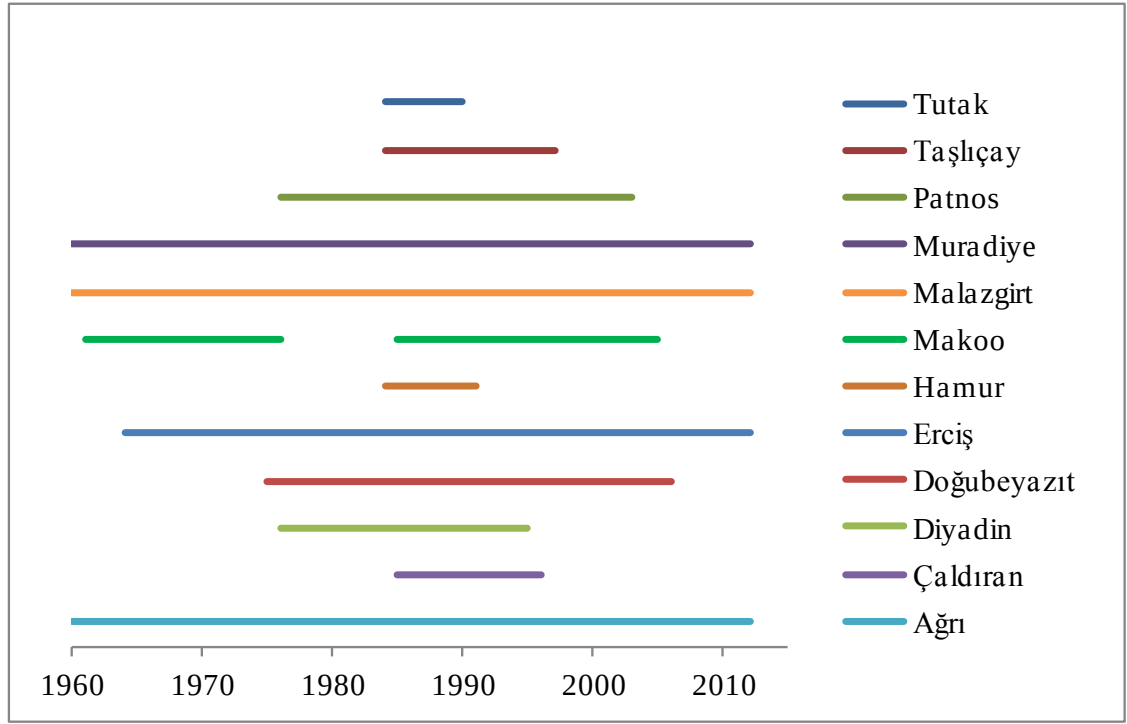
Eksik Sıcaklık Verilerinin Tamamlanması

1960-2012 zaman aralığındaki (53 yıl) yıllık ortalama sıcaklık değerleri belirlenmiş ve bazı yıllara ait meteorolojik gözlemlerin yapılmadığı görülmüştür. Yağış verilerinde olduğu gibi, eksik sıcaklık verilerinin tamamlanmasında da istatistiksel bir yaklaşım olan ‘Korelasyon Yöntemi’nden faydalanılmıştır. İnceleme alanı ve yakın çevresinde sıcaklık ölçümü yapılan meteorolojik gözlem istasyonlarına ait gözlem süresi grafiği Şekil 4.44'deki gibidir. Birbirlerinin verileriyle tamamlanmış, verisi tam olan ve verisi eksik olan sıcaklık ölçen meteoroloji gözlem istasyonlarını gösteren regresyon denklemleri Tablo 4.17'de verilmiştir.

Tablo 4.17: Verisi eksik olan ve verisi tam olan sıcaklık gözlem istasyonları kullanılarak oluşturulan regresyon denklemleri ve korelasyon katsayıları.

İstasyon Adı Verisi Eksik - Verisi Tam		Regresyon Denklemi	Kor. Kat.	Eksik Veri Tamamlanan Yıllar	Ortalama Sıcaklık (°C)		Fark (%)
					Önce	Sonra	
Çaldıran	Muradiye	$T_{CLD} = 0.9267 \times T_{MRD} - 3.0965$	0.95	1960-1984, 1997-2012	4.40	4.61	4.71
Diyadin	Ağrı	$T_{DYD} = 0.827 \times T_{AGR} - 0.0148$	0.89	1960-1975, 1996-2012	4.96	4.98	0.35
Doğubeyazıt	Diyadin	$T_{DOG} = 0.6466 \times T_{DYD} + 5.5599$	0.81	1960-1974, 2007-2012	9.21	8.98	-2.52
Erciş	Muradiye	$T_{ERC} = 0.731 \times T_{MRD} + 1.781$	0.73	1960-1963	7.79	7.77	-0.28
Hamur	Taşlıçay	$T_{HAM} = 1.3074 \times T_{TAS} - 1.6467$	0.82	1960-1983, 1992-2012	5.95	5.57	-6.38
Makoo	Doğubeyazıt	$T_{MAK} = 0.8018 \times T_{DOG} + 2.882$	0.91	1960, 1977-1984, 2006-2012	10.97	10.67	-2.77
Patnos	Malazgirt	$T_{PAT} = 0.6423 \times T_{MLZ} + 2.3668$	0.83	1960-1975, 2004-2012	6.97	6.95	4.10
Taşlıçay	Ağrı	$T_{TAS} = 0.8031 \times T_{AGR} + 0.6722$	0.92	1960-1983, 1998-2012	5.73	5.52	- 3.74
Tutak	Patnos	$T_{TUT} = 1.028 \times T_{PAT} + 0.0025$	0.83	1960-1983, 1991-2012	7.31	7.14	-2.30

* T, istasyonlarda gözlenen sıcaklığı ifade etmektedir.

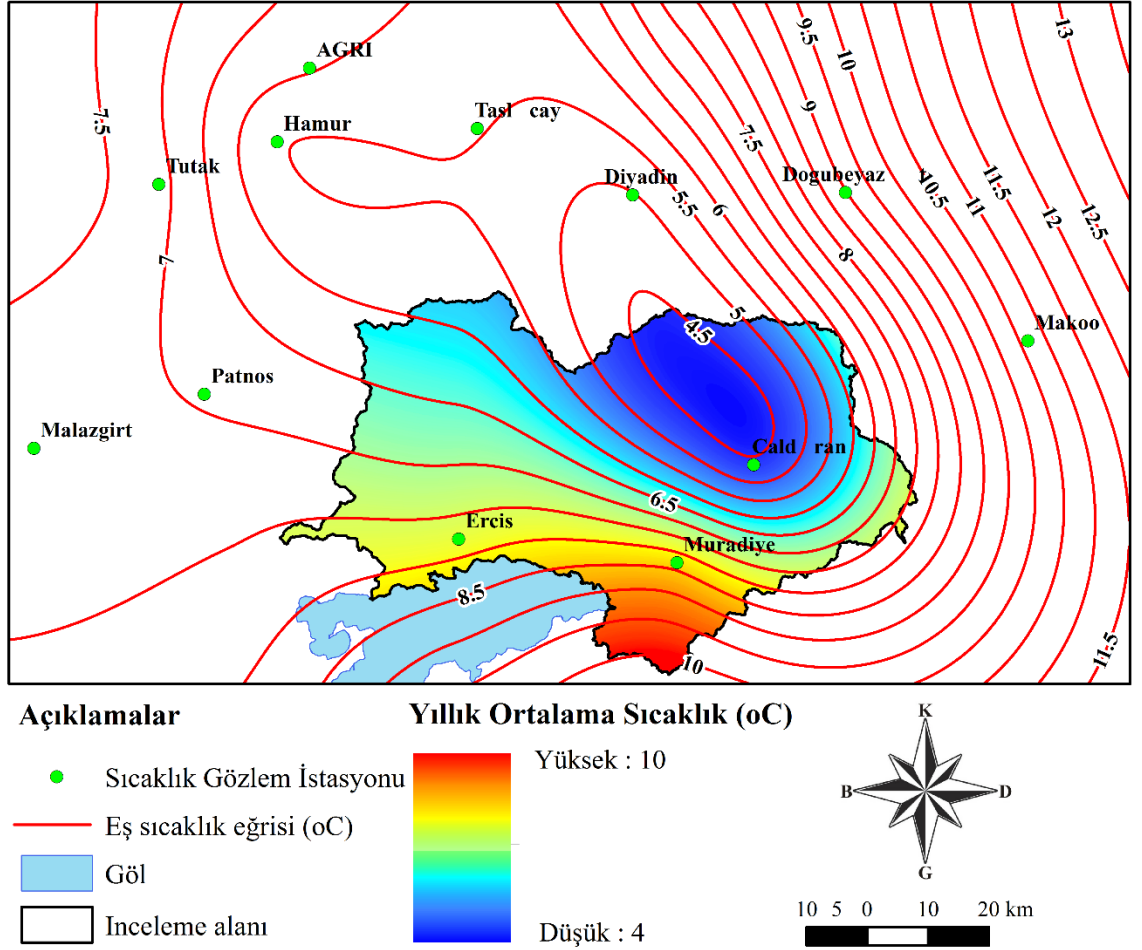


Şekil 4.44: İnceleme alanı ve yakın çevresi sıcaklık ölçümü yapılan meteorolojik gözlem istasyonlarına ait gözlem süresi grafiği.

Eş Sıcaklık Eğrisi Haritalarının Oluşturulması

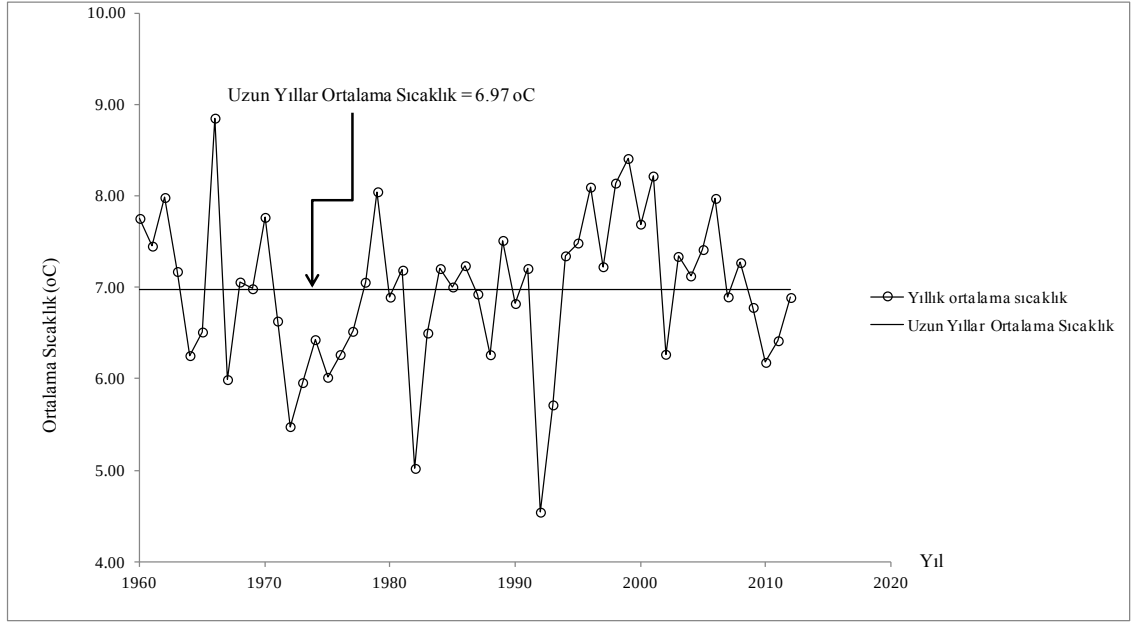
Meteoroloji gözlem istasyonlarındaki eksik yıllara ait sıcaklık verileri tamamlandıktan sonra 1960-2012 zaman aralığında (53 yıl) her bir yıla ait yıllık ortalama sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra, alansal sıcaklığın hesaplanması için isohyte yöntemi kullanılarak inceleme alanı ve yakın çevresi için eş sıcaklık haritası oluşturulmuştur. Eş sıcaklık eğrisi yöntemiyle inceleme alanı genelindeki sıcaklık değeri 7.25 °C olarak hesaplanmıştır. Ayrıca sıcaklık değerleri her havza için ayrı su bütçesi hesaplaması yapılacağından havzalar için ayrı ayrı sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda Zilan havzası, Deliçay havzası ve Bendimahı havzası için ortalama yıllık sıcaklık değerleri sırasıyla; 6.75, 7, 7.25 °C'dir. 1960-2012 zaman aralığında inceleme alanı ve yakın çevresine ait eş sıcaklık eğrisi haritası Şekil 4.45'deki gibidir. Ayrıca inceleme alanı ve yakın çevresi için uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklığın zamana göre değişimi incelenmiş ve ortalama sıcaklık-zaman grafiği Şekil 4.46'de gösterilmiştir. İnceleme alanı ve yakın çevresinde en önemli sıcaklık yükselimi 1960'lı yılların ortasında ve 1990'lı yılların sonunda yaşanırken, 1990'lı yılların başında 1980'li yılların başında sıcaklıklarda önemli düşüşler gözlenmektedir. Genel olarak bakıldığında 1990'ların başından itibaren sıcaklıklarda devamlı bir yükselimin varlığı söz konusudur.

2010 yılından günümüze sıcaklıkların yükselim eğilimi gösterdiği görülmektedir. İnceleme alanı ve yakın çevresinde 1960-2012 zaman aralığı uzun yıllar ortalama sıcaklık değeri 6.97 °C'dir. Yıllık sıcaklık değerlerinin yanı sıra, inceleme alanı ve yakın çevresindeki meteoroloji gözlem istasyonlarında gözlenen uzun yıllar ortalama aylık sıcaklık değerleri ve ortalama sıcaklığın aylara göre değişimi Tablo 4.18 ve Şekil 4.47'deki gibi belirtilmiştir.



Şekil 4.45: 1960-2012 zaman aralığında inceleme alanı ve yakın çevresine ait eş sıcaklık eğrisi haritası.

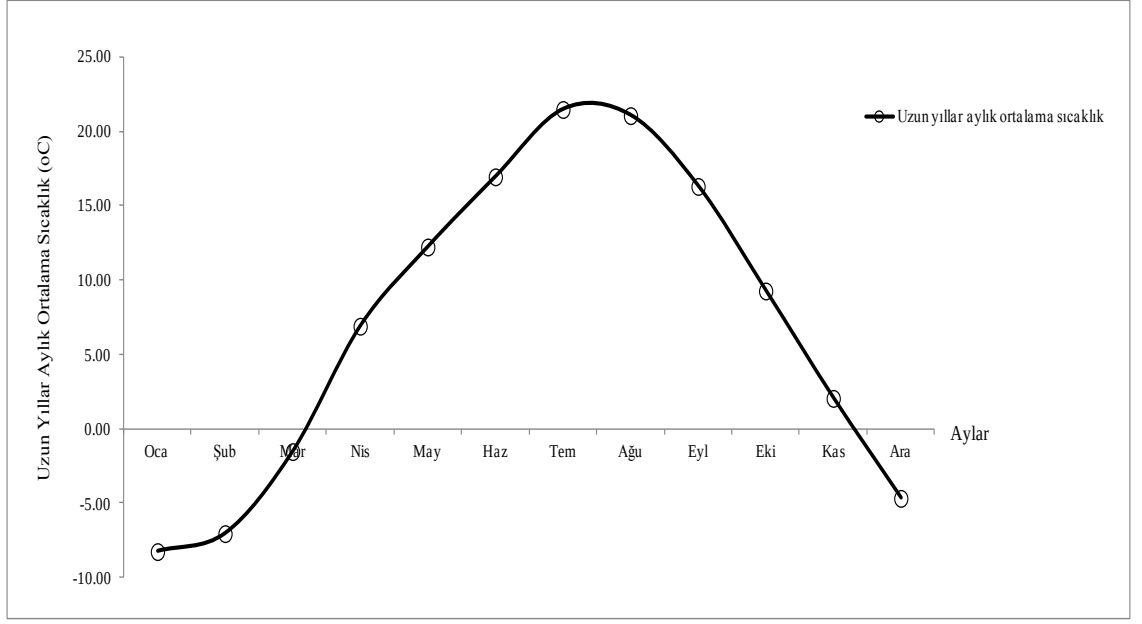
Sıcaklığın 53 yıllık zaman aralığında aylık değişimleri incelendiğinde, en düşük sıcaklığın Ocak, Şubat ve Aralık aylarında gözlemlendiği, en yüksek sıcaklıklara ise Temmuz ve Ağustos aylarında ulaşıldığı görülmektedir.



Şekil 4.46: İnceleme alanı ve yakın çevresi uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklığın zamana bağlı değişim grafiği.

Tablo 4.18: 1960-2012 zaman aralığında inceleme alanındaki ortalama sıcaklığın aylara göre değişimi.

	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
Ağrı	-10.83	-9.42	-3.48	5.79	11.98	16.49	20.99	21.01	16.02	9.03	1.65	-6.56
Çaldıran	-11.91	-10.94	-4.43	4.29	10.10	14.75	19.17	18.74	14.29	7.27	-0.40	-8.11
Diyadin	-9.72	-8.49	-3.46	5.03	9.76	14.26	18.87	18.39	14.26	6.94	-0.51	-6.51
Doğubeyazıt	-4.43	-3.18	1.90	9.10	13.41	18.50	22.82	22.60	17.67	10.48	3.74	-2.09
Erciş	-5.69	-4.85	0.18	6.84	12.31	17.39	21.60	20.88	15.42	9.18	2.90	-2.69
Hamur	-10.33	-9.81	-4.09	6.26	11.40	16.34	21.09	20.71	16.53	8.73	1.11	-6.54
Makoo	-3.31	-1.83	4.42	10.81	15.46	19.75	23.78	23.92	19.32	12.92	6.45	0.00
Malazgirt	-9.94	-8.30	-1.64	7.17	12.87	17.70	22.30	22.02	16.84	9.96	2.04	-5.43
Muradiye	-5.51	-4.59	0.28	7.08	12.65	17.70	22.37	21.81	16.53	9.94	3.25	-2.67
Patnos	-8.92	-7.39	-1.97	7.01	12.17	17.06	21.68	20.96	16.06	9.23	2.10	-4.34
Taşlıçay	-9.61	-8.64	-3.64	6.04	11.47	15.46	19.92	19.63	15.34	8.40	0.32	-5.87
Tutak	-8.92	-7.17	-2.48	7.35	13.08	17.90	23.05	21.98	17.27	9.10	1.88	-5.35
Ort	-8.26	-7.05	-1.53	6.90	12.22	16.94	21.47	21.05	16.29	9.26	2.04	-4.68
Min	-11.91	-10.94	-4.43	4.29	9.76	14.26	18.87	18.39	14.26	6.94	-0.51	-8.11
Max	-3.31	-1.83	4.42	10.81	15.46	19.75	23.78	23.92	19.32	12.92	6.45	0.00



Şekil 4.47: Uzun yıllar aylık ortalama sıcaklığın zamana göre değişimi.

4.2.3.4. Buharlaşma

Bu bölüm kapsamında inceleme alanında meydana gelen buharlaşma miktarının saptanması amacıyla inceleme alanında yer alan 2 meteoroloji gözlem istasyonunda (Erciş ve Muradiye) gözlenen yıllık toplam açık yüzey buharlaşma değerleri kullanılmıştır. İnceleme alanı ve yakın çevresinde buharlaşmanın ölçüldüğü az sayıda meteoroloji gözlem istasyonu (3 istasyon - Ağrı, Erciş ve Muradiye) bulunmaktadır ve söz konusu istasyonlarda donma olayları yaşandığından Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart ve Nisan aylarında buharlaşma miktarları ölçülememektedir. Bölgede sadece Muradiye istasyonunda Kasım ayında da buharlaşma ölçülebilmektedir. İnceleme alanı ve yakın çevresinde yer alan 3 adet buharlaşma ölçümü yapılan meteoroloji gözlem istasyonunda gözlenen aylık toplam ve yıllık toplam açık yüzey buharlaşma miktarları Tablo 4.19'da verilmiştir. Söz konusu istasyonlardan yıllık toplam en düşük açık yüzey buharlaşma miktarı 691.1 mm ile Erciş istasyonunda gözlenirken, en yüksek açık yüzey buharlaşma miktarı ise 1198.8 mm ile Muradiye istasyonunda gözlenmektedir. Aynı istasyonlarda gözlenen yıllık toplam yağış miktarları ise, (Ağrı - 521.1 mm, Erciş - 442.8 mm ve Muradiye - 548.3 mm) olmak üzere yıllık toplam açık yüzey buharlaşma miktarının yıllık toplam yağış miktarının yaklaşık 2 katı olduğu görülmektedir. Bu durum, inceleme alanı ve yakın çevresine düşen yağışların tamamının yeraltına süzülmeden buharlaşmış olabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla meteoroloji gözlem istasyonlarında gözlenen

buharlaşma miktarının havza üzerine düşen yağış miktarının yaklaşık 2 katı olduğundan, gözlenen değerler inceleme alanında meydana gelen gerçek buharlaşma -terleme kayıplarını temsil etmemektedir. Bu nedenle inceleme alanında meydana gelen gerçek buharlaşma - terleme kayıplarının hesaplanması için Turc eşitliğinden faydalanılmıştır. Ayrıca su bütçesi hesaplamalarında kullanılmak üzere 1960-2012 zaman aralığındaki yıllık toplam açık yüzey buharlaşma değerlerine ihtiyaç vardır. Ancak buharlaşma verilerinin 1960-2012 zaman aralığındaki tüm verileri içermediğı görülmüştür. Burada diğer meteorolojik verilerde olduğu gibi eksik buharlaşma verilerinin tamamlanmasına gerek duyulmamıştır. Bu durumun nedenlerinden biri, yetersiz sayıda istasyon oluşu ve eksik verileri tamamlayabilmek için uygun korelasyon katsayılarının elde edilemeyişidir. Eksik verilerin tamamlanabilmesi için verileri tam olan Ağrı ve verileri eksik olan Erciş istasyonları arasında uygulanan regresyon denklemi $Erciş = 0.3417 \times Ağrı + 365.85$ ve korelasyon katsayısı 0.260 hesaplanmıştır. Ağrı ve Muradiye istasyonları arasında uygulanan regresyon denklemi ise $Muradiye = 0.1451 \times Ağrı + 822.1$ ve korelasyon katsayısı 0.148 hesaplanmıştır. İkinci neden ise; buharlaşma - terleme hesabı için faydalanılacak olan Turc yönteminde kullanılan yağış ve sıcaklık verilerinin, zaten 1960-2012 zaman aralığını temsil eden veriler olduğudur. Dolayısıyla eksik verilerin tamamlanmasına ihtiyaç olmadan 1960-2012 zaman aralığında görülen buharlaşma-terleme kaybı görülebilmektedir.

Tablo 4.19: İnceleme alanı ve yakın çevresinde yer alan meteoroloji gözlem istasyonlarında gözlenen aylık toplam ve yıllık toplam açık yüzey buharlaşma miktarları.

İstasyon adı	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Toplam
mm								
Ağrı	138.1	190.7	250.0	253.2	180.9	100.5	*	1113.4
Erciş	101.1	127.5	162.8	151.7	95.8	52.2	*	691.1
Muradiye	149.4	200.0	238.7	221.4	171.4	108.5	109.5	1198.8

*Ölçüm yapılamamıştır.

Turc Yöntemi ile Gerçek Buharlaşma - Terleme Kayıplarının Hesaplanması

Bir su havzasından atmosfere olabilecek tüm su kayıplarının hesaplanması oldukça zordur. Bunun nedeni havzanın değişik bitki örtüsüne sahip kesimlerden meydana gelmiş olmasıdır. Buharlaşma - terleme miktarlarının hesaplanması doğrudan ölçülen sıcaklık, yağış, nem miktarı gibi bazı meteoroloji değişkenlerinin doğrudan ölçülmelerine bağlıdır.

Bu doğrultuda geliştirilmiş çok sayıda yöntem olup, Turc yöntemi buharlaşma - terleme hesaplamalarında en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir (Şen, 2002).

Turc Yöntemine ait eşitlik;

$$ET_g = P / \sqrt{0.9 + (P^2/L^2)} \quad (4.1)$$

$$L = 300 + (25 \times T) + (0.05 \times T^3) \quad (4.2)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Burada:

ET_g = Gerçek buharlaşma – terleme (mm),

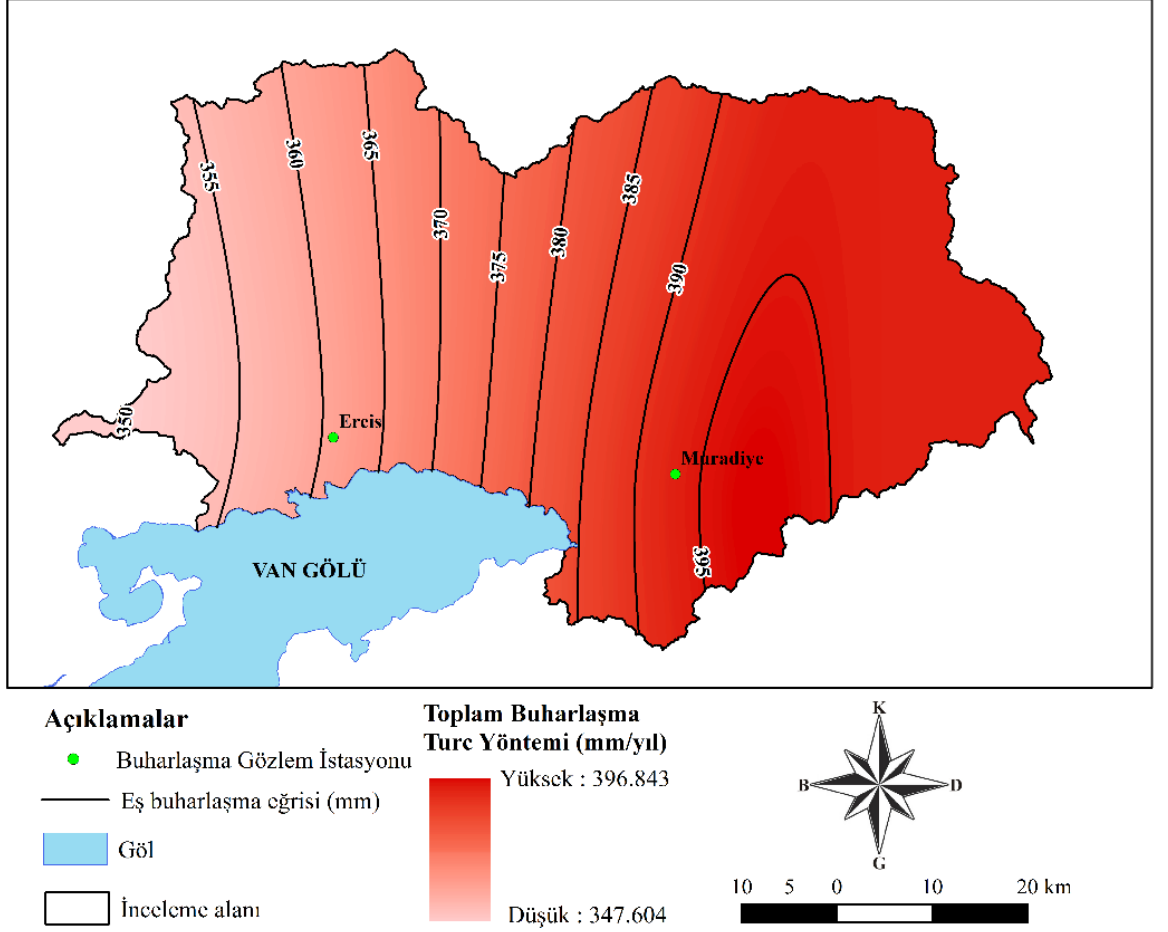
P = Sisteme alansal yağış girdisi (mm),

T = Alansal sıcaklık (°C),

L = Sıcaklığa bağlı katsayıdır.

Alansal gerçek-buharlaşma terleme kayıplarının hesaplanması için, inceleme alanındaki Erciş ve Muradiye istasyonlarında ölçülen ve 1960-2012 zaman aralığında hesaplanan uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklık ile uzun yıllar yıllık toplam yağış miktarından faydalanılmıştır. Turc yöntemi sonucu Erciş istasyonunda hesaplanan gerçek buharlaşma - terleme miktarı 360.880 mm/yıl iken, Muradiye istasyonu için hesaplanan buharlaşma - terleme miktarı ise 393.328 mm/yıl olarak elde edilmiştir. Turc eşitliğinin kullanılması sonucunda elde edilen gerçek buharlaşma - terleme değerlerinden itibaren isohyete yöntemi ile inceleme alanı için eş buharlaşma - terleme haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.48). İnceleme alanı geneli için hesaplanan gerçek buharlaşma terleme miktarı 372.5 mm/yıl'dır. Eş buharlaşma haritası kullanılarak inceleme alanındaki Zilan, Deliçay ve Bendimahı havzaları için ayrı olmak üzere gerçek buharlaşma terleme miktarı hesaplanmıştır. Zilan, Deliçay ve Bendimahı havzaları için hesaplanan gerçek buharlaşma - terleme miktarları sırasıyla; 362.5, 377.5 ve 387.5 mm/yıl'dır. Zilan, Deliçay ve Bendimahı havzalarında eş yağış eğrisi yöntemi kullanılarak elde edilen yağış miktarları ise sırasıyla; 537.5, 525 ve 450 mm idi. Dolayısıyla, Zilan havzasındaki yağışın

% 67.44'ü, Deliçay havzasındaki yağışın % 71.90'ı ve Bendimahı havzasındaki yağışın ise % 86.11'i buharlaşmıştır.



Şekil 4.48: İnceleme alanı eş buharlaşma - terleme haritası.

4.2.3.5. Su Bütçesi

İnceleme alanının hidrodinamik yapısının aydınlatılması amacı ile elde edilen yağış, akım ve buharlaşma değerleri kullanılarak inceleme alanı geneli için ve Zilan, Deliçay ve Bendimahı havzaları için ayrı olmak üzere su bütçesi hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Su bütçesi hesaplamalarında kullanılan veriler, 1960-2012 zaman aralığında 53 yıllık meteorolojik verilerin değerlendirilmesi sonucunda elde edilmiştir. Bu hesaplamalarda kütle korunumu yasası esas alınmıştır. Bu ilişkiler dikkate alınarak sistemin kararlı olduğu varsayımıyla inceleme alanı için bütçe denklemleri oluşturulmuştur.

$$\Delta Q = [\text{Girdi}-\text{Çıktı}] = [P - (R + ET_g)] \quad (4.3)$$

$$\text{Genel} \quad \Delta Q = [P_G - (R_G + ET_{gG})] \quad (4.4)$$

$$\text{Zilan Havzası} \quad \Delta Q = [P_Z - (R_Z + ET_{gZ})] \quad (4.5)$$

$$\text{Deliçay Havzası} \quad \Delta Q = [P_D - (R_D + ET_{gD})] \quad (4.6)$$

$$\text{Bendimahı Havzası} \quad \Delta Q = [P_B - (R_B + ET_{gB})] \quad (4.7)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Burada;

ΔQ	Depolamadaki değişim (L^3/T),
P	Sistem üzerindeki alansal yağış girdisi (L^3/T),
R	Yüzeysel akım ile sistemden çıkan su (L^3/T),
ET_g	Buharlaştırma-terleme ile sistemden çıkan su (L^3/T),
P_G	İnceleme alanı genelinde alansal yağış girdisi (L^3/T),
R_G	İnceleme alanı genelinde yüzeysel akım ile sistemden çıkan su (L^3/T),
ET_{gG}	İnceleme alanı genelinde buharlaştırma-terleme ile sistemden çıkan su (L^3/T),
P_Z	Zilan havzasına olan alansal yağış girdisi (L^3/T),
R_Z	Zilan havzasında yüzeysel akım ile sistemden çıkan su (L^3/T),
ET_{gZ}	Zilan havzasında buharlaştırma-terleme ile sistemden çıkan su (L^3/T),
P_D	Deliçay havzasına olan alansal yağış girdisi (L^3/T),
R_D	Deliçay havzasında yüzeysel akım ile sistemden çıkan su (L^3/T),
ET_{gD}	Deliçay havzasında buharlaştırma-terleme ile sistemden çıkan su (L^3/T),
P_B	Bendimahı havzasına olan alansal yağış girdisi (L^3/T),
R_B	Bendimahı havzasında yüzeysel akım ile sistemden çıkan su (L^3/T),
ET_{gB}	Bendimahı havzasında buharlaştırma-terleme ile sistemden çıkan su (L^3/T),

ifade etmektedir.

Bütçe Bileşenlerinin Hesaplanması

Bütçe bileşenleri hesaplanırken, inceleme alanı geneli ve Zilan havzası, Deliçay havzası ve Bendimahi havzası olmak üzere 3 havza için ayrı ayrı hesaplamalar yapılmıştır. Bütçe bileşenlerinden; sisteme olan girdiyi alansal yağış, sistemden çıktığı ise akım ve alansal buharlaşma-terleme kayıpları oluşturmaktadır. Her havza için yağış ve buharlaşma-terleme kayıpları hesaplanırken; m/yıl cinsinden elde edilen yağış miktarı ve buharlaşma-terleme kaybı, söz konusu havzanın m² cinsinden alanı ile çarpılarak havzaya düşen alansal yağış miktarı ve alansal buharlaşma - terleme kaybı m³/yıl cinsinden bulunmuştur. İnceleme alanı geneli için yapılan hesaplamada ise; inceleme alanında eş yağış eğrisi yöntemi kullanılarak elde edilen ortalama yağış değeri ile ortalama buharlaşma-terleme kaybı değerleri kullanılarak bir değerlendirme yapılmıştır. Denklem 4.3 esas alınarak hesaplanan bütçe sonuçları Tablo 4.20'deki gibidir.

Tablo 4.20: Havzalar ve inceleme alanı için su bütçesi hesaplama sonuçları.

	A	P		R		E _{tg}		ΔQ
	x 10 ⁶ (m ²)	(m/yıl)	x 10 ⁶ (m ³ /yıl)	(m ³ /s)	x 10 ⁶ (m ³ /yıl)	(m/yıl)	x 10 ⁶ (m ³ /yıl)	x 10 ⁶ (m ³ /yıl)
ZİLAN	1227	0.538	659.51	18.206	574.144	0.3625	444.78	-359.414
DELİÇAY	668	0.525	350.70	10.561	333.052	0.3775	252.17	-234.522
BENDİMAHİ	1887	0.450	849.15	13.488	425.358	0.3875	731.21	-307.41
İNCELEME ALANI GENELİ	3782	0.500	189.10	42.256	1332.585	0.3725	140.87	-1284.355

* A, alanı ifade etmektedir.

Zilan Havzası su bütçesi denklemi;

$$\Delta Q = [P_Z - (R_Z + E_{T_{gZ}})] = [659.51 \times 10^6 - (574.144 \times 10^6 + 444.78 \times 10^6)] = -359.414 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

Deliçay Havzası su bütçesi denklemi;

$$\Delta Q = [P_D - (R_D + E_{T_{gD}})] = [350.70 \times 10^6 - (333.052 \times 10^6 + 252.17 \times 10^6)] = -234.522 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

Bendimahi Havzası su bütçesi denklemi;

$$\Delta Q = [P_B - (R_B + E_{T_{gB}})] = [849.15 \times 10^6 - (425.358 \times 10^6 + 731.21 \times 10^6)] = -307.41 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

İnceleme alanı geneli su bütçesi denklemi;

$$\Delta Q = [P_G - (R_G + ET_{gG})] = [189.10 \times 10^6 - (1332.585 \times 10^6 + 140.87 \times 10^6)] = -1284.355 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl} \text{ şeklindedir.}$$

Bütçe Hesaplama Sonuçlarının Değerlendirilmesi

53 yıllık meteorolojik verilerin değerlendirilmesi sonucunda elde edilen su bütçesi bileşenleri $\Delta Q = [\text{Girdi}-\text{Çıktı}] = [P - (R + ET_g)]$ denklemi esas alınarak, tüm havzalar ve inceleme alanı geneli için depolamadaki değişim (ΔQ) yorumlanmıştır. Bu denklemde:

$\Delta Q = 0$ sistemde, girdi ile çıktılar birbirine eşittir ve bütçe denktir,

$\Delta Q < 0$ sisteme girdi, çıktılarından küçüktür; yani sistemden yüzeysel drenaj alanı dışına bir çıkış vardır,

$\Delta Q > 0$ ise; sistemde girdi, çıktılarından büyüktür yani sisteme yüzeysel drenaj alanı dışından katkı geldiği görülmektedir.

Zilan, Deliçay ve Bendimahı havzaları ile inceleme alanı geneli için elde edilen su bütçesi sonuçlarında tüm havzalarda ve inceleme alanı genelinde ΔQ değeri negatif çıkmıştır. Bu durum, sisteme girdinin, çıktılarından daha az olduğunu; yani sistemden yüzeysel drenaj alanı dışına bir çıkış olduğunu göstermektedir. Sistemdeki girdiyi alansal yağış miktarı oluşturmakta olup, sistemden çıktıyı ise akım ve buharlaşma-terleme kayıpları oluşturmaktadır. Bölüm 4.2.3.4 kapsamında yağış ve buharlaşma - terleme kayıpları arasındaki ilişki incelenmiş ve Zilan havzasındaki yağışın % 67.44'ü, Deliçay havzasındaki yağışın % 71.90'ı ve Bendimahı havzasındaki yağışın ise % 86.11'inin buharlaştığı görülmüştür. Zilan ve Deliçay havzalarındaki buharlaşma - terleme kaybının, Bendimahı havzasına göre daha az oluşu söz konusu havzalarda çok sayıda geçirimsiz kayacın bulunmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca tüm havzalarda geçirimsiz kayaçların çok sayıda olmasından dolayı, yağışın büyük bir kısmı yüzeysel akıma geçmektedir. Hem yüzeysel akıma geçen miktarın hem de buharlaşma-terleme kayıplarının yağışlardan fazla olması nedeniyle tüm havzalarda bütçe sonuçları negatif değerler almıştır. Başka bir ifadeyle, sistemde eksik su söz konusudur.

4.3. HİDROJEOLJİ

Bu bölüm 4 alt bölüm şeklinde incelenmiştir. Birinci alt bölüm kapsamında hidrojeolojik birimler, kayaçların litolojik ve yapısal özellikleri ile kaynak debileri esas alınarak değerlendirilmiştir. İkinci alt bölümde, hidrojeolojik yapının ortaya konulması amacıyla litoloji - hidrojeoloji ilişkisi incelenmiştir. İnceleme alanında değerlendirilen kuyular vatandaşların açmış olduğu sondaj kuyuları olduğundan, söz konusu kuyulara ait kuyu logları bulunmamaktadır. Bu nedenle, bölgedeki litoloji-hidrojeoloji ortaya koymak için DSİ (1977) tarafından açılmış kuyu logu bilgisi olan kuyular kullanılarak ilişki ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Yapılan incelemede öncelikle inceleme alanında DSİ tarafından belirlenen kaynakların hangi hidrojeolojik birimleri temsil ettiği değerlendirilmiştir. Daha sonra inceleme alanı genelinde DSİ tarafından 6'sı Muradiye'de ve 21'i Erciş'te olmak üzere açılmış toplam 27 sondaj kuyusu kullanılarak litolojik yapı incelenmiş ve litoloji-hidrojeoloji ilişkisi ortaya çıkarılmıştır. Üçüncü alt bölüm kapsamında jeofizik – hidrojeoloji ilişkisi incelenmiştir. Bölgedeki jeofizik – hidrojeoloji ilişkisini ortaya koymak için jeofizik araştırmalar kapsamında, DSİ tarafından Erciş'te 71 noktada ve Çaldıran'da 75 noktada gerçekleştirilen rezistivite ölçüm sonuçları kullanılmıştır. Rezistivite ölçüm sonuçları kullanılarak, coğrafi bilgi sistemleri tabanlı programlar yardımıyla hidrojeolojik yapıyı ortaya koyan 3 boyutlu modeller oluşturulmuştur. Dördüncü alt bölümde ise, inceleme alanına ait yeraltı suyu seviye haritası oluşturulmuştur. Sonuç olarak tüm veriler ışığında bölgenin hidrojeolojik özellikleri ortaya konulmuştur.

4.3.1. Hidrojeolojik Birimler

İnceleme alanındaki kayaçların hidrojeolojik özellikleri incelenirken, kayaçların litolojik özellikleri ve debileri dikkate alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Kayaçlar hidrojeolojik özelliklerine göre; geçirimli, yarı geçirimli, az geçirimli ve geçirimsiz birimler olmak üzere 4 başlık altında incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında, litolojik özellikleri bakımından gevşek malzemeli alüvyon, çakıltı, kumtaşı ve kırıntılılar ile geçirgenliği yüksek olan kireçtaşları ve bol kırık ve çatlaka sahip ikincil gözeneklilik kazanmış ve debisi 10 l/s'nin üzerinde olan bazalt ve andezitler "geçirimli birimler", litolojik özellikleri bakımından geçirimli ve az geçirimli birimleri birlikte barındıran formasyonlar "yarı geçirimli birimler", soğuma çatlaklarına sahip bazaltlar ile debisi 0.5 - 10 l/s arasında olan çatlaklı bazalt ve andezitler "az geçirimli birimler", masif kırık ve

çatlaksız volkanitler, ofiyolitik melanj ve su alınamayan metamorfik kayalar ise "geçirimsiz birimler" olarak kabul edilmiştir (Tablo 4.21). Tüm hidrojeolojik birimleri gösteren hidrojeoloji haritası, Uluslararası Hidrojeologlar Birliği'nin belirlediği renk ölçeği dikkate alınarak hazırlanmıştır (Şekil 4.49).

4.3.1.1. Geçirimli Birimler

İnceleme alanında alüvyonlar başta olmak üzere, Girekol volkanitleri, Beyüzümü Formasyonu, Ağartı Formasyonu, Adilcevaz kireçtaşları, Toprakkale Formasyonu, ve Yamanyurt Formasyonu geçirimli birimler olarak kabul edilmiştir. Bölgedeki geçirimli birimler üzerinde 69 kaynak çıkışı bulunmakta olup, kaynak boşalımaları 15 l/s ile 918 l/s arasında değişen debilere sahiptir. Kaynaklar ve hidrojeolojik birimleri Tablo 4.21'de verilmiştir. Ayrıca geçirimli birimler üzerinde 25'i DSİ'ye ait olmak üzere 35 kuyu açılmıştır. DSİ kuyu yerleri ve litolojik model Şekil 4.50 ve Şekil 4.51'de gösterilmiş olup, kuyu logları ise Ek 2'de verilmiştir. Litolojik model incelendiğinde tabanda kil birimleri görülürken, yüzeye doğru bol kırık ve çatlaklı bazalt birimlerine rastlanmaktadır. Özellikle Erciş ilçesinde yeraltısuyu çatlaklı bazaltlardan temin edilmektedir. Yanal ve düşey yönde birimlerde heterojen bir yapı görülür. Geçirimli birimlerin devamlılığı söz konusu değildir.

4.3.1.2. Yarı Geçirimli Birimler

İnceleme alanının kuzeyinde yer alan Aladağ volkanitleri, Ağırkaya volkanitleri, Yörelî Formasyonu, Kızıldere Formasyonu, Erciş plato bazaltları, Bayramlı Formasyonu, Saray Formasyonu, Köseadağ volkanitleri, Muradiye plato bazaltları, Van Formasyonu, Eşengöl Flişi, Yüksekova Karmaşığı ve Tepedam metamorfikleri, geçirimli ve az geçirimli birimleri bir arada bulundurdıkları için yarı geçirimli birimler olarak kabul edilmiştir. Eşengöl Flişi içerisindeki çamurtaşı ve marn gibi birimler, Van Formasyonu içerisindeki şeyller ile Yüksekova Karmaşığı içerisindeki ofiyolitik melanj geçirimsizdir ve akifer olma özelliğini olumsuz yönde etkilemektedir.

4.3.1.3. Az Geçirimli Birimler

Meydan volkanitleri, Bendimahi tefrit-bazanit, Etrüsk volkanitleri, Argıt volkanitleri, Alaköy Formasyonu az geçirimli birimler olarak kabul edilmiştir. Bölgedeki az geçirimli birimler üzerinde 54 kaynak çıkışı bulunmakta olup, kaynak boşalımaları 0.5 - 10 l/s değişen debilere sahiptir. Kırık çatlaksız bazaltlar ve killi akiferin geçirimsizliğini

olumsuz yönde etkilemekte ve Etrüsk volkanitlerine az geçirimli birim özelliği kazandırmaktadır. Bendimahı bazanit-tefritte görülen soğuma çatlakları ise ikincil gözenekliliği artırmakta ve birime akifer olma özelliği kazandırmaktadır. Fakat yüksek geçirimliliğe sahip olmadığından az geçirimli birim olarak kabul edilmiştir.

Tablo 4.21: Hidrojeolojik birimler ve özellikleri.

Hidrojeolojik Birim	Özellikleri
Geçirimli Birimler	Bol kırık ve çatlaklı, yapısal özellikleri nedeniyle ikincil gözeneklilik kazanmış debisi 10 l/s'nin üzerinde olan bazalt ve andezitler, litolojik olarak gevşek yapılı birimler, alüvyonlar, kireçtaşları, karbonatlar, çakıltaşları, konglomera ve kumlu kireçtaşı
Yarı Geçirimli Birimler	Geçirimli ve az geçirimli birimlerin bir arada olduğu formasyonlar
Az Geçirimli Birimler	Debisi 0.5 - 10 l/s arasında olan çatlaklı bazalt ve andezitler, debisi 10 l/s'nin altında olan tüfler, akifer olma özelliğini olumsuz yönde etkileyen marn, kil, şeyl ve çamurtaşı gibi birimler içeren formasyonlar
Geçirimsiz Birimler	Masif kırık ve çatlaksız volkanitler, ofiyolitik melanj ve su alınamayan metamorfikler

4.3.1.4. Geçirimsiz Birimler

İnceleme alanındaki geçirimsiz birimler, Gergili ofiyolitik melanjı, Mehmetkaya Granitoyidi, Pirreşit volkanitleri, Kazlıgöl Formasyonu ve Tendürek volkanitlerinden oluşmaktadır. Söz konusu birimler, su alınamayan ve suyu iletmeyen birimlerdir. Neredeyse hiç yeraltısuyu taşımazlar.

Tablo 4.22: DSİ tarafından debi ölçümü yapılan kaynaklara ait hidrojeolojik birimler (DSİ, 1977).

Havza	Mevki	Koordinat (UTM)		Debi (l/s)	Boşalım Yaptığı Birim	Hidrojeolojik Birim
		X	Y			
Zilan	Yalındam köyü 0.6 km batısı	359512	4346817	20	Cam tüfü	Geçirimli
Zilan	Taskapı köyü 3.1 km kuzeybatısı	361590	4349288	30	Riyolitik tüf	Geçirimli
Zilan	Dogancı köyü 2 km guneydogusu	362608	4341529	50	Kırıklı Andezit	Geçirimli
Zilan	Dogancı köyü 4 km dogusu	365405	4342849	20	Kırıklı Andezit	Geçirimli
Zilan	Sehirpazarı mah 4 km dogusu	367700	4344079	60	Kırıklı Bazalt	Geçirimli
Zilan	Sehirpazarı mah 4 km guneydogusu	366967	4342307	150	Kırıklı Andezit	Geçirimli
Zilan	Aksakal köyü 2 km kuzeydogusu	365384	4339342	20	Kırıklı Bazalt	Geçirimli
Zilan	Aksakal köyü 1.5 km dogusu	365329	4337905	100	Kırıklı Andezit	Geçirimli
Zilan	Aksakal köyü 7.5 km kuzeydogusu	369975	4341853	20	Kırıklı Bazalt	Geçirimli
Zilan	Taşlıca köyü 5.7 km batısı	331536	4322470	30	Kırıklı Bazalt	Geçirimli
Zilan	Kocapınar bucağı 1.5 km batısı	342852	4329544	30	Kırıklı Bazalt	Geçirimli
Zilan	Cagdas köyü 2.5 km kuzeydogusu	348756	4336760	20	Kırıklı Bazalt	Geçirimli
Zilan	Ağırkaya köyü 3.3 km batısı	342699	4347649	100	Kırıklı Bazalt	Geçirimli
Zilan	Canguran köyü	349819	4319751	10	Tüf	Az Geçirimli
Zilan	Dinlence köyü 1 km kuzeybatısı	344144	4320893	20	Tüf	Geçirimli
Zilan	Taşlıca köyü 2,2 km güneybatısı	335383	4322011	15	Kırıklı Bazalt	Geçirimli
Zilan	Taşevler köyü batısı	340201	4322431	5	Tüf	Az Geçirimli
Zilan	Bulamaç köyü 0,8 km kuzeybatısı	341702	4328153	10	Çatlaklı Bazalt	Az Geçirimli
Zilan	Kocapınar bucağı 0,4 km kuzeyi	344339	4330799	15	Tüf	Geçirimli
Zilan	Kırkpınar köyü 2.3 km kuzeybatısı	338658	4332283	20	Kırıklı Bazalt	Geçirimli
Zilan	Ziyaret köyü 1.6 km guneybatısı	347663	4333182	60	Tüf	Geçirimli

*Boşalım yaptığı birim DSİ tarafından yapılmış gözlemsel tanımlamadır.

Tablo 4.22 (devam): DSİ tarafından debi ölçümü yapılan kaynaklara ait hidrojeolojik birimler.

Havza	Mevki	Koordinat (UTM)		Debi (l/s)	Boşalım Yaptığı Birim	Hidrojeolojik Birim
		X	Y			
Zilan	Mağara köyü	348392	4344574	56	Kırıklı Bazalt	Geçirimli
Zilan	Ağırkaya köyü doğusu	345848	4347268	111	Kırıklı Bazalt	Geçirimli
Zilan	Kardoğan köyü	350441	4346125	18	Kırıklı Bazalt	Geçirimli
Zilan	Yünören köyü güneyi	363342	4336334	1	Trakitik tuf	Az Geçirimli
Zilan	İlanlı mah	364914	4335961	10	Trakitik tuf	Az Geçirimli
Zilan	Hacıkaş mah	363167	4332816	9	Çatlaklı Bazalt	Az Geçirimli
Zilan	Gergili köyü 9 km kuzeybatısı	352097	4355050	25	Kırıklı Bazalt	Geçirimli
Zilan	Gergili köyü 8 km kuzeybatısı	353063	4354609	20	Riyolitik tuf	Geçirimli
Zilan	Kardoğan köyü 6 km kuzeyi	350858	4351756	20	Trakitik tuf	Geçirimli
Zilan	Sınırköy 4.6 km kuzeybatısı	357073	4355062	200	Hyalo-trakit	Geçirimli
Zilan	Gergili köyü 3.5 km batısı	357395	4353182	20	Cam tüfü	Geçirimli
Zilan	Gergili köyü 1.5 km güneybatısı	359636	4352271	50	Kırıklı Bazalt	Geçirimli
Zilan	Söğütlü köyü 4 km kuzeydoğusu	354529	4348938	60	Riyolitik tuf	Geçirimli
Zilan	Söğütlü köyü 2.5 km kuzeydoğusu	354483	4346991	20	Kırıklı Bazalt	Geçirimli
Zilan	Yörelüköy 3 km batısı	358591	4347663	200	Kırıklı Andezit	Geçirimli
Zilan	Köycük köyü 4 km doğusu	354848	4343261	20	Kırıklı Andezit	Geçirimli

*Boşalım yaptığı birim DSİ tarafından yapılmış gözlemsel tanımlamadır.

Tablo 4.22 (devam): DSİ tarafından debi ölçümü yapılan kaynaklara ait hidrojeolojik birimler.

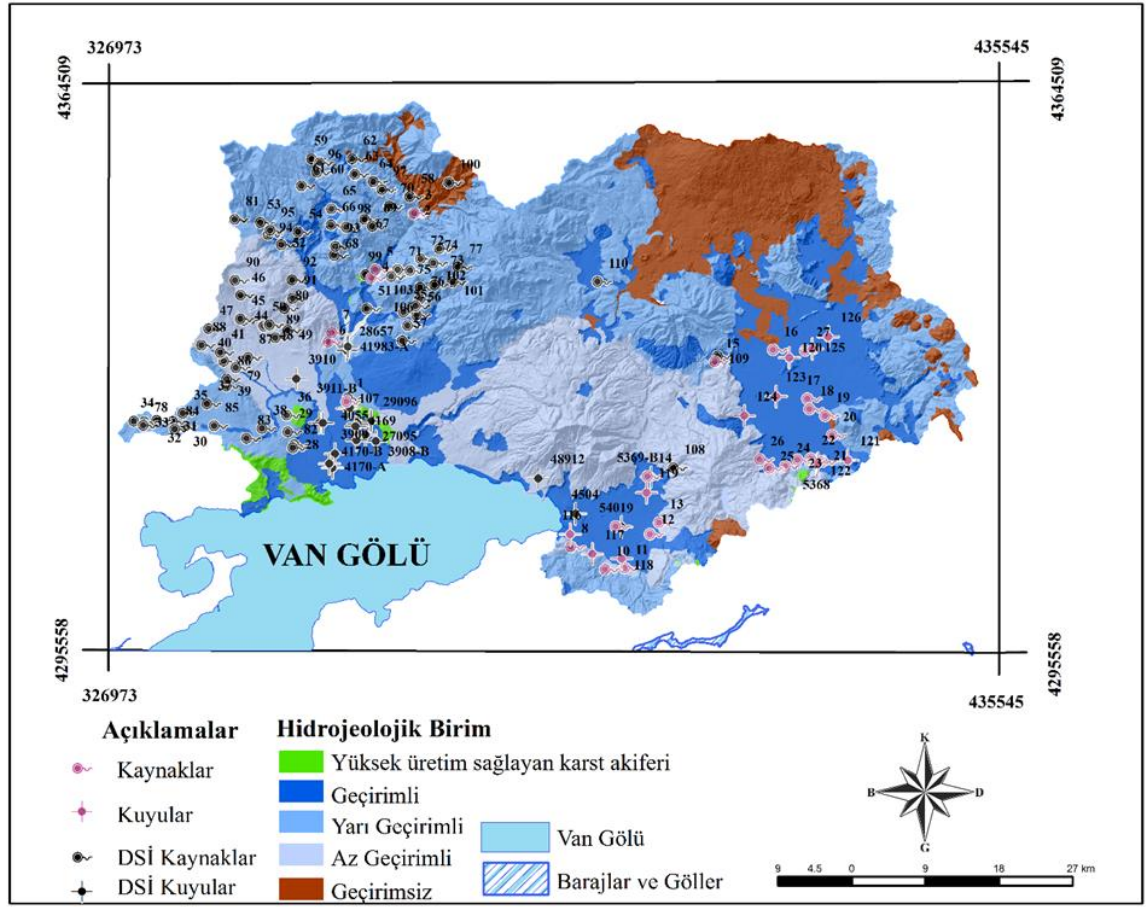
Havza	Mevki	Koordinat (UTM)		Debi (l/s)	Hidrojeolojik Birim	Çıktığı birim	Hidrojeolojik Birim
		X	Y				
Zilan	Canguran köyü 1 km kuzeydoğusu	349961	4320090	3	Az Geçirimli	Çatlaklı Bazalt	Az Geçirimli
Zilan	Üçogul köyü 300 m güneyi	349178	4321688	5	Az Geçirimli	Çatlaklı Bazalt	Az Geçirimli
Zilan	Taşlıçay köyü 1 km güneybatısı	336325	4322376	10	Az Geçirimli	Çatlaklı Bazalt	Az Geçirimli
Zilan	Taşlıçay köyü 2,2 km batısı	335129	4322948	2	Az Geçirimli	Çatlaklı Bazalt	Az Geçirimli
Zilan	Taşlıçay köyü 4,3 km batısı	333176	4323075	3	Az Geçirimli	Çatlaklı Bazalt	Az Geçirimli
Zilan	Taşlıçay köyü 5,7 km batısı	331652	4322900	30	Geçirimli	Kırıklı Bazalt	Geçirimli
Zilan	Taşlıçay köyü 7 km batısı	330382	4322995	8	Az Geçirimli	Çatlaklı Bazalt	Az Geçirimli
Zilan	Taşlıçay köyü 1 km kuzeybatısı	336367	4323964	7	Az Geçirimli	Çatlaklı Bazalt	Az Geçirimli
Zilan	Küplü mah 1,9 km güneyi	349070	4323714	10	Az Geçirimli	Çatlaklı Bazalt	Az Geçirimli
Zilan	Gedikdibi köyü civarında	339296	4325106	17	Geçirimli	Kırıklı Bazalt	Geçirimli
Zilan	Görüşlü köyü	346055	4322099	5	Az Geçirimli	Çatlaklı Bazalt	Az Geçirimli
Zilan	Bulamac köyü civarında	341701	4327287	20	Geçirimli	Kırıklı Bazalt	Geçirimli
Zilan	Kırkpınar köyü civarı	341384	4330340	25	Geçirimli	Kırıklı Bazalt	Geçirimli
Zilan	Ziyaret köyü	340956	4331404	10	Az Geçirimli	Çatlaklı Bazalt	Az Geçirimli
Zilan	Cağdaş mah	349161	4334343	5	Az Geçirimli	Çatlaklı Bazalt	Az Geçirimli
Zilan	Doğancı köyü 1 km kuzeybatısı	346271	4334605	100	Geçirimli	Kırıklı Bazalt	Geçirimli
Zilan	Pınarlı köyü	343761	4335285	4	Az Geçirimli	Çatlaklı Bazalt	Az Geçirimli
Zilan	Meydan Mah	343398	4335510	203	Geçirimli	Kırıklı Bazalt	Geçirimli
Zilan	Gültepe mah	343424	4338415	2	Az Geçirimli	Çatlaklı Bazalt	Az Geçirimli
Zilan	Çağdaş köyü	339509	4334312	20	Geçirimli	Kırıklı Bazalt	Geçirimli
Zilan	Ziyaret mah	346859	4334897	3	Az Geçirimli	Çatlaklı Bazalt	Az Geçirimli
Zilan	Çağdaş köyü	349195	4334099	10	Az Geçirimli	Çatlaklı Bazalt	Az Geçirimli
Zilan	İsbaşı köyü	346946	4334772	2	Az Geçirimli	Çatlaklı Bazalt	Az Geçirimli

*Boşalım yaptığı birim DSİ tarafından yapılmış gözlemsel tanımlamadır.

Tablo 4.22 (devam): DSI tarafından debi ölçümü yapılan kaynaklara ait hidrojeolojik birimler.

Havza	Mevki	Koordinat (UTM)		Debi (l/s)	Çıktığı birim	Hidrojeolojik Birim
		X	Y			
Zilan	Meydan Mah 2 km kuzeybatısı	342760	4340208	200	Kırıklı Bazalt	Geçirimli
Zilan	Çagdaş mah 3,7 km kuzeydoğusu	349784	4337995	3	Çatlaklı Andezit	Az Geçirimli
Zilan	Toklu Mah 2,1 km güneydoğusu	349723	4340255	2	Çatlaklı Andezit	Az Geçirimli
Zilan	Koycuk köyü 5 km doğusu	355010	4344352	1	Çatlaklı Andezit	Az Geçirimli
Zilan	Mağaraköy 1,5 km kuzeyi	346793	4345837	15	Çatlaklı Bazalt	Geçirimli
Zilan	Mağara köy 2 km kuzeydoğusu	347021	4346314	20	Kırıklı Bazalt	Geçirimli
Zilan	Gergili köyü 8.3 km batısı	352746	4353411	80	Kırıklı Andezit	Geçirimli
Zilan	Gergili köyü 1.5 km güneyi	360688	4351311	30	Kırıklı Andezit	Geçirimli
Zilan	Yalındam köyü 3.7 km batısı	356320	4346721	50	Kırıklı Andezit	Geçirimli
Zilan	Hasanabdal köyü 1,5 km güneyi	358693	4340904	3	Çatlaklı Andezit	Az Geçirimli
Zilan	Sınırköy 7.5 km güneydoğusu	368871	4352155	300	Kırıklı Andezit	Geçirimli
Zilan	Aksakal köyü 5.8 km kuzeydoğusu	369322	4340010	200	Kırıklı Andezit	Geçirimli
Zilan	Aksakal köyü 4 km kuzeydoğusu	367125	4339643	100	Kırıklı Andezit	Geçirimli
Zilan	Aksakal köyü 1.5 km kuzeydoğusu	364119	4341388	5	Çatlaklı Andezit	Az Geçirimli
Zilan	Aksakal köyü 1.8 km kuzeybatısı	361827	4340688	10	Çatlaklı Andezit	Az Geçirimli
Zilan	Yünören köyü 1.5 km kuzeydoğusu	364822	4337066	50	Kırıklı Andezit	Geçirimli
Zilan	Hacıkaş mah 1 km kuzeydoğusu	363821	4334697	1	Çatlaklı Bazalt	Az Geçirimli
Zilan	İrşad kaynakları	356502	4325801	918	Kırıklı Bazalt	Geçirimli
Zilan	Yalındam köyü ile Mectılı Mah arasında kalan kaynaklar	364094	4350436	0.5-5	Çatlaklı Andezit	Az Geçirimli
Deliçay	Erciş'in 35 km kuzeydoğusu (İmamabdal Kaynağı)	386534	4341668	-	-	Az Geçirimli
Bendima hi	Muradiye'nin 20 km kuzeydoğusu (Ayrancılar Kaynağı)	40966	4329233	-	-	Az Geçirimli
Bendima hi	Muradiye'nin 4,5 km doğusu (Benevse Kaynağı)	397857	4317344	-	-	Az Geçirimli

*Boşalım yaptığı birim DSI tarafından yapılmış gözlemsel tanımlamadır.



Şekil 4.49: İnceleme alanı hidrojeoloji haritası.

4.3.2. Litoloji-Hidrojeoloji İlişkisi

İnceleme alanında değerlendirilen kuyular vatandaşların açmış olduğu sondaj kuyuları olduğundan, söz konusu kuyulara ait kuyu logları bulunmamaktadır. Bu nedenle, bölgedeki litoloji-hidrojeoloji ortaya koymak için DSİ tarafından açılmış kuyu logu bilgisi olan kuyular kullanılarak ilişki ortaya koyulmaya çalışılmıştır. İnceleme alanı genelinde DSİ tarafından 6'sı Muradiye'de ve 21'i Erciş'te olmak üzere açılmış toplam 27 sondaj kuyusu kullanılarak litolojik yapı incelenmiş ve litoloji-hidrojeoloji ilişkisi ortaya çıkarılmıştır.

4.3.2.1. Erciş Litoloji-Hidrojeoloji İlişkisi

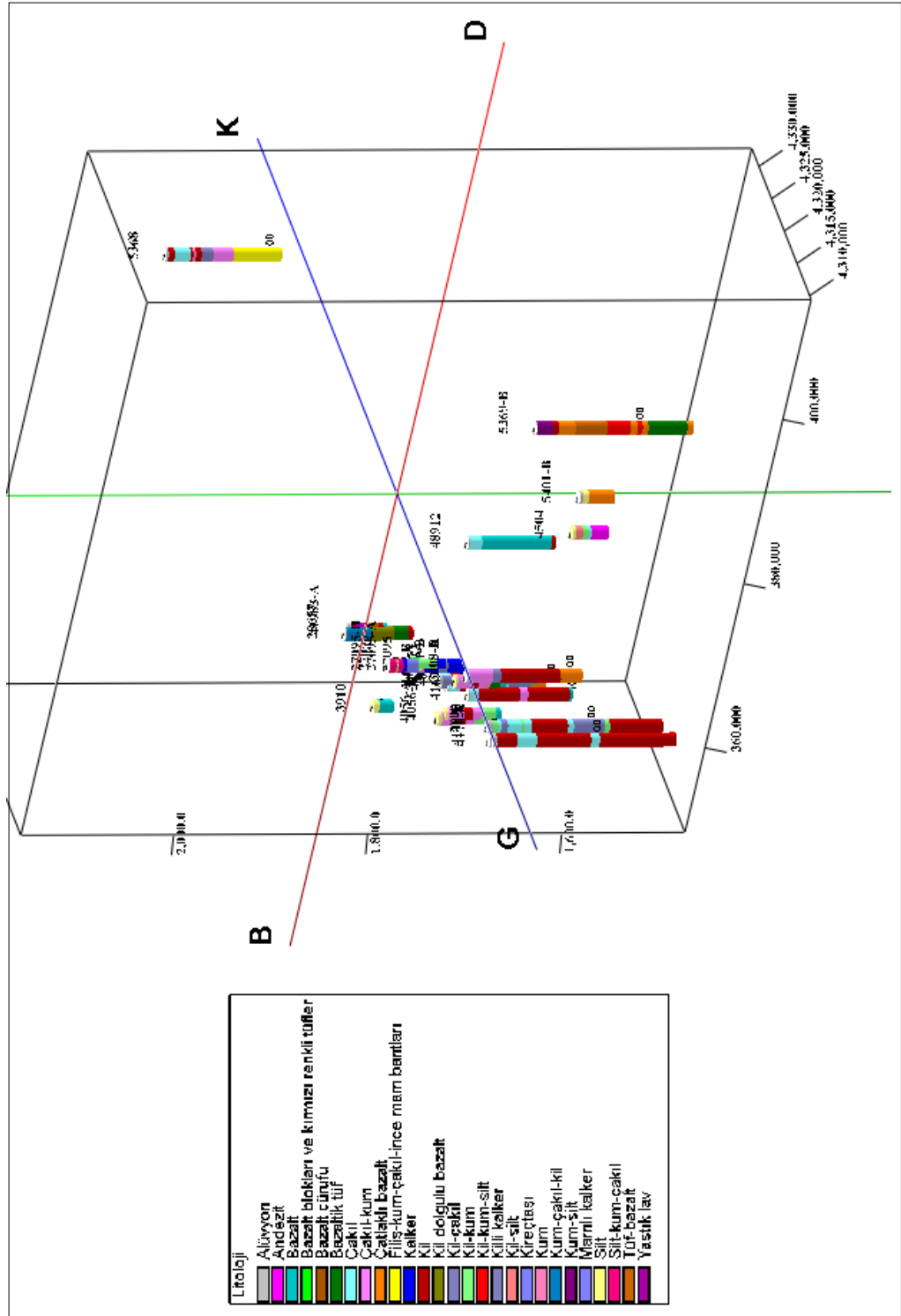
Erciş'te açılmış 21 sondaj kuyusu esas alınarak yapılan değerlendirmede, Erciş'te güneyde tabanda yaklaşık 110 m kalınlığında bir kil tabakası ve düşey yönde yukarıya doğru çakıl, kil, çakıl, kil, çakıl, kil şeklinde devam eden bir ardalanma söz konusudur. Keza yatay yönde de bir devamlılık olmayıp, geçirimsiz kil biriminden sonra çatlaklı

andezit, kil-kum-silt ve çatlaklı bazalt gibi birimler görülmektedir. Yatay ve düşey yöndeki geçirimli birimlerde bir devamlılığın olmaması, inceleme alanının heterojen bir yapıya sahip olduğu ve uzun vadeli su alınamayacak akiferlerin olduğuna işaret etmektedir (Şekil 4.50; Şekil 4.51). Erciş'teki 3911 - B nolu kuyu 9 m derinliğe kadar yeraltısuyunun kolaylıkla temin edilebildiği alüvyon ve çakıl birimlere sahip olup, 43.45 l/s debi ile Erciş'te açılmış en yüksek debili sondaj kuyusudur. Ayrıca Erciş'in Yukarıışıklı köyünde debisi 918 l/s olan İrşad kaynakları başta olmak üzere, Erciş'te yüksek debili çok sayıda kaynak bulunmaktadır. Erciş'teki kaynakların büyük bir kısmı Aladağ volkanitleri içerisinde bulunan kırıklı bazaltlar ve kırıklı andezitlerden boşalmaktadır.

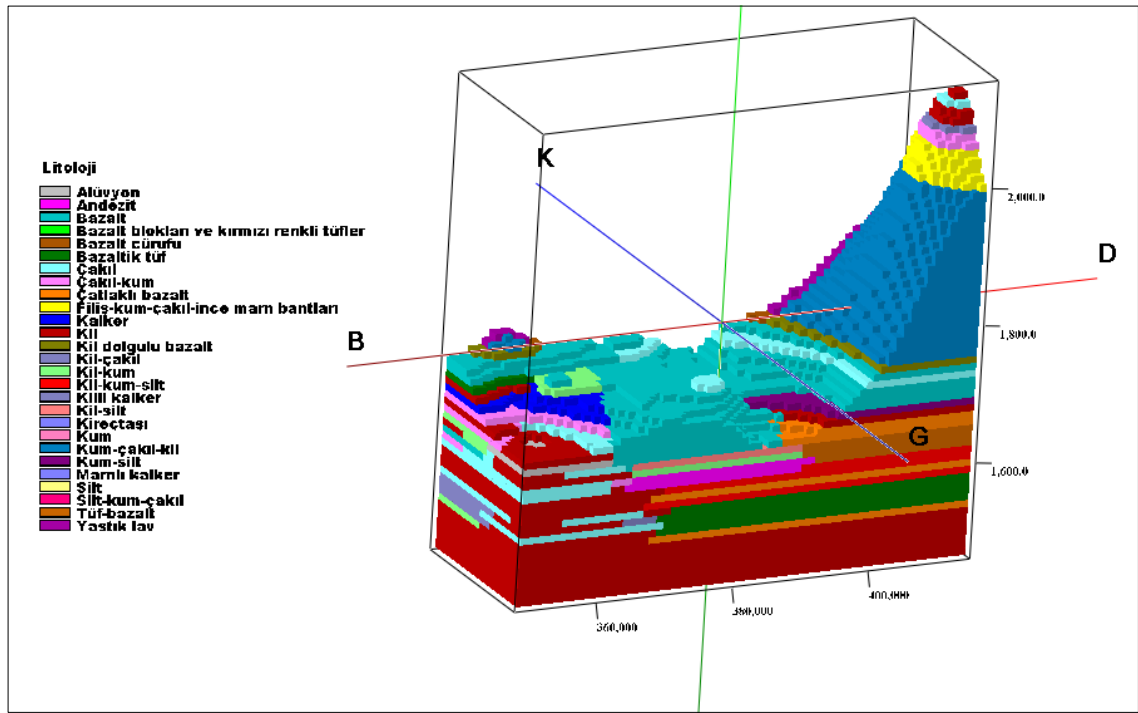
4.3.2.2. Muradiye ve Çaldıran Litoloji-Hidrojeoloji İlişkisi

Muradiye'deki litoloji-hidrojeoloji ilişkisini ortaya koymak için Muradiye'de DSİ tarafından açılmış 6 sondaj kuyusu değerlendirilmiştir. Yapılan incelemede, Muradiye'nin doğusunda bazaltik tuf ve çatlaklı bazaltlara bol miktarda rastlanmaktadır. Muradiye'nin batısına gidildikçe çakıl ve çatlaklı bazaltlar çok miktarda görülmektedir. 5401 no'lu sondaj kuyusu Muradiye'de en yüksek debili kuyu olup, 22 l/s debiye sahiptir. Kuyu kütüğü incelendiğinde, tabanda 27 m'lik bir çatlaklı bazaltın varlığı görülmektedir. Kırık ve çatlaklı bazaltlardan iyi derecede su alınabilmektedir. Fakat burada da yatay ve düşey yönde devamlılık yoktur ve heterojen bir yapı görülmektedir (Şekil 4.50; Şekil 4.51). Erciş ve Muradiye'ye ait DSİ kuyu logları Ek 2'de verilmiştir.

Çaldıran'daki litoloji-hidrojeoloji ilişkisini belirlemek için ilçede su temini amaçlı DSİ tarafından açılmış kuyu kütüğüne sahip kuyular olmadığından, jeofizik inceleme amaçlı açılmış düşey elektriksel sondajlardaki kuyu kütükleri incelenerek değerlendirmeler yapılmıştır. Çaldıran rezistivite ölçüm sonuçları Bölüm 4.3.3.2 kapsamında ayrıntılı olarak anlatılmıştır.



Şekil 4.50: İnceleme alanındaki DSİ kuyu yerleri.



Şekil 4.51: DSİ kuyu logları kullanılarak hazırlanmış inceleme alanına ait litolojik model.

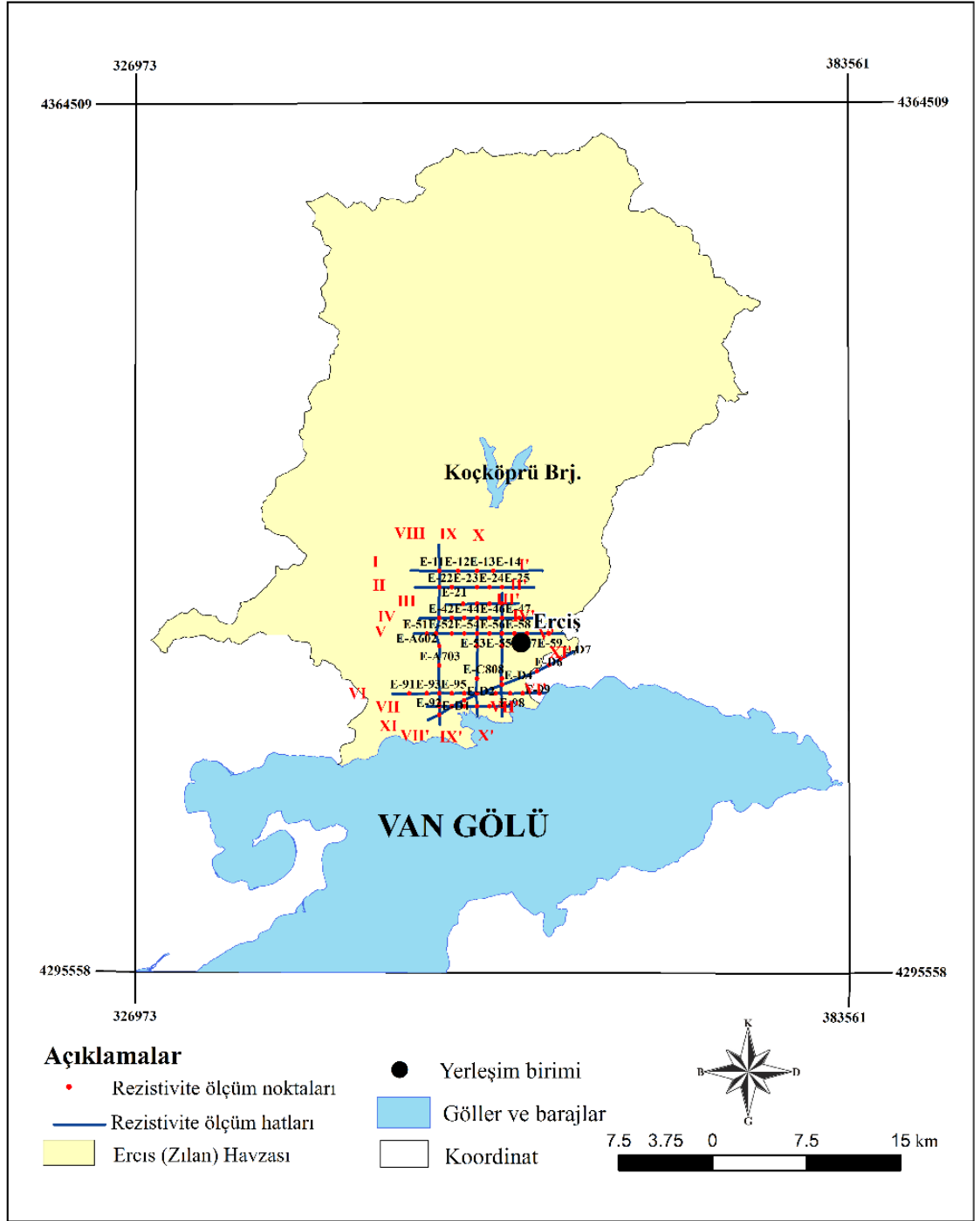
4.3.3. Jeofizik Araştırmalar ve Jeofizik-Hidrojeoloji İlişkisi

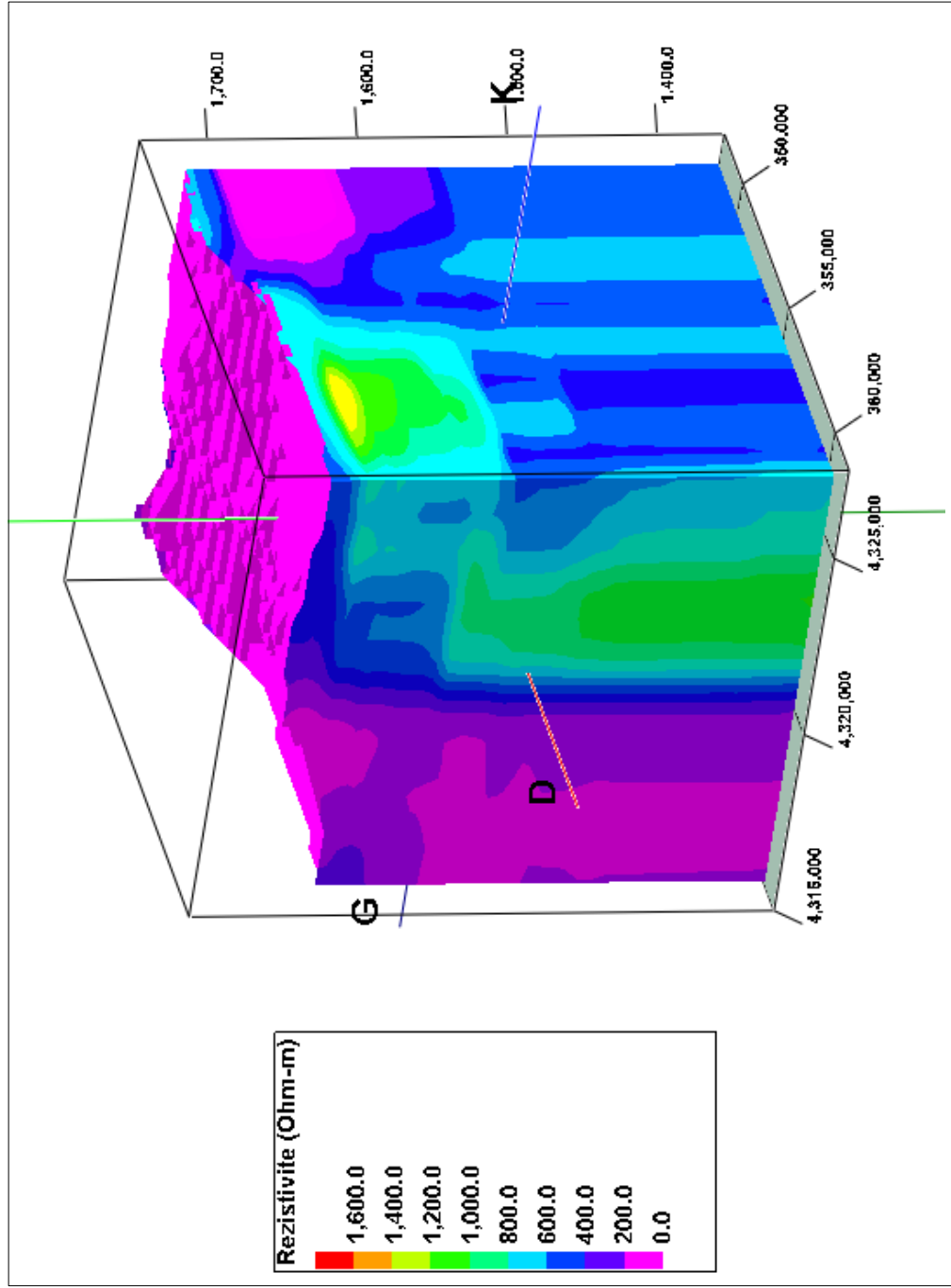
İnceleme alanının 3 boyutlu yüzeyaltı stratigrafik yapısını ve hidrojeolojik özelliklerini belirleyebilmek amacı ile mevcut jeofizik çalışmalardan faydalanılmıştır. Bölgede DSİ tarafından önceden açılmış sondaj kuyularının yanı sıra, yine DSİ tarafından gerçekleştirilmiş jeofizik çalışmalar bulunmaktadır. Akiferin kalınlığını ve yayılımını belirlemek amacıyla, DSİ VIII. Bölge Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Şube Müdürlüğü tarafından Erciş'te 71 noktada (DSİ, 1974) düşey elektriksel sondajlar yapılmıştır (Şekil 4.52). DSİ XVII. Bölge Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Şube Müdürlüğü tarafından ise Çaldıran'da 75 noktada (DSİ, 1981) düşey elektriksel sondajlar yapılmıştır. Bu kapsamda tüm noktalar koordinatlandırılmış ve bu noktalardaki düşey yöndeki litolojik değişimler CBS tabanlı sayısal ortama aktarılmıştır. Düşey yönde her litolojik birim için yapılan rezistivite ölçümleri, bu çalışma kapsamında bölgenin hidrojeolojisi ile ilişkilendirilmiştir. Rezistivitenin yüksek yada düşük olması 2 faktöre bağlıdır. Birincisi; litolojik yapı, ikincisi ise anyon ve katyon miktarıdır. Litolojik olarak bir kayaç ne kadar sıkı bir yapıya sahipse, rezistivitesi de o kadar düşüktür. Ayrıca bir kayacın anyon ve katyon miktarı ne kadar yüksekse rezistivite o kadar düşüktür. Fakat bazı istisnalar da mevcuttur. Örneğin; kireçtaşı litolojik olarak sıkı bir yapıya sahip

olmasına rağmen, rezistivitesi yüksektir ve elektriği de çok iyi iletmektedir. Metamorfik ve volkanik kayalarda da yüksek rezistivite değerleri görülür. Konglomera ve çakıl gibi kayaların rezistivitesi, kum ve kilden daha yüksektir. Kumun rezistivitesi kilden yüksek, çakıldan düşüktür. Kil yüksek gözenekli bir yapıya sahip ve rezistivitesi en düşük birimdir.

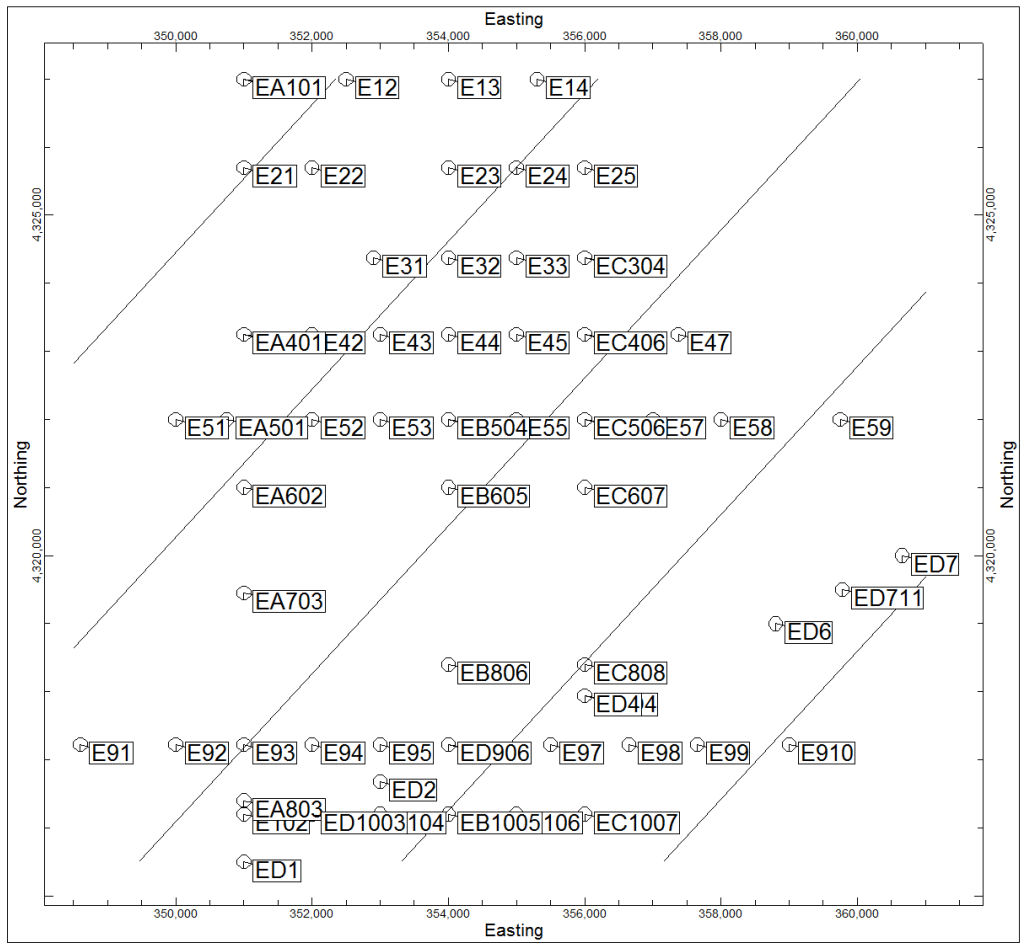
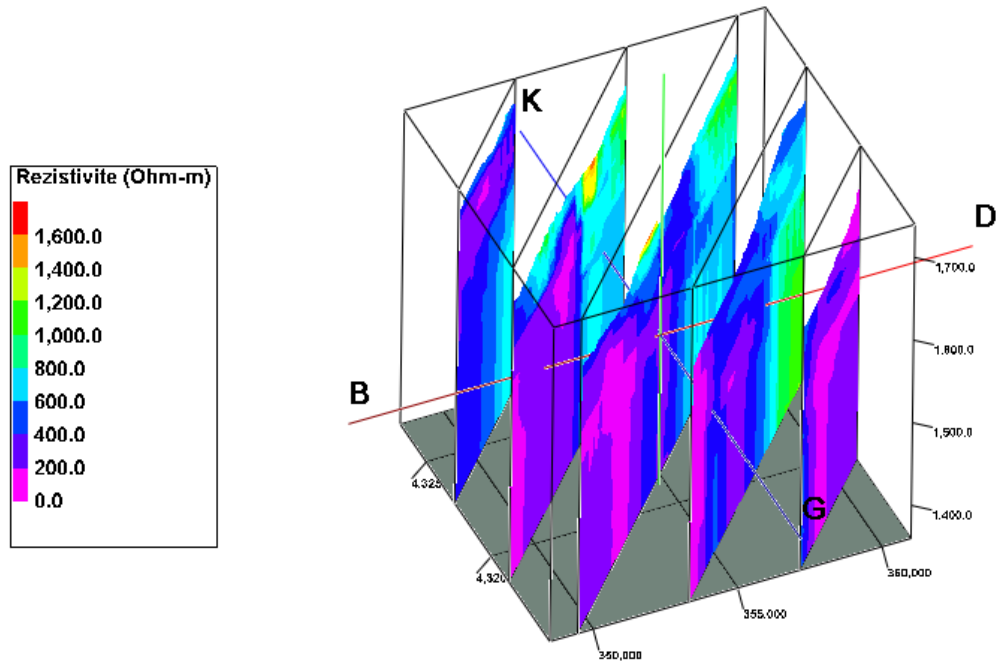
4.3.3.1. Erciş Jeofizik - Hidrojeoloji İlişkisi

Erciş'te yapılan düşey elektriksel sondajlarla 71 noktada rezistivite ölçümü yapılmıştır. Ölçümler sonucunda Erciş'in güneyinde düşük rezistivite değerleri görülürken, kuzeye doğru gidildikçe daha yüksek rezistivite değerleri ölçülmüştür. Söz konusu bölgedeki litolojik yapı ile rezistivite ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Güneyde düşük rezistivite değerlerinin olması, kuzeydeki kayalara kıyasla litolojik olarak daha sıkı yapıya sahip kayaların bulunduğunu göstermektedir. Şekil 4.51'de görüldüğü üzere, özellikle Erciş'in güneyindeki kayalarda tabanda killi birimlerin bol miktarda olduğu görülmektedir. Killi birimler yüksek gözenekliliğe sahip ve litolojik olarak sıkı birimlerdir, rezistiviteleri düşüktür. Dolayısıyla inceleme alanına ait litolojik modelde görülen birimler, rezistivite ölçüm sonuçlarını doğrulamaktadır. Rezistivite ölçüm sonuçlarına göre bir jeofizik model ve bu modelden KD-GB, K-G, D-B, doğrultuları boyunca dilim diyagramlar oluşturulmuş ve jeofiziksel yapı incelenmiştir. Oluşturulan modelde ve 2 farklı dilim diyagramda da rezistivite değerlerinin Erciş'in güneyine doğru daha düşük ve kuzeye gidildikçe daha yüksek rezistivite değerlerine sahip olduğu görülmüştür (Şekil 4.53, Şekil 4.54, Şekil 4.55). Erciş'teki 71 noktada her bir birim için düşey yönde rezistivite ölçüm sonuçları Ek 3'te verilmiştir.

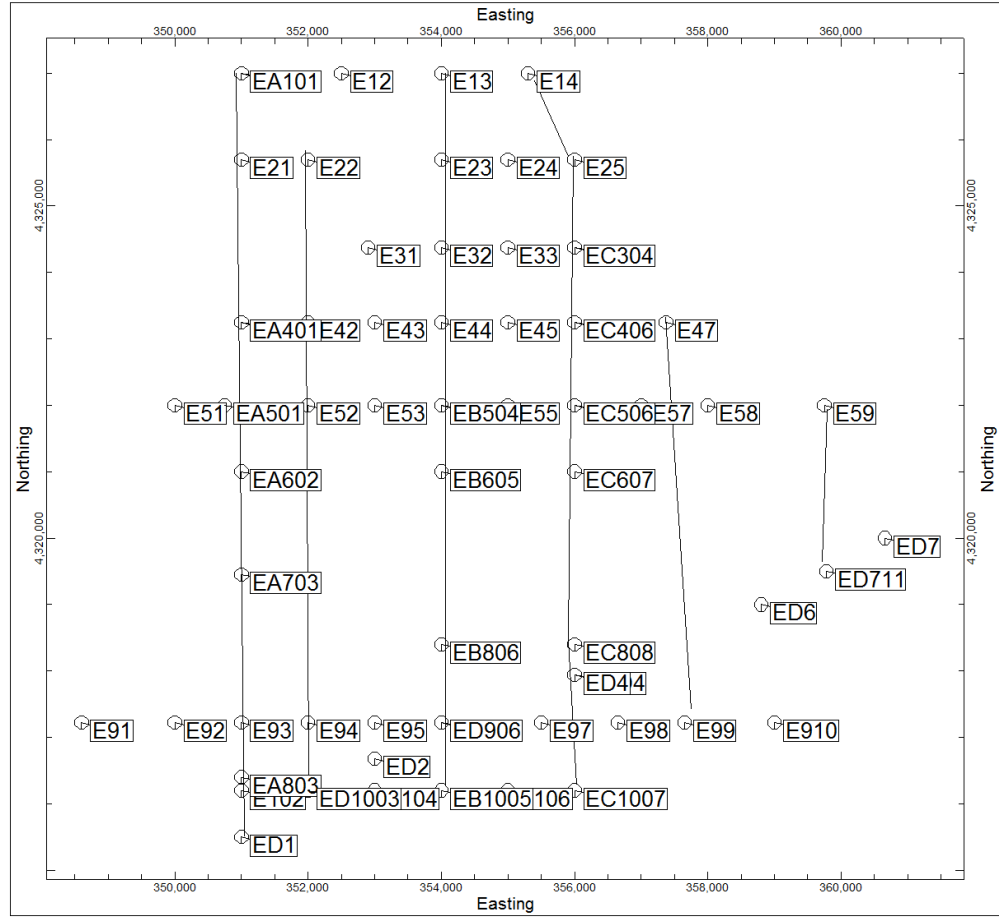
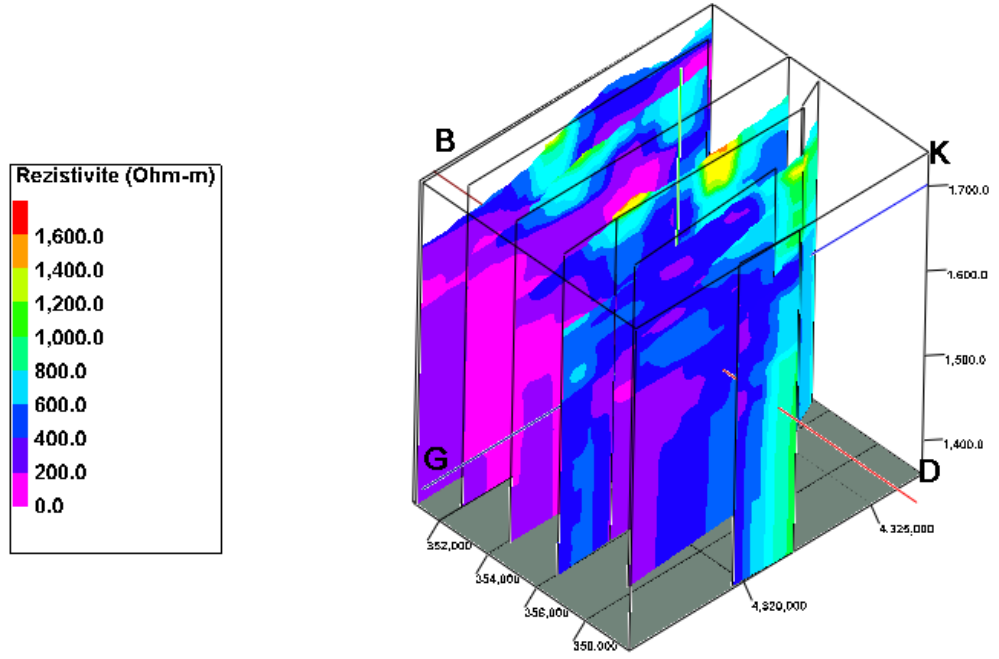




Şekil 4.53: Erciş'te yapılmış rezistivite ölçümlerini gösteren 3 boyutlu jeofizik model.



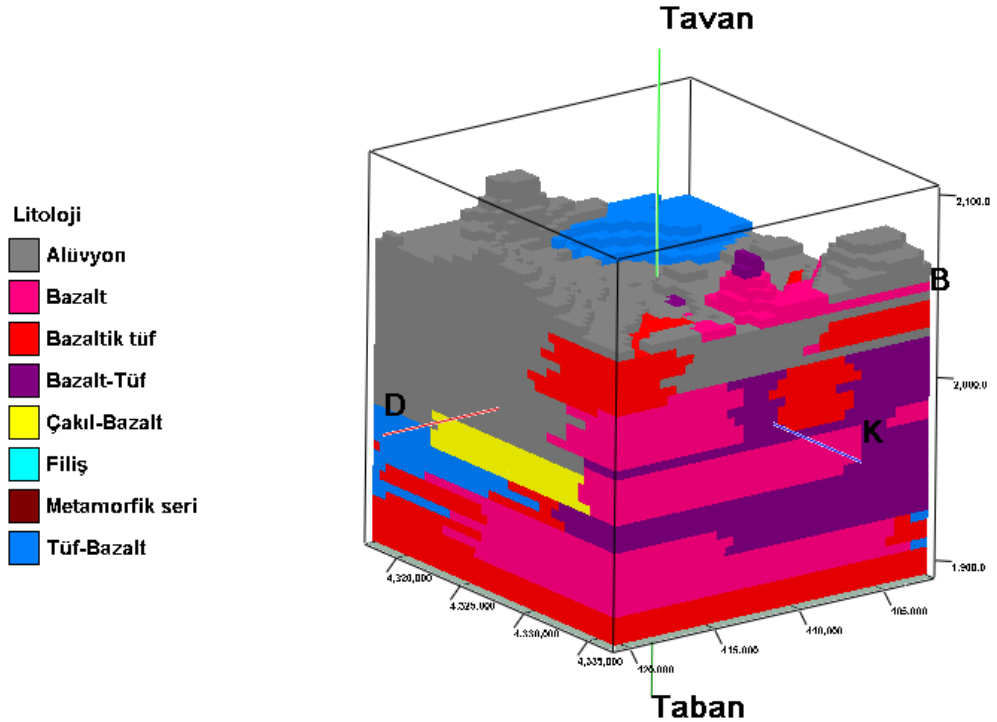
Şekil 4.54: Erciş'te yapılan rezistivite ölçümlerini gösteren KD-GB doğrultulu dilim diyagram ve dilim doğrultularını gösteren harita.



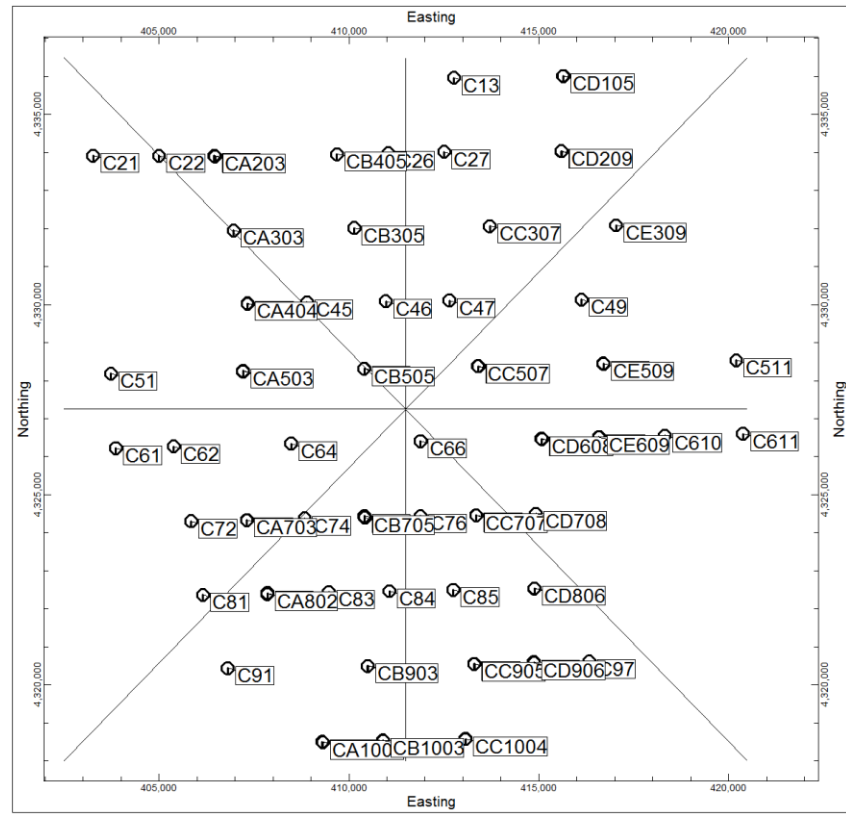
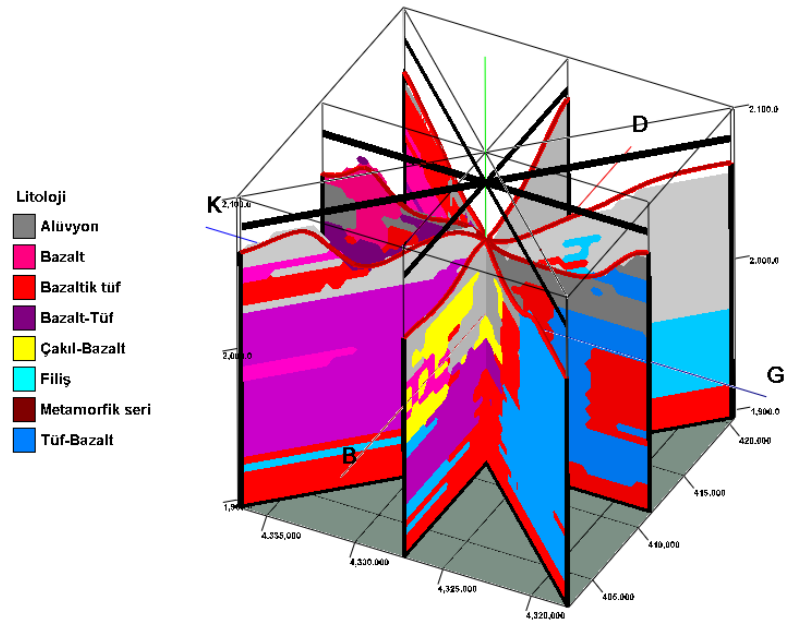
Şekil 4.55: Erciş'te yapılan rezistivite ölçümlerini gösteren K-G doğrultulu dilim diyagram ve dilim doğrultularını gösteren harita.

4.3.3.2. Çaldıran Jeofizik - Hidrojeoloji İlişkisi

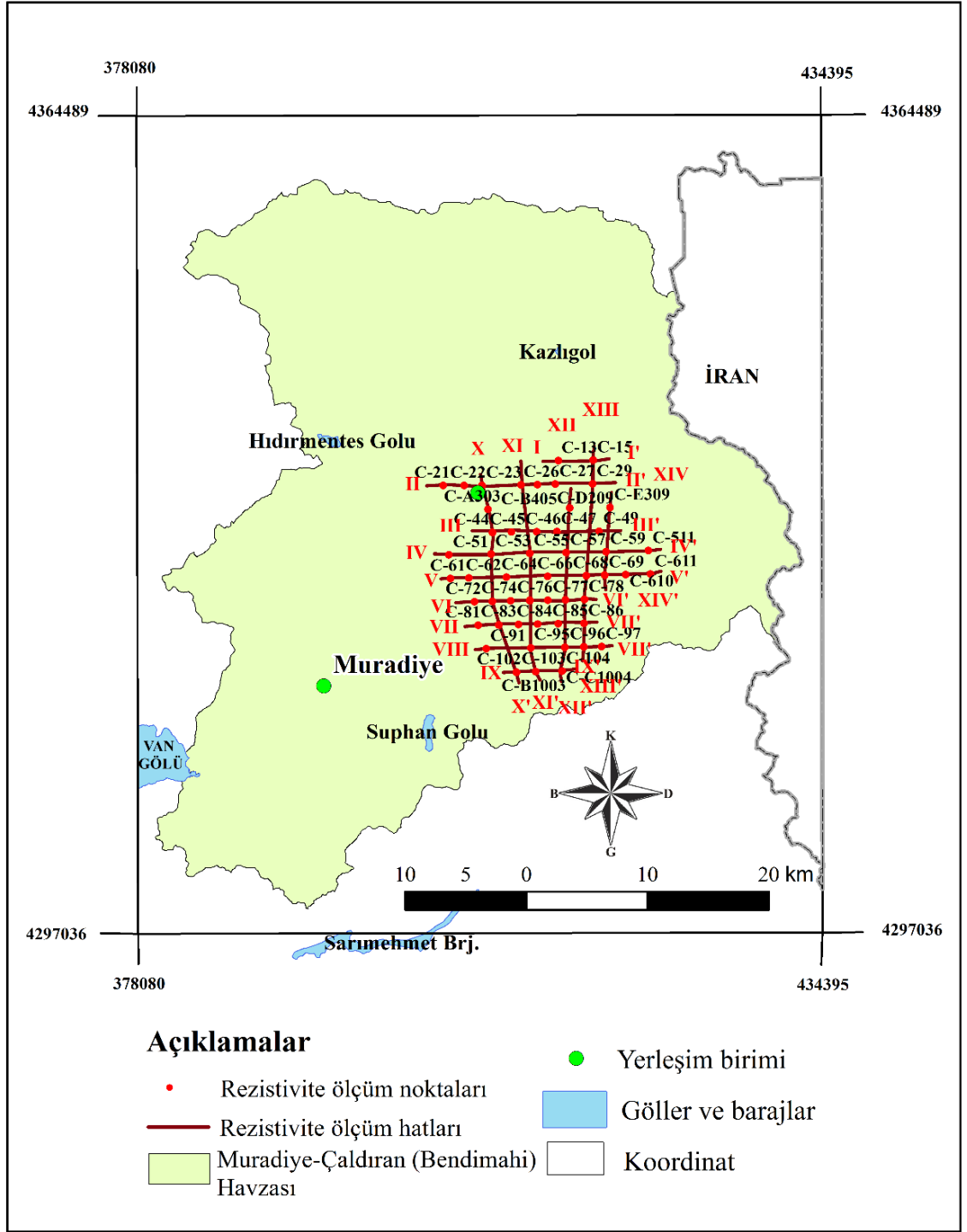
Çaldıran'da yapılan düşey elektriksel sondajlarla 75 noktada rezistivite ölçümü yapılmıştır. Ölçümler sonucunda K ve KD'da yüksek rezistivite değerleri görülürken, G ve GD'da ise daha düşük rezistivite değerlerine rastlanmaktadır. Söz konusu bölgedeki litolojik yapı ile rezistivite ölçüm sonuçları kıyaslanmıştır. Rezistivitenin yüksek olduğu yerlerdeki litoloji incelendiğinde; bazalt, bazaltik tuf ve bazalt-tuf gibi volkanik kayaların olduğu görülmektedir (Şekil 4.56 ve Şekil 4.57). Düşük rezistiviteli yerlerde ise; alüvyonlar görülmektedir. Bu durum söz konusu alüvyonlarda kil seviyelerinin fazla miktarda olduğunu göstermektedir. Rezistivite ölçüm sonuçlarına göre Erciş için olduğu gibi, Çaldıran için de bir jeofizik model ve bu modelden KD-GB ve K-G doğrultuları boyunca dilim diyagramlar oluşturulmuş ve jeofiziksel yapı incelenmiştir. Oluşturulan modelde ve 2 farklı dilim diyagramda da rezistivite değerlerinin Çaldıran'ın güneyine doğru daha düşük ve kuzeye gidildikçe daha yüksek rezistivite değerlerine sahip olduğu görülmüştür (Şekil 4.59, Şekil 4.60, Şekil 4.61). Çaldıran'daki 75 noktada her bir birim için düşey yönde rezistivite ölçüm sonuçları Ek 3'te verilmiştir.



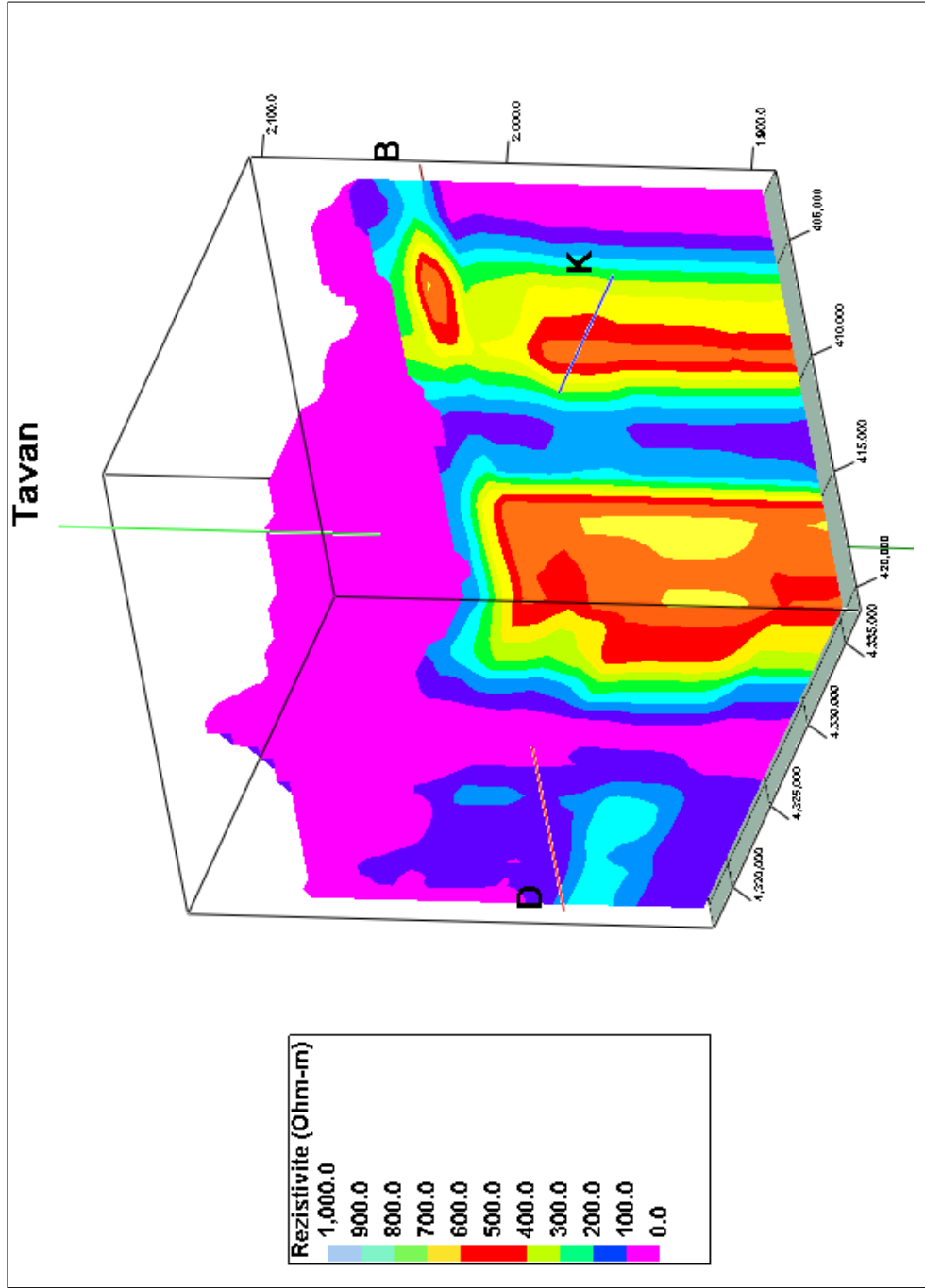
Şekil 4.56: Çaldıran düşey elektriksel sondajlardan elde edilen litolojik model.



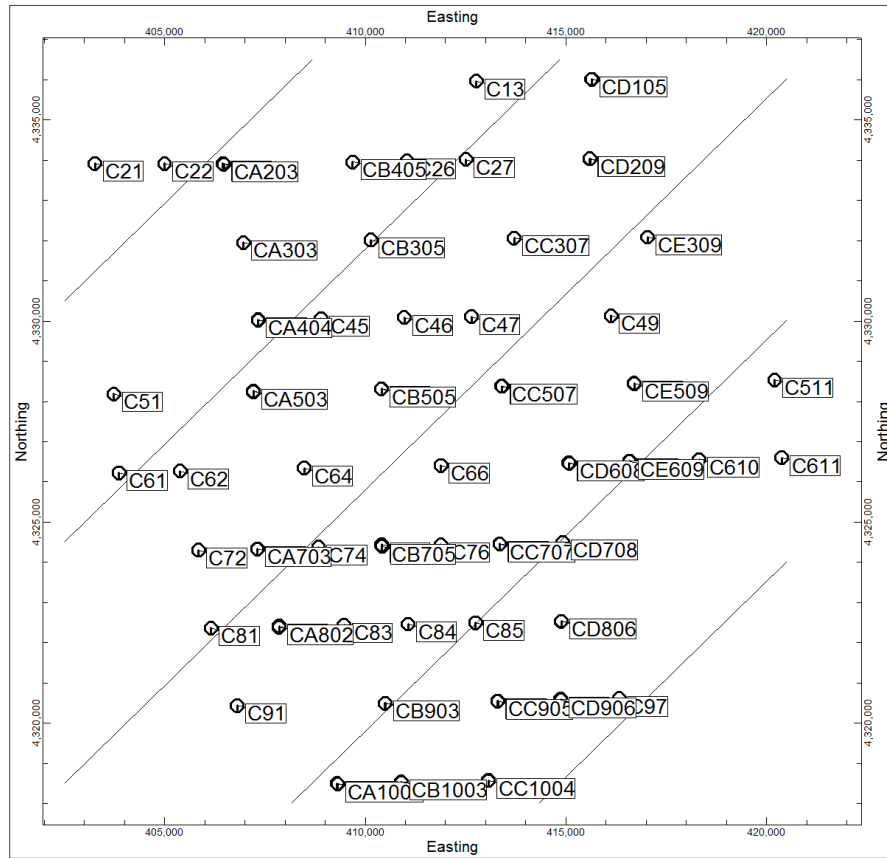
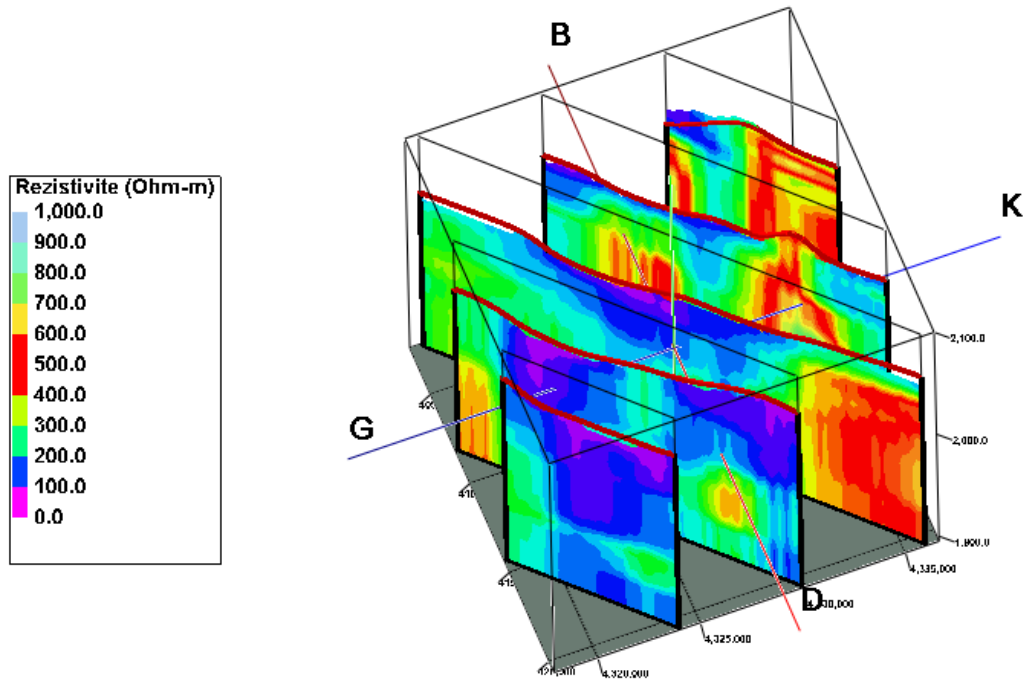
Şekil 4.57: Çaldıran'da yapılan rezistivite ölçümleri sonucu elde edilen litolojik dağılım diyagramı.



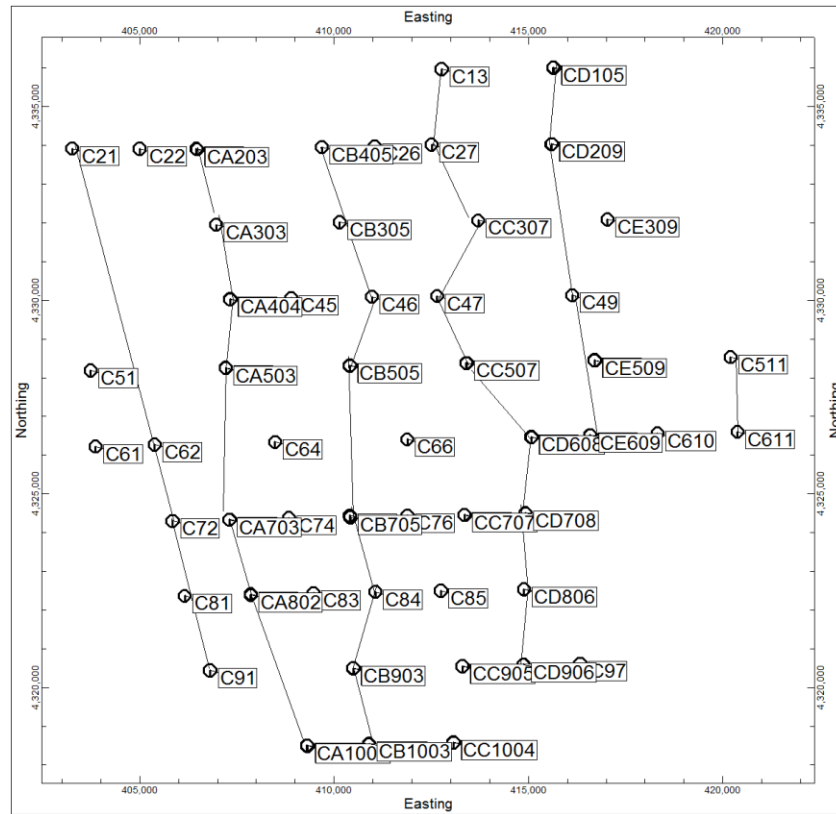
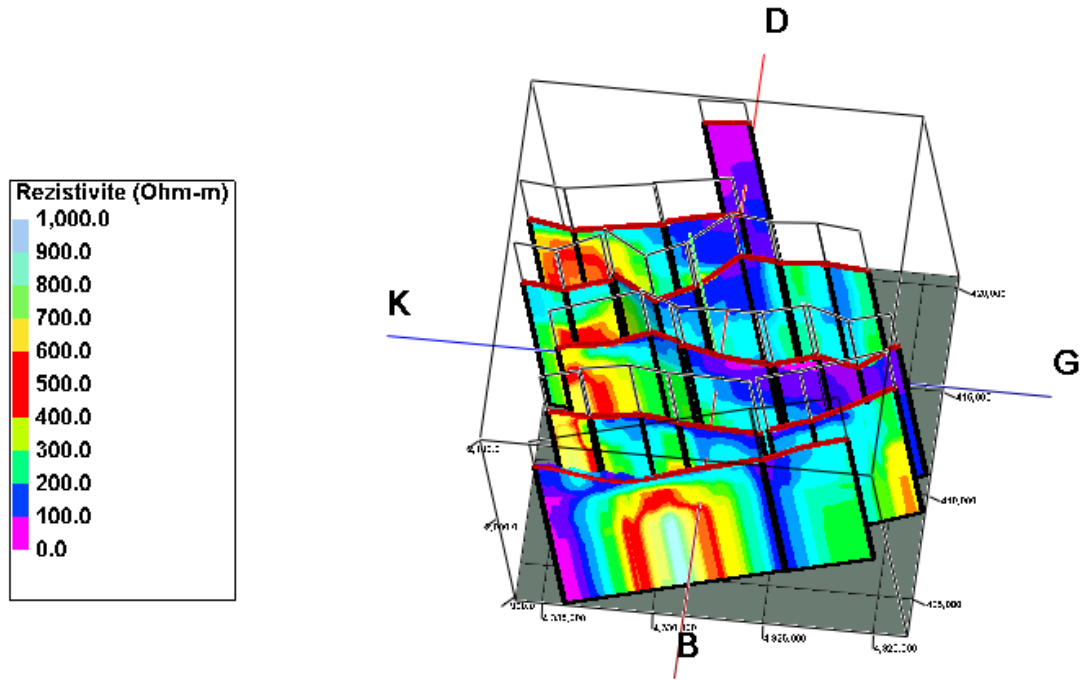
Şekil 4.58: Çaldıran rezistivite ölçüm lokasyonları.



Şekil 4.59: Çaldıran'da yapılan rezistivite ölçümlerini gösteren jeofizik model.



Şekil 4.60: Çaldıran'da yapılan rezistivite ölçümlerini gösteren KD-GB doğrultulu dilim diyagramları.



Şekil 4.61: Çaldıran'da yapılan rezistivite ölçümlerini gösteren K-G doğrultulu dilim diyagramları.

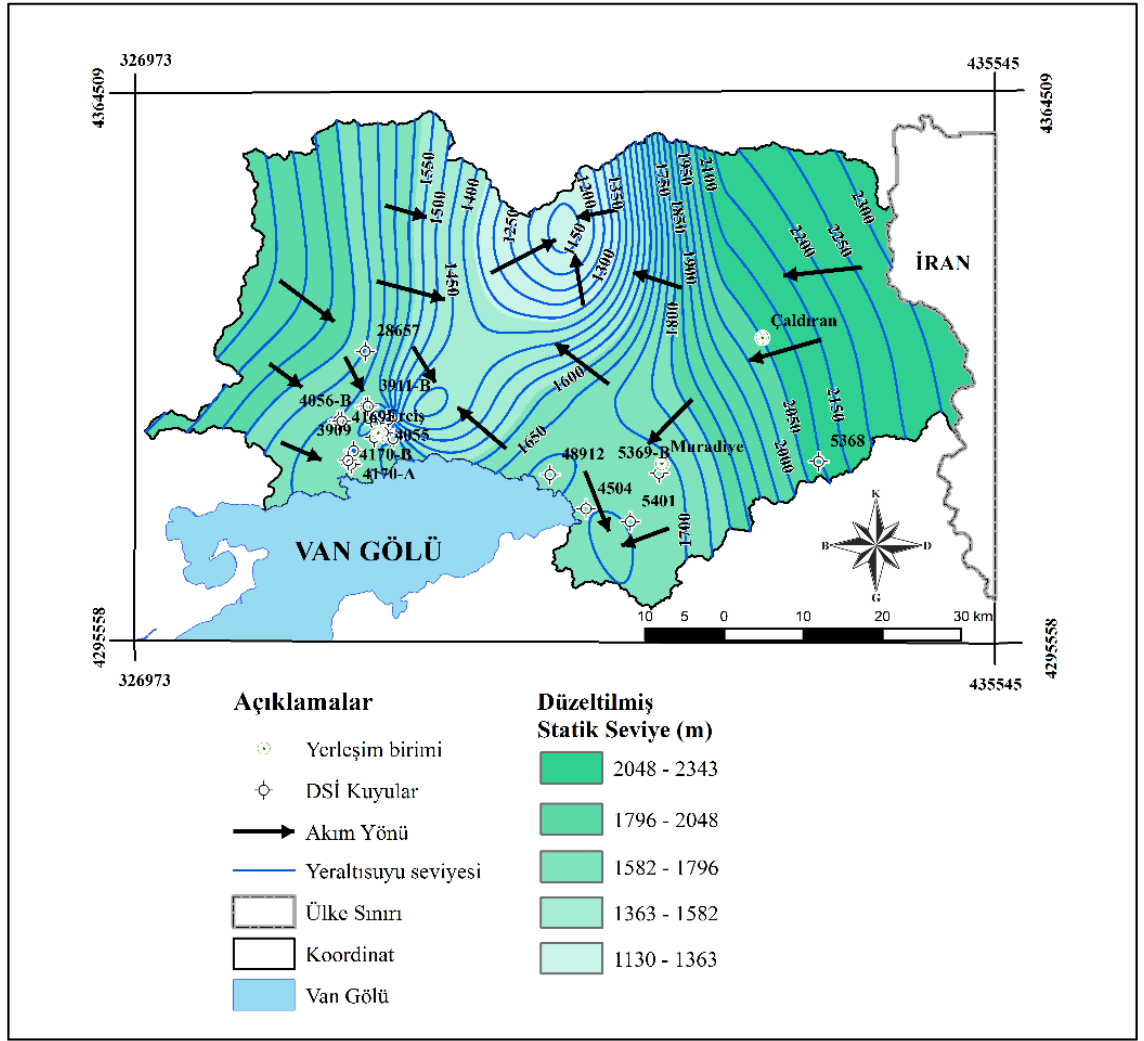
4.3.4. Yeraltısuyu Seviye Gözlemleri

İnceleme alanındaki yeraltısuyu seviyesini belirlemeye yönelik DSİ tarafından yeraltısuyu statik seviye ölçümü yapılmış olan 20 adet sondaj kuyusu kullanılmıştır. Statik seviye, akiferden pompaj ile ya da herhangi bir şekilde su alınmadığı zaman veya akifere su verilmediği andaki kuyuda durgun (statik) halde bulunan yeraltısuyu seviyesidir. Bu seviye genellikle yeryüzünden itibaren yeraltı su yüzeyine kadar ölçülen derinliktir. Yeraltısuyu seviyesini bulabilmek için statik seviyesi bilinen her bir kuyu için kot değerinden (yeryüzündeki yükseklik değeri), statik seviye değeri çıkarılmıştır. Elde edilen değer, düzeltilmiş statik seviye değeri olarak adlandırılmıştır. Düzeltilmiş statik seviye değeri, aynı zamanda yeraltısuyu seviyesi değeridir. Kuyulara ait statik seviye değerleri ve diğer bilgiler Tablo 4.23'te belirtilmiştir. Kullanılan formül aşağıdaki gibidir.

$$\text{Kot (m)} - \text{Statik seviye (m)} = \text{Düzeltilmiş Statik Seviye (m)} = \text{Yeraltısuyu Seviyesi (m)}$$

Tablo 4.23: Yeraltısuyu seviye haritasında kullanılan kuyulara ait bilgiler.

Kuyu No	Kuyu yeri	Koordinat (UTM)		Kot	Statik seviye (m)	Düzeltilmiş Statik Seviye (m)
		X	Y			
4504	Muradiye-Karahan Köyü	383824	4311697	1660	4.04	1656
5368	Muradiye-Kilimli Köyü	413243	4317686	2100	4.7	2095.3
5369-B	Muradiye-Merkez	393043	4316194	1700	22.8	1677.2
5401	Muradiye-Köşk Köyü	389414	4310080	1665	12.25	1652.8
27095	Erciş - Merkez	358700	4323000	1727	29.35	1697.7
27096	Erciş - Merkez	358807	4323003	1740	15	1725
28657	Erciş-Koçköprü barajı	355882	4331627	1768	23.68	1744.3
3908-A	Erciş - Merkez	359419	4320542	1680	8	1672
3908-B	Erciş - Merkez	359431	4320542	1680	4	1676
3909	Erciş - Merkez	354428	4319008	1655	5	1650
3911-A	Erciş - İrşad	355902	4324590	1685	3	1682
3911-B	Erciş - İrşad	356233	4324653	1685	3	1682
4055	Erciş - Alpaslan İlk.Okulu	358163	4321342	1685	5	1680
4056-A	Erciş- Zortul	352496	4322810	1695	3	1692
4056-B	Erciş- Zortul	352926	4322770	1695	3	1692
4169	Erciş Askeri gar	357030	4320684	1676	1	1675
4170-A	Erciş - Çelebibağ	354103	4317308	1653	2	1651
4170-B	Erciş - Çelebibağ	353710	4317811	1656	1.8	1654.2
4434-A	Erciş-Yatılı Okul	357191	4322484	1690	11	1679
48912	Deliçay Havzası-Ünseli	379250	4316000	1720	0.91	1719.1



Şekil 4.62: İnceleme alanı yeraltısuyu seviye haritası ve akım yönleri.

Elde edilen yeraltısuyu seviye değerleri kullanılarak bir yeraltısuyu seviye haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.62). Haritada oklar akım yönlerini belirtmektedir. Koyu yeşil renkle ifade edilen yerler yeraltısuyunun beslenme alanını temsil ederken, açık yeşille gösterilen yerler yeraltısuyu boşalımının olduğu bölgeleri temsil etmektedir.

İnceleme alanının doğusunda yer alan Bendimahi (Muradiye-Çaldıran) havzasında yeraltısuyu akım yönünün doğudan batıya ve kuzeyden güneye olduğu görülmektedir. İnceleme alanının ortasındaki Deliçay havzasında ise yeraltısuyu boşalımının fazla olduğu ve özellikle Deliçay havzası'nın kuzeyinde aşırı çekimin olduğu görülmektedir. İnceleme alanının batısındaki Zilan (Erciş) havzasında ise; akım yönünün batıdan doğuya ve kuzeyden güneye doğru olduğu görülmektedir. Zilan havzasının güneyinde Erciş ilçe merkezi ve yerleşim birimlerinin çok sayıda olmasından dolayı aşırı çekimin olduğu

dikkat çekmektedir. İnceleme alanı genelinde yeraltısuyu seviye değerleri 1130 m ile 2048 m arasında değişiklik göstermektedir.

4.4. SU KİMYASI

Su kimyası bölümü, 6 alt bölüm şeklinde incelenmiştir. Birinci alt bölüm kapsamında, inceleme alanındaki suların fizikokimyasal özellikleri esas alınarak kimyasal bileşimleri incelenmiştir. İkinci alt bölümde, inceleme alanında yer alan sıcak ve soğuk suların anyon ve katyon yüzdeleri hesaplanmış ve Piper ve Schoeller diyagramları da kullanılarak suların kimyasal içeriklerinin değişimi bakımından karşılaştırılması sağlanarak hidrojeokimyasal fasiyesler belirlenmiştir. Üçüncü alt bölümde, iyon değişimi ve çözülmüş iyonlar arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Dördüncü alt bölümde, inceleme alanındaki sıcak su kaynaklarının hazne sıcaklıkları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Beşinci alt bölümde, litoloji-su kimyası arasındaki ilişkiler değerlendirilerek suların kökeni araştırılmıştır. Altıncı alt bölümde ise suların içilebilirliği ve kullanımı ile ilgili değerlendirmelerde bulunulmuştur.

4.4.1. Suların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Araştırma sahasından 25'i soğuk su kaynağı, 5'i sıcak su kaynağı, 11'i kuyu suyu olmak üzere toplam 41 farklı noktadan su örneği alınmıştır. Kaynak ve kuyu sularının yanı sıra inceleme alanındaki Zilan Çayı ve Bendimahi Çayı'ndan da su örnekleri alınarak analizleri yaptırılmıştır. Arazide yerinde ölçümlerle suların sıcaklık (T), pH ve elektriksel iletkenlik (EC) değerleri ölçülmüştür. Ayrıca EC değerlerinin daha güvenilir biçimde değerlendirilebilmesi amacıyla APHA ve diğ. (1989) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik kullanılarak 25 °C'deki eşdeğer elektriksel iletkenlik değerleri hesaplanmıştır.

$$EC_{25} = [EC_A \times K] / [1 + 0.0191 \times (t_A - 25)] \quad (4.8)$$

Eşitlikteki ifadeler;

EC_{25} : 25 °C'deki özgül elektriksel iletkenlik ($\mu S/cm$)

EC_A : Arazide ölçülen elektriksel iletkenlik ($\mu S/cm$)

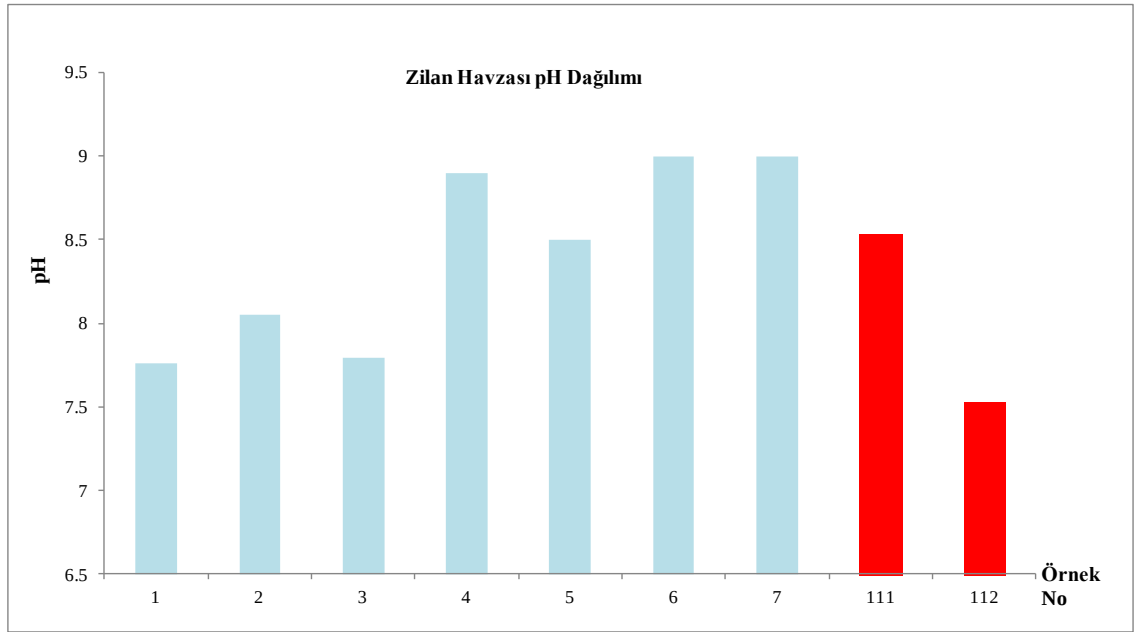
K : İletkenlik ölçer hücre sabiti ($K = 1 \text{ cm}^{-1}$)

t_A : Arazide ölçülen örnek sıcaklığı (°C) demektir.

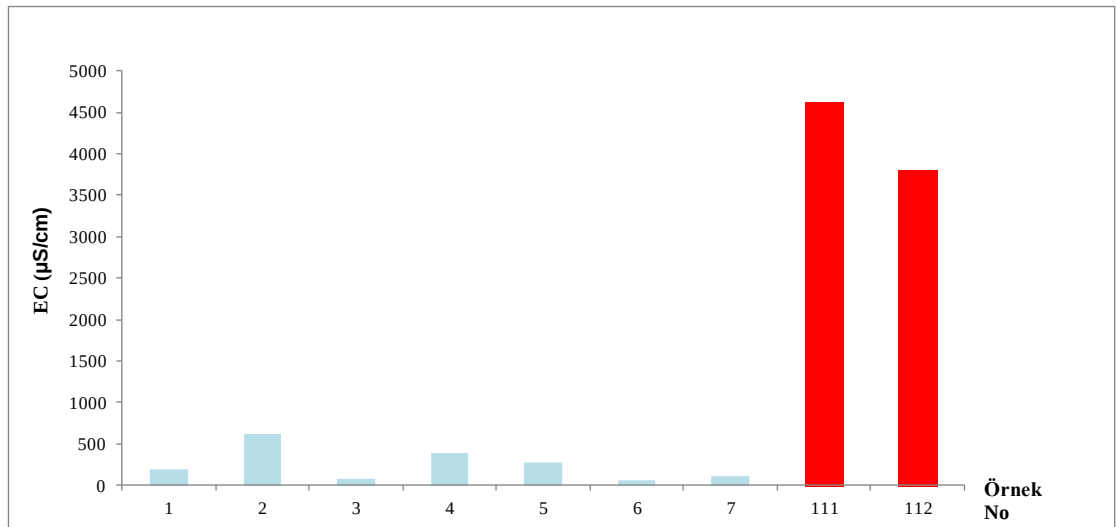
Suların kimyasal bileşiminin tespiti amacıyla inceleme alanından alınan su örneklerinde HCO_3 , Cl, SO_4 , NO_2 , NO_3 , NH_4 , PO_4 , Si, Na, K, Ca, Mg, F, As, Al, Cu, B, Zn, Cr, Mn, Ni, Ba, Sb, U, Hg, Fe, Cd, Se, Pb, Li, Ba, Be, Br, Co, Cs, Ge, La, Mo, Nb, P, Rb, S, Sr, V, W, Y ve Zr olmak üzere 47 parametre incelenmiştir. Si, Cl, Na, K, Ca, Mg, As, Al, Cu, B, Zn, Cr, Mn, Ni, Ba, Sb, U, Hg, Fe, Cd, Se, Pb, Li, Ba, Be, Br, Co, Cs, Ge, La, Mo, Nb, P, Rb, S, Sr, V, W, Y ve Zr gibi parametreler, Kanada ACME Laboratuvarlarında analiz ettirilmiştir. SO_4 , HCO_3 , NO_2 , NO_3 , NH_4 , F ve PO_4 gibi bazı parametreler ise İstanbul Üniversitesi Hidrojeoloji Laboratuvarlarında kimyasal kitler kullanılarak analiz edilmiştir. Zilan (Erciş) ve Bendimahi (Muradiye - Çaldıran) havzalarındaki soğuk su kaynakları, sıcak su kaynakları ve kuyu suları için majör anyon ve katyon konsantrasyonları Tablo 4.24, Tablo 4.26 ve Tablo 27'de verilmektedir. Zilan ve Bendimahi çayı için majör anyon ve katyon konsantrasyonlarını gösteren analiz sonuçları tablosu ise Tablo 4.25'deki gibidir.

Suların fiziksel özellikleri değerlendirilirken sıcaklık, pH ve elektriksel iletkenlik gibi özellikleri incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında sıcaklık değerleri 25°C'nin üzerinde olan sular "sıcak su", 25 ve 25 °C'nin altında olan sular ise "soğuk su" olarak kabul edilmiştir. İnceleme alanındaki soğuk sular, 6.8 ile 9 arasında değişen pH değerlerine sahip olup, Çaldıran ilçesi Evciler Köyü'ndeki 26 nolu kaynak suyu 6.8 ile asidik karakterli bir sudur. Bunun dışındaki soğuk su kaynakları ve kuyu sularının bazik karakterli ve bazik sular olduğu görülmektedir. Sıcak sular ise 7.29 ile 8.53 arasında değişen pH değerlerine sahip bazik karakterli ve bazik sulardır. Soğuk sular için elektriksel iletkenlik değerleri (EC), 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile 1979 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişirken, sıcak sular için 1155 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile 4620 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. Bendimahi havzasında 113 nolu kaynaktaki EC değerinin, diğer iki sıcak su kaynağındakine (114 ve 115 nolu sıcak su kaynakları) kıyasla daha yüksek çıktığı görülmektedir. Bu durum, söz konusu kaynağa ait rezervuarda su-kayaç etkileşim süresinin diğer kaynaklara göre daha uzun olduğunu göstermektedir.

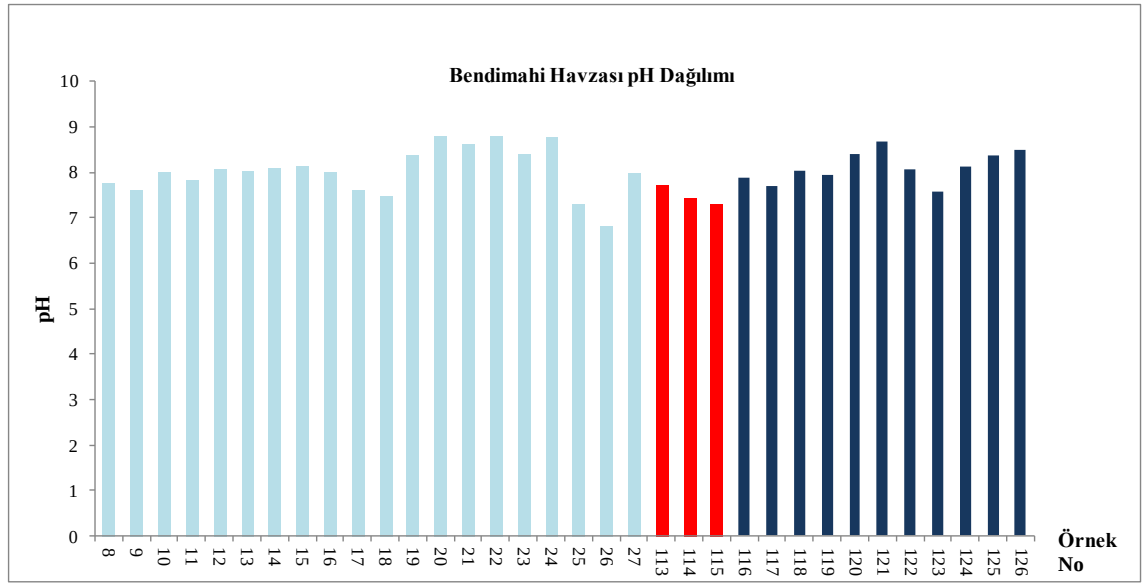
pH ve EC değişim grafikleri Şekil 4.63, Şekil 4.64, Şekil 4.65 ve Şekil 4.66'da verilmektedir. Grafiklerde soğuk su kaynakları açık mavi, sıcak su kaynakları kırmızı, kuyu suları ise koyu mavi renkle ifade edilmiştir. Örnek lokasyonları haritası için Şekil 4.67'ye bakınız.



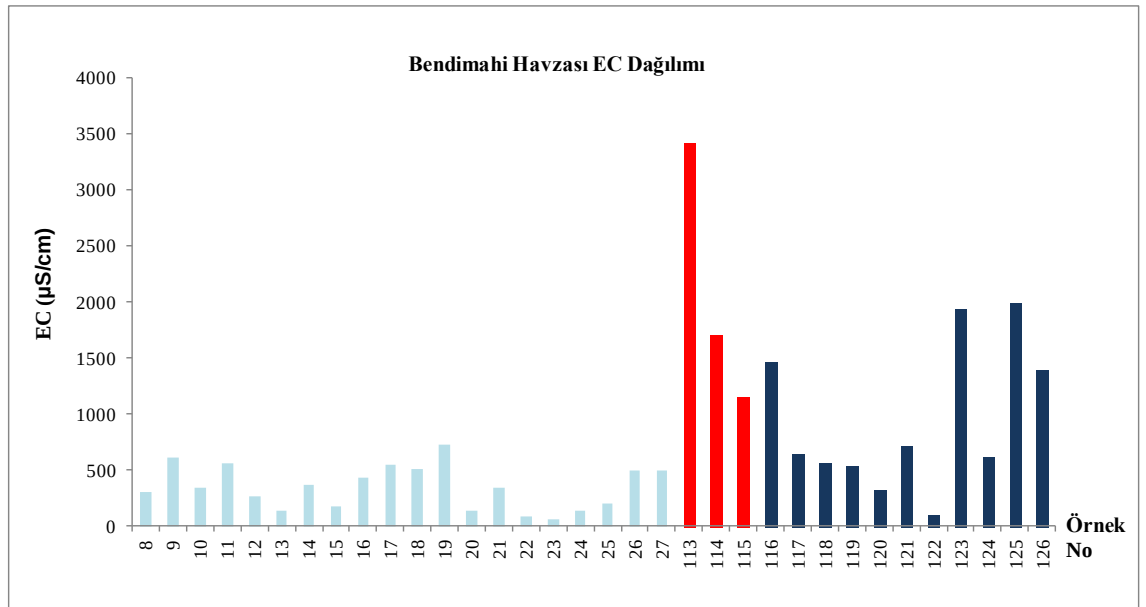
Şekil 4.63: Zılan Havzası soğuk ve sıcak su kaynaklarının pH dağılım grafiği.



Şekil 4.64: Zılan Havzası soğuk ve sıcak su kaynaklarının EC değişimi grafiği.



Şekil 4.65: Bendimahi Havzası soğuk ve sıcak su kaynakları ile kuyu sularının pH değişimlerini gösterir diyagram.



Şekil 4.66: Bendimahi Havzası soğuk ve sıcak su kaynakları ile kuyu sularının EC değişim grafiği.

Tablo 4.26: Bendimahi Havzası (Muradiye - Çaldıran) kaynak sularının fiziksel özellikler ile majör anyon ve katyon konsantrasyonları.

Su Türü	Örnek No	Örnek Yeri	Tarih	Sıcaklık (°C)	pH	Elektriksel İletkenlik - EC (µS/cm)	25 °C'deki Elektriksel İletkenlik EC25 (µS/cm)	Si (µg/l)	HCO ₃ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)
SOĞUK SU KAYNAKLARI	8	Bendimahi H. - Muradiye-Ovapınar K.	21.08.2014	23.9	7.75	302	308.5	10627	243.36	1.00	6.00	8.12	1.14	63.02	8.79
	9	Bendimahi H. - Muradiye-Köşköy	21.08.2014	24.8	7.61	608	610.3	24332	425.88	2.00	15.00	17.24	7.71	79.99	35.61
	10	Bendimahi H. - Muradiye-Topuzarpa K.	21.08.2014	23.3	8.00	344	355.5	19575	248.48	2.00	6.00	10.43	2.03	54.22	13.31
	11	Bendimahi H. - Muradiye-Uluşar Köyü	21.08.2014	20.2	7.82	568	625.3	20558	437.28	13.00	15.00	25.75	1.93	93.40	25.11
	12	Bendimahi H. - Muradiye-Beydağ K.Ö.	21.08.2014	23.7	8.08	267	273.8	12649	162.00	0.50	27.00	14.87	1.53	35.48	9.94
	13	Bendimahi H. - Muradiye-Yumuklı Köyü	21.08.2014	23.7	8.05	143	146.6	14111	4.70	0.50	61.80	4.24	0.85	15.25	5.27
	14	Bendimahi H. - Muradiye-Merkez	21.08.2014	20.5	8.10	366	400.4	30960	151.00	12.00	66.60	19.89	26.57	45.10	13.33
	15	Bendimahi H. - Çaldıran-Ayrancılar Köyü	21.08.2014	30.2	8.12	180	181.7	28653	49.00	0.50	64.40	13.23	2.85	25.22	4.03
	16	Bendimahi H. - Çaldıran - Kallandelen K.	21.08.2014	16.4	8.02	431	515.7	25311	275.00	2.00	65.10	21.48	6.59	67.18	19.88
	17	Bendimahi H. - Çaldıran - Yayılbasan K.	21.08.2014	8.8	7.6	550	796.4	31099	327.00	5.00	63.00	123.25	12.91	11.51	10.67
	18	Bendimahi H. - Çaldıran - Altıyol Köyü	21.08.2014	17	7.5	510	602.0	30235	323.00	5.00	63.00	121.71	12.67	11.47	10.80
	19	Bendimahi H. - Çaldıran - Yeniyaka Köyü	21.08.2014	20.3	8.39	725	796.5	17765	430.00	45.00	64.00	21.08	1.54	99.54	45.70
	20	Bendimahi H. - Çaldıran - Alıkelce Köyü	21.08.2014	20.2	8.81	136	149.7	10959	13.20	0.50	66.00	11.98	0.66	18.26	2.09
	21	Bendimahi H. - Çaldıran - Kılınçlı Köyü	22.08.2014	17	8.61	347	409.6	31392	189.00	5.00	64.00	15.66	5.64	53.94	14.73
	22	Bendimahi H. - Çaldıran - Kılınçlı Köyü	22.08.2014	23	8.79	88.9	92.4	10932	2.30	0.50	45.60	9.19	0.53	10.20	1.14
	24	Bendimahi H. - Çaldıran - Salihane Köyü	22.08.2014	13.7	8.76	145.9	186.1	14272	109.51	0.90	6.00	7.38	1.00	18.58	7.15
	25	Bendimahi H. - Çaldıran - Evciler Köyü	22.08.2014	15.4	7.30	202	247.4	43556	133.85	0.90	6.00	12.26	4.47	28.62	8.79
	26	Bendimahi H. - Çaldıran - Evciler K.	22.08.2014	19.1	6.8	496	559.0	63387	139.93	123.00	58.40	31.20	9.83	45.41	40.84
	27	Bendimahi H. - Çaldıran - Hanköy Köyü	22.08.2014	24.5	7.98	503	507.8	31121	419.80	5.00	3.00	124.92	12.74	11.74	11.05

Tablo 4.27: Bendimahi Havzası (Muradiye - Çaldıran) sıcak su kaynakları ve kuyu sularının fiziksel özellikler ile majör anyon ve katyon konsantrasyonları.

Su Türü	Örnek No	Örnek Yeri	Tarih	Sıcaklık (°C)	pH	Elektriksel İletkenlik - EC (µS/cm)	25 °C'deki Elektriksel İletkenlik EC25 (µS/cm)	Si (µg/l)	HCO ₃ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)
SICAK	113	Bendimahi H. - Çaldıran - Ayrancılar K.	21.08.2014	34.7	7.74	3420	2885.4	*	1644.00	316.00	174.00	724.00	195.00	117.30	26.00
	114	Bendimahi H. - Çaldıran - Koçova K.	21.08.2014	25.8	7.43	1696	1670.5	46596	1316.00	48.00	66.40	167.89	48.42	168.00	104.83
KUYU SULARI	115	Bendimahi H. - Çaldıran - Buğlukaynak K.	21.08.2014	33.5	7.29	1155	993.7	83865	836.00	16.00	63.80	98.86	26.72	93.59	79.25
	116	Muradiye - Ovacınar K.	21.08.2014	22.1	7.89	1465	1550.9	23073	752.00	149.00	129.00	65.65	4.41	170.63	95.35
	117	Muradiye - Kocasıban K.	21.08.2014	21.6	7.69	636	680.2	23892	444.00	11.00	66.00	45.43	10.69	69.96	42.51
	118	Muradiye - Uluşar K.	21.08.2014	14.5	8.05	556	695.5	18844	430.00	9.00	15.00	17.61	2.98	90.89	28.39
	119	Muradiye - Merkez - Fvz Çkım Mh.	21.08.2014	16.5	7.96	543	648.2	24954	360.00	6.00	62.40	49.09	6.90	68.53	22.14
	120	Çaldıran - Yassıtepe Köyü	21.08.2014	16.4	8.41	320	382.9	30011	135.00	3.00	66.20	16.78	4.79	43.78	9.38
	121	Çaldıran - Yaylıncı Köyü	21.08.2014	18	8.67	711	820.7	24714	430.00	51.00	62.00	13.32	1.29	72.61	67.88
	122	Çaldıran - Kılınçlı Köyü	22.08.2014	21.3	8.07	103.6	111.5	10920	3.30	0.50	60.30	15.95	0.39	11.94	0.41
	123	Çaldıran - Koçova Köyü	21.08.2014	18.1	7.59	1938	2232.2	33414	1127.00	161.00	121.00	144.33	73.15	164.29	134.60
	124	Çaldıran - Doymuşalan Köyü	22.08.2014	18.4	8.12	610	698.0	23735	223.00	57.00	70.20	16.12	33.43	91.49	17.87
	125	Çaldıran - Hanköy	22.08.2014	13.7	8.38	1979	2523.7	30504	1177.00	166.00	199.00	266.73	19.60	86.61	148.27
	126	Çaldıran - Aşığıkaynak Köyü	22.08.2014	14.5	8.51	1395	1744.9	27998	784.00	113.00	128.00	143.68	71.06	81.40	101.98

* (*) işaretli alanlar ölçülemeyen değerleri ifade etmektedir.

4.4.2. Hidrojeokimyasal Fasiyesler

Soğuk ve sıcak suların hidrojeokimyasal fasiyesler, 2 aşamada belirlenmiştir. Birinci aşamada, öncelikle kimyasal analiz sonuçları meq/l (mili equivalent/litre)'ye çevrilmiş ve sonrasında analiz sonuçlarının güvenilirliğini test etmek amacıyla anyon - katyon dengesi kontrol edilmiştir. Anyon-katyon denge yüzdesinin % 5 güven aralığında olduğu görülmüştür. Sonuçların güvenilirliği test edildikten sonra her lokasyondaki anyon (HCO₃, Cl, SO₄) ve katyonların (Na+K, Ca, Mg) iyon yüzdeleri hesaplanmıştır. İkinci aşamada ise; Piper ve Schoeller diyagramları kullanılarak suların kimyasal içerik ve/veya bağıl iyon oranlarının değişimi bakımından karşılaştırılması ve grafiklerdeki benzerlik ve farklılıkların ortaya konmasıyla suların orijin bakımından ve yağıştan süzülmesinden, kaynak veya sondajla yeryüzüne çıkmasına kadarki evrim yolu içinde uğradığı kimyasal değişiklikler yorumlanmaya çalışılmıştır.

4.4.2.1. Toplam Anyon ve Katyon Yüzdelерinin Hesaplanması

Birinci aşamada hidrojeokimyasal fasiyesler belirlenirken, Zılan (Erciş) Havzası ve Bendimahı (Muradiye-Çaldıran) havzası için ayrı ayrı değerlendirme yapılmıştır. Zılan havzasında Erciş ilçesi'nin içme suyu ihtiyacını karşılayan en büyük kaynak olan 1 nolu (Yukarıışıklı Köyü) soğuk su kaynağında en baskın katyonun Mg olduğu görülürken, en baskın anyonun ise HCO₃ olduğu görülmüştür. 2, 4, 5, 6 ve 7 nolu örneklerde ise baskın katyonu Ca meydana getirirken, baskın anyonu HCO₃ iyonu oluşturmaktadır. Zılan havzasındaki 2 sıcak su kaynağında ise baskın katyonun Na ve baskın anyonun ise Cl olduğu görülmektedir (Tablo 4.28).

Tablo 4.28: Zılan Havzası soğuk ve sıcak su kaynaklarının majör anyon ve katyon konsantrasyonlarına göre su tipleri.

	Örnek No	Örnek Yeri	Na+K (meq/l)	Ca (meq/l)	Mg (meq/l)	HCO ₃ (meq/l)	Cl (meq/l)	SO ₄ (meq/l)	Na+K (%)	Ca (%)	Mg (%)	HCO ₃ (%)	Cl (%)	SO ₄ (%)	Σ Katyon	Σ Anyon	Denge	İyon Bolluk Dizilimi	Su Tipi
SOĞUK SU KAYNAKLARI	1	Yukarıışıklı Köyü	0.49	1.08	1.25	1.48	0.03	1.24	17.42	38.28	44.29	53.83	1.03	45.14	2.81	2.74	1.31	Mg > Ca > Na+K - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Mg-Ca-HCO ₃ -SO ₄
	2	Taşkapı Köyü	1.22	5.20	2.26	7.05	0.34	1.24	14.06	59.89	26.04	81.75	3.93	14.33	8.67	8.62	0.31	Ca > Mg > Na+K - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Ca-Mg-HCO ₃
	4	Hasanabdal Mevki	0.49	2.75	2.49	5.38	0.06	0.19	8.48	48.04	43.48	95.66	1.00	3.33	5.72	5.62	0.90	Ca > Mg > Na+K - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Ca-Mg-HCO ₃
	5	Hasanabdal Mevki	0.44	2.36	1.01	2.51	0.01	1.22	11.61	61.91	26.49	67.01	0.38	32.61	3.81	3.74	0.86	Ca > Mg > Na+K - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
	6	Kekliksırtı Köyü	0.26	4.49	0.12	3.49	0.01	1.26	5.26	92.38	2.37	73.19	0.30	26.51	4.86	4.77	0.97	Ca > Na+K > Mg - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Ca-HCO ₃ -SO ₄
	7	Ağaçören Köyü	0.25	2.45	0.34	1.80	0.01	1.22	8.33	80.48	11.19	59.22	0.47	40.32	3.04	3.03	0.11	Ca > Mg > Na+K - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Ca-HCO ₃ -SO ₄
	111	Hasanabdal Köyü	46.36	2.84	1.98	3.61	40.62	4.44	90.59	5.55	3.86	7.41	83.48	9.11	51.17	48.66	2.51	Na+K > Ca > Mg - Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na-Cl
SICAK	112	Taşkapı Köyü	35.90	6.55	4.28	3.51	31.20	9.91	76.82	14.02	9.16	7.86	69.93	22.21	46.73	44.62	2.31	Na+K > Ca > Mg - Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na-Cl-SO ₄

Bendimahı (Muradiye-Çaldıran) havzasında; Muradiye'deki 13 nolu soğuk su kaynağında baskın katyonun Ca ve baskın anyonun SO₄ olduğu görülmektedir. Muradiye'de söz konusu kaynak dışındaki diğer tüm soğuk su kaynaklarında Ca'nın baskın katyonu ve HCO₃'ün ise baskın anyonu oluşturduğu görülmüştür. Muradiye'deki kuyu sularında ise 117 nolu örnekte baskın katyonun Mg ve baskın anyonun HCO₃ olduğu görülürken, diğer tüm kuyu sularında baskın katyonun Ca ve baskın anyonun HCO₃ olduğu görülmektedir (Tablo 4.29).

Çaldıran'daki soğuk su kaynaklarının iyon bollukları incelendiğinde; 15, 20 ve 22 nolu soğuk su kaynaklarında baskın katyonun Ca ve baskın anyonun SO₄ olduğu görülmüştür. 16, 19, 21, 24 ve 25 nolu soğuk su kaynaklarında baskın katyonun Ca ve baskın anyonun HCO₃ olduğu görülmektedir. 17, 18 ve 27 nolu soğuk su kaynaklarında baskın katyonun Na ve baskın anyonun ise HCO₃ olduğu görülürken, sadece 26 nolu soğuk su kaynağında baskın katyon ve anyonun sırasıyla Mg ve Cl olduğu görülmektedir. Çaldıran'daki sıcak su kaynaklarında ise 113 nolu sıcak su kaynağında katyon olarak Na ve anyon olarak da HCO₃ iyonlarının baskın olduğu görülmektedir. 114 ve 115 nolu sıcak su kaynaklarında

baskın katyonu Mg ve baskın anyonu ise HCO₃ oluşturmıştır. Çaldıran'daki kuyu sularının iyon bollukları incelendiğinde; 121, 123, 125 ve 126 nolu örneklerde baskın katyonun Mg ve baskın anyonun HCO₃ olduğu görülmektedir. 120 ve 124 nolu örneklerde baskın katyonun Ca ve baskın anyonun HCO₃ olduğu, 122 nolu örnekte ise baskın katyon ve anyonun sırasıyla Na ve SO₄ olduğu görülmüştür (Tablo 4.29 ve Tablo 4.30).

Tablo 4.29: Bendimahi Havzası soğuk su kaynaklarının majör anyon ve katyon konsantrasyonlarına göre su tipleri.

Örnek No	Örnek Yeri	Na (meq/l)	K (meq/l)	Na+K (meq/l)	Ca (meq/l)	Mg (meq/l)	HCO ₃ (meq/l)	Cl (meq/l)	SO ₄ (meq/l)	Na+K (%)	Ca (%)	Mg (%)	HCO ₃ (%)	Cl (%)	SO ₄ (%)	Σ Katyon	Σ Anyon	Denge	İyonların Bolluk dizilimi	Su Tipi
8	Muradiye-Ovapınar K.	0.35	0.03	0.38	3.15	0.72	3.99	0.03	0.12	9.00	73.99	17.02	96.30	0.68	3.02	4.25	4.14	1.31	Ca > Mg > Na+K - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Ca-HCO ₃
9	Muradiye-Koskköy	0.75	0.20	0.95	3.99	2.93	6.98	0.06	0.31	12.04	50.73	37.23	94.98	0.77	4.25	7.87	7.35	3.42	Ca > Mg > Na+K - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Ca-Mg-HCO ₃
10	Muradiye-Topsızarpa K.	0.45	0.05	0.51	2.71	1.10	4.07	0.06	0.12	11.74	62.83	25.43	95.74	1.33	2.94	4.31	4.25	0.62	Ca > Mg > Na+K - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Ca-Mg-HCO ₃
11	Muradiye-Uluşar Köyü	1.12	0.05	1.17	4.66	2.07	7.17	0.37	0.31	14.81	59.03	26.16	91.35	4.67	3.98	7.90	7.85	0.32	Ca > Mg > Na+K - HCO ₃ > Cl > SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃
12	Muradiye-Beydağı K.	0.65	0.04	0.69	1.77	0.82	2.66	0.01	0.56	20.95	54.08	24.98	82.17	0.44	17.40	3.27	3.23	0.67	Ca > Mg > Na+K - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Ca-Mg-HCO ₃
13	Muradiye-Yumuklu Köyü	0.18	0.02	0.21	0.76	0.43	0.08	0.01	1.29	14.72	54.32	30.96	5.59	1.02	93.39	1.40	1.38	0.82	Ca > Mg > Na+K - SO ₄ > HCO ₃ > Cl	Ca-Mg-SO ₄
14	Muradiye-Merkez	0.87	0.68	1.54	2.25	1.10	2.48	0.34	1.39	31.57	46.01	22.42	58.92	8.06	33.02	4.89	4.20	7.61	Ca > Na+K > Mg - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
15	Çaldıran-Ayrancılar Köyü	0.58	0.07	0.65	1.26	0.33	0.80	0.01	1.34	28.96	56.23	14.81	37.21	0.65	62.14	2.24	2.16	1.84	Ca > Na+K > Mg - SO ₄ > HCO ₃ > Cl	Ca-Na-SO ₄ - HCO ₃
16	Çaldıran - Yağlıbasan K.	0.93	0.17	1.10	3.35	1.64	4.51	0.06	1.36	18.11	55.03	26.86	76.15	0.95	22.89	6.09	5.92	1.44	Ca > Mg > Na+K - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
17	Çaldıran - Yağlıbasan K.	5.36	0.33	5.69	0.57	0.88	5.36	0.14	1.31	79.67	8.04	12.29	78.67	2.07	19.26	7.14	6.81	2.38	Na+K > Mg > Ca - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Na-HCO ₃
18	Çaldıran - Ahtıyol Köyü	5.29	0.32	5.62	0.57	0.89	5.29	0.14	1.31	79.36	8.09	12.55	78.46	2.09	19.45	7.08	6.75	2.40	Na+K > Mg > Ca - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Na-HCO ₃

Tablo 4.29 (devam): Bendimahi Havzası soğuk su kaynaklarının majör anyon ve katyon konsantrasyonlarına göre su tipleri.

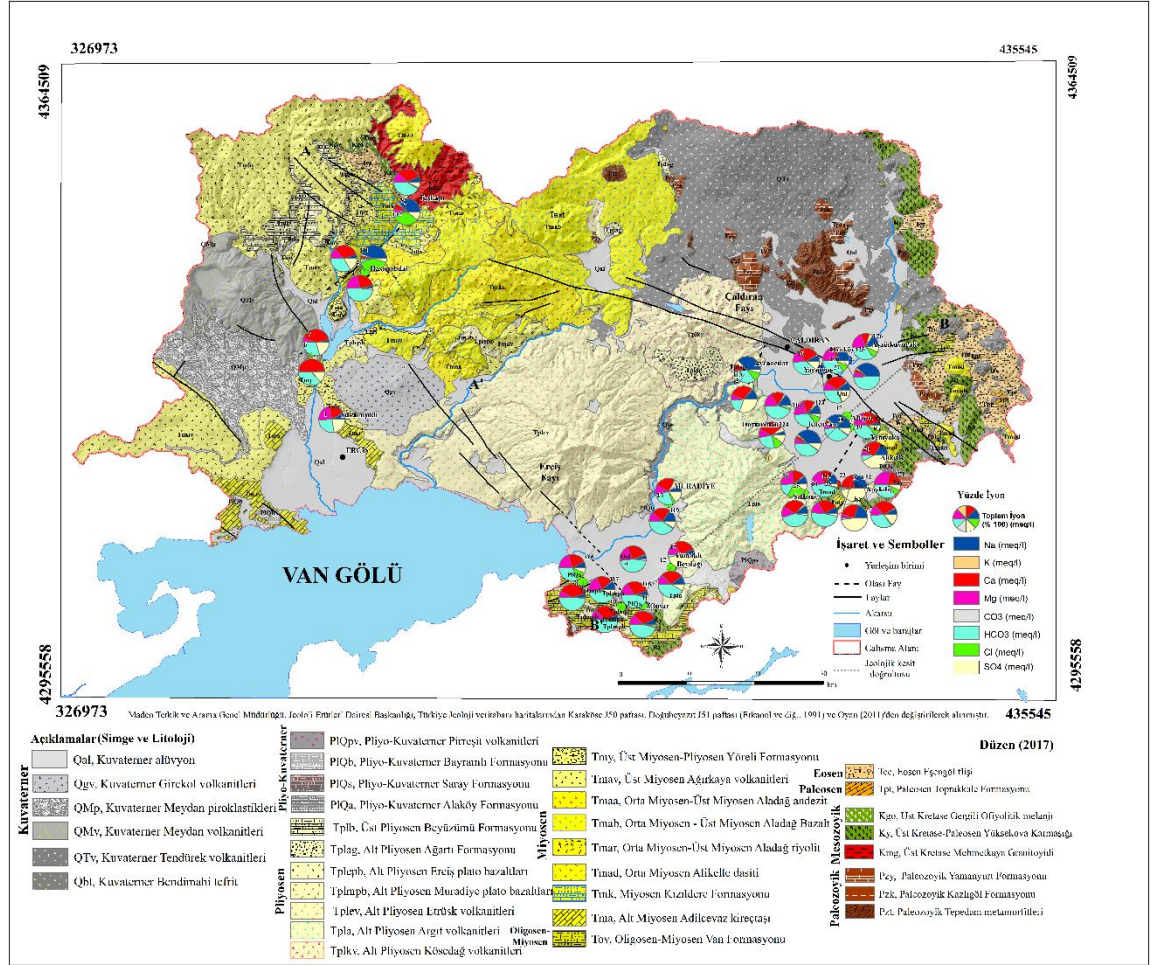
Örnek No	Örnek Yeri	Na (meq/l)	K (meq/l)	Na+K (meq/l)	Ca (meq/l)	Mg (meq/l)	HCO ₃ (meq/l)	Cl (meq/l)	SO ₄ (meq/l)	Na+K (%)	Ca (%)	Mg (%)	HCO ₃ (%)	Cl (%)	SO ₄ (%)	Σ Katyon	Σ Anyon	Denge	İyonların Bolluk dizilimi	Su Tipi
19	Çaldıran - Yeniyaka Köyü	0.92	0.04	0.96	4.97	3.76	7.05	1.27	1.33	9.87	51.29	38.84	73.04	13.15	13.81	9.68	9.65	0.19	Ca > Mg > Na+K - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Ca-Mg-HCO ₃
20	Çaldıran - Alkelle Köyü	0.52	0.02	0.54	0.91	0.17	0.22	0.01	1.37	33.18	56.21	10.61	13.48	0.88	85.64	1.62	1.60	0.52	Ca > Na+K > Mg - SO ₄ > HCO ₃ > Cl	Ca-Na-SO ₄
21	Çaldıran - Kilimli Köyü	0.68	0.14	0.83	2.69	1.21	3.10	0.14	1.33	17.45	56.92	25.63	67.77	3.09	29.15	4.73	4.57	1.72	Ca > Mg > Na+K - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
22	Çaldıran - Kilimli Köyü	0.40	0.01	0.41	0.51	0.09	0.04	0.01	0.95	40.67	50.09	9.23	3.76	1.41	94.83	1.02	1.00	0.74	Ca > Na+K > Mg - SO ₄ > HCO ₃ > Cl	Ca-Na-SO ₄
24	Çaldıran - Salhaneciler Köyü	0.32	0.03	0.35	0.93	0.59	1.80	0.03	0.12	18.61	49.79	31.60	92.27	1.31	6.42	1.86	1.95	-2.18	Ca > Mg > Na+K - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Ca-Mg-HCO ₃
25	Çaldıran - Evciler Köyü	0.53	0.11	0.65	1.43	0.72	2.19	0.03	0.12	23.14	51.02	25.84	93.99	1.08	5.33	2.80	2.34	8.84	Ca > Mg > Na+K - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Ca-Mg-Na-HCO ₃
26	Çaldıran - Evciler K.	1.36	0.25	1.61	2.27	3.36	2.29	3.47	1.22	22.23	31.32	46.45	32.86	49.71	17.43	7.24	6.98	1.81	Mg > Ca > Na+K - Cl > HCO ₃ > SO ₄	Mg - Ca - Cl - HCO ₃
27	Çaldıran - Hanköy Köyü	5.43	0.33	5.76	0.59	0.91	6.88	0.14	0.06	79.39	8.08	12.53	97.13	1.99	0.88	7.26	7.08	1.20	Na+K > Mg > Ca - HCO ₃ > Cl > SO ₄	Na-HCO ₃

Tablo 4.30: Bendimahi Havzası sıcak su kaynakları ve kuyu sularının majör anyon ve katyon konsantrasyonlarına göre su tipleri.

Örnek No	Örnek Yeri	Na (meq/l)	K (meq/l)	Na+K (meq/l)	Ca (meq/l)	Mg (meq/l)	HCO ₃ (meq/l)	Cl (meq/l)	SO ₄ (meq/l)	Na+K (%)	Ca (%)	Mg (%)	HCO ₃ (%)	Cl (%)	SO ₄ (%)	Σ Katyon	Σ Anyon	Denge	İyonların Bolluk dizilimi	Su Tipi
113	Çaldıran - Ayrancılar K.	31.49	4.99	36.48	5.85	2.14	26.94	8.91	3.62	82.03	13.16	4.81	68.24	22.58	9.18	44.47	39.48	5.95	Na+K > Ca > Mg - HCO ₃ > Cl > SO ₄	Na-HCO ₃ -Cl
114	Çaldıran - Koçovaş K.	7.30	1.24	8.54	8.38	8.63	21.57	1.35	1.38	33.43	32.81	33.76	88.74	5.57	5.69	25.55	24.31	2.50	Mg > Na+K > Ca - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Mg - Ca - Na - HCO ₃
115	Çaldıran - Bağlıulaymak K.	4.30	0.68	4.98	4.67	6.52	13.70	0.45	1.33	30.81	28.87	40.32	88.51	2.92	8.58	16.17	15.48	2.20	Mg > Na+K > Ca - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Mg - Ca - Na - HCO ₃
116	Muradiye - Ovpınar	2.86	0.11	2.97	8.52	7.85	12.32	4.20	2.69	15.36	44.05	40.59	64.14	21.88	13.98	19.33	19.21	0.31	Ca > Mg > Na+K - HCO ₃ > Cl > SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -Cl
117	Muradiye - Kocabaşın	1.98	0.27	2.25	3.49	3.50	7.28	0.31	1.37	24.35	37.79	37.86	81.20	3.46	15.33	9.24	8.96	1.52	Mg > Ca > Na+K - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Mg - Ca - Na - HCO ₃
118	Muradiye - Uluşar K.	0.77	0.08	0.84	4.54	2.34	7.05	0.25	0.31	10.92	58.80	30.28	92.56	3.33	4.10	7.71	7.61	0.66	Ca > Mg > Na+K - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Ca-Mg-HCO ₃
119	Muradiye - Fvz.Cikmak Mh.	2.14	0.18	2.31	3.42	1.82	5.90	0.17	1.30	30.60	45.28	24.12	80.07	2.30	17.63	7.55	7.37	1.24	Ca > Na+K > Mg - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Ca - Na - Mg - HCO ₃
120	Çaldıran - Yasstepe	0.73	0.12	0.85	2.19	0.77	2.21	0.08	1.38	22.38	57.36	20.26	60.20	2.30	37.50	3.81	3.67	1.80	Ca > Na+K > Mg - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
121	Çaldıran - Yayılcı K.	0.58	0.03	0.61	3.62	5.59	7.05	1.44	1.29	6.24	36.89	56.88	72.08	14.72	13.20	9.82	9.78	0.23	Mg > Ca > Na+K - HCO ₃ > Cl > SO ₄	Mg - Ca - HCO ₃
122	Çaldıran - Kilimli K.	0.69	0.01	0.70	0.60	0.03	0.05	0.01	1.26	52.78	44.69	2.53	4.09	1.07	94.85	1.33	1.32	0.38	Na+K > Ca > Mg - SO ₄ > HCO ₃ > Cl	Na-Ca - SO ₄
123	Çaldıran - Koçovaş	6.28	1.87	8.15	8.20	11.08	18.47	4.54	2.52	29.71	29.89	40.40	72.35	17.79	9.87	27.43	25.53	3.58	Mg > Ca > Na+K - HCO ₃ > Cl > SO ₄	Mg - Ca - Na - HCO ₃
124	Çald. - Doyumalan	0.70	0.86	1.56	4.57	1.47	3.66	1.61	1.46	20.50	60.14	19.36	54.35	23.91	21.74	7.59	6.73	6.06	Ca > Na+K > Mg - HCO ₃ > Cl > SO ₄	Ca - Mg - HCO ₃ -Cl-SO ₄
125	Çaldıran - Hanköy	11.60	0.50	12.10	4.32	12.20	19.29	4.68	4.14	42.28	15.10	42.62	68.61	16.65	14.74	28.62	28.12	0.90	Mg > Na+K > Ca - HCO ₃ > Cl > SO ₄	Mg - Na - HCO ₃
126	Çald. - Aşağıhıyucak	6.25	1.82	8.07	4.06	8.39	12.85	3.19	2.67	39.31	19.79	40.89	68.71	17.04	14.25	20.52	18.70	4.64	Mg > Na+K > Ca - HCO ₃ > Cl > SO ₄	Mg - Na - Ca - HCO ₃

İncelenen su örneklerindeki ana iyon (%) dağılım haritası Şekil 4.68, her ilçe için yakın plan görünümü Şekil 4.69'da verildiği gibidir. Şekil 4.69'da Erciş (A)'te, genel olarak yüzde anyon oranı bakımından HCO₃'lü, katyon oranı bakımından ise Ca bakımından zengin sular görülmektedir. Yalnızca Erciş'in kuzeyinde yer alan soğuk su kaynağında, Mg yüzdesi ve HCO₃ yüzdesinin daha fazla olduğu görülmektedir. Erciş'in kuzeyinde yer alan Hasanabdal ve Taşkapı sıcak su kaynaklarında ise yüzde anyon oranı bakımından

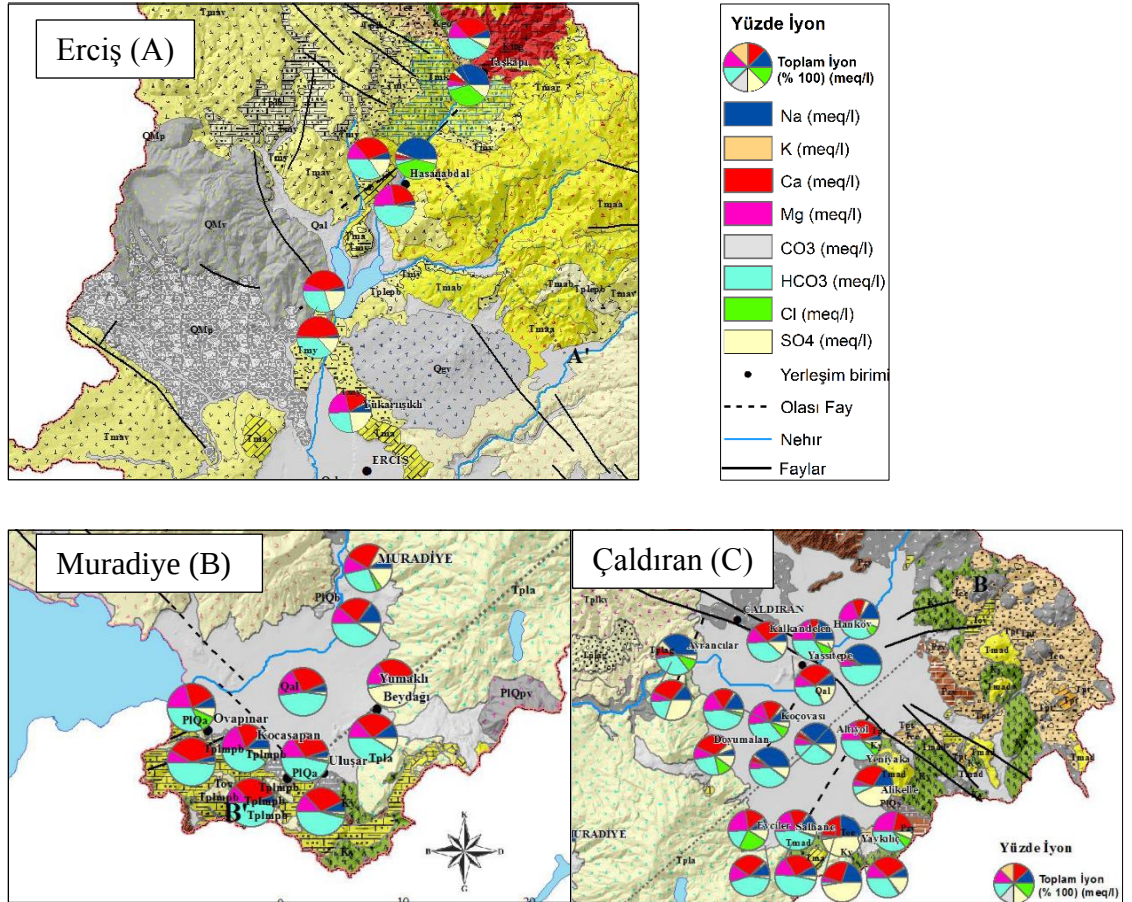
Cl'li, katyon oranı bakımından ise Na bakımından zengin sular görülmektedir. Muradiye (B)'de, genel itibariyle yüzde anyon oranı bakımından HCO₃'lü, katyon oranı bakımından ise Ca bakımından zengin sular görülmektedir. Sadece 1 örnekte yüzde iyonları bakımından Ca – SO₄ (13 nolu örnek) ve 1 örnekte de yüzde iyonları bakımından Mg – HCO₃ bakımından zengin olduğu görülmüştür.



Şekil 4.68: Su örneklerindeki ana iyonların yüzde (%) dağılım haritası.

Çaldıran (C)'da soğuk su kaynakları ve kuyu suları için hazırlanan dairesel diyagramlarda, yüzde iyon içeriği bakımından örneklerin yarısına yakın bir kısmının Ca-HCO₃'lü (7 adet), ikinci sırada Mg-HCO₃'lü (4 adet) ve üçüncü sırada ise Na - HCO₃'lü (3 adet) ve Ca - SO₄'lü sular (3 adet) olduğu görülmektedir. 1 örnekte (122 nolu örnek) Na - SO₄ ve 1 örnekte de Mg - Cl (26 nolu örnek) yüzdesinin fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca, hem Zilan (Erciş) havzasında, hem de Bendimahi (Muradiye-Çaldıran) havzasında fay doğrultularına paralel alınan örneklerde katyon yüzdesi bakımından Na'nın yüksek yüzdeye sahip olduğu görülmektedir. Dairesel diyagramlarda, Çaldıran'ın

güneydoğusundaki Buğulukaynak sıcak su kaynağı ve Çaldıran ovasının hemen hemen merkezinde yer alan Koçovası sıcak su kaynağında katyon yüzdesi bakımından Mg'nin daha büyük bir dilime karşılık geldiği görülmektedir. Aynı kaynakların anyon yüzdeleri ise, HCO_3 bakımından yüksektir. Çaldıran'daki Ayrancılar sıcak su kaynağına ait dairesel diyagramda, diğer iki sıcak su kaynağından farklı olarak, katyon yüzdesi bakımından Na yüzdesine karşılık gelen dilimin daha büyük, anyon yüzdesi bakımından ise HCO_3 yüzdelik diliminin daha büyük olduğu görülmektedir.



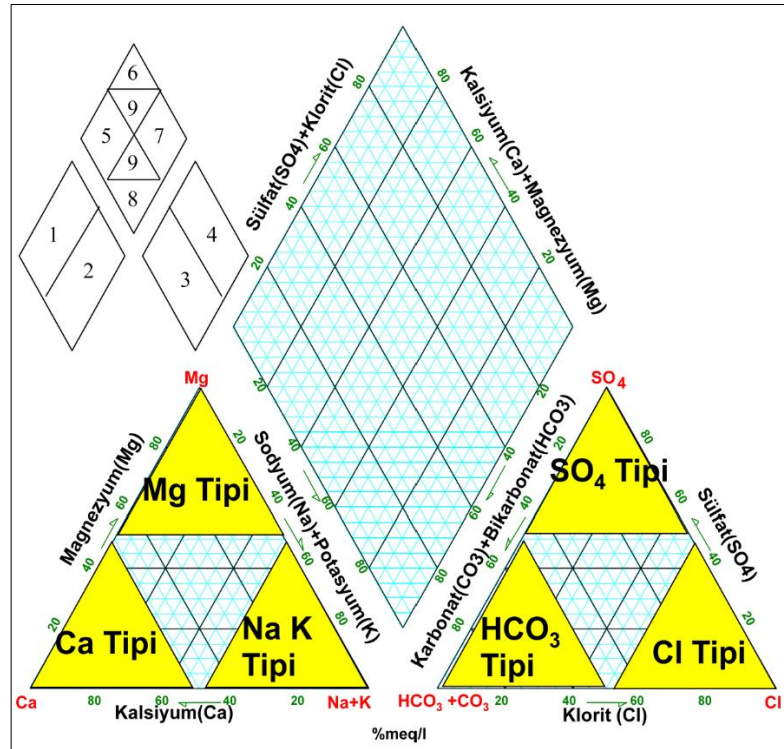
Şekil 4.69: Erciş (A), Muradiye (B) ve Çaldıran (C)'a ait soğuk ve sıcak su kaynakları ile kuyu sularının yakın plan ana iyon yüzde (%) dağılım haritası.

4.4.2.2. Suların Piper ve Schoeller Diyagramına Göre Sınıflaması

Piper (1944) tarafından anyon ve katyonların % meq/l değerleri kullanılarak oluşturulan iki üçgen ve bir eşkenar dörtgenden oluşan Piper Diyagramında doğal suların hidrojeokimyasal fasiyesleri belirlenir. Piper (1944) tarafından geliştirilen üçgen diyagramda benzer kökenli sular aynı bölgede, farklı kökenli veya kimyasal açıdan farklılık arzeden sular farklı bölgelere düşmektedir. Bu diyagramın en avantajlı özelliği

suyun içindeki bileşenlerin birbirlerine göre rölatif oranlarını göstermesidir. Bunun sayesinde suyun yağmurla infiltrasyonundan kaynak veya kuyudan çıkarak yeryüzüne tekrar dönene kadar olan akım yolu boyunca hangi reaksiyonlar ile ne tür bileşenlerin arttığı veya azaldığı, su kayaç etkileşimi yorumlanabilir. Ayrıca Piper Diyagramı üzerinde uç bileşenler ve karışımlar belirlenebilir.

Diyagramda yer alan bölgelerin açıklamaları Şahinci (1991b) ve Deniz (2010) tarafından 9 bölge olarak aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. Bu çalışma kapsamında ise mevcut açıklamalar doğrultusunda Piper diyagramı I, II, III ve IV bölgesi şeklinde fasiyeslere ayrılmıştır. Suları hidrojeokimyasal fasiyeslerine sınıflamak için, Zilan ve Bendimahi havzaları için ayrı ayrı olmak üzere Piper diyagramları Şekil 4.71 ve Şekil 4.72'deki gibi hazırlanmıştır.



Şekil 4.70: Piper (1944) Diyagramı.

Piper diyagramındaki 9 bölgenin açıklamaları; Şahinci (1991b) ve Deniz (2010) tarafından Tablo 4.31'deki gibi ifade edilmektedir.

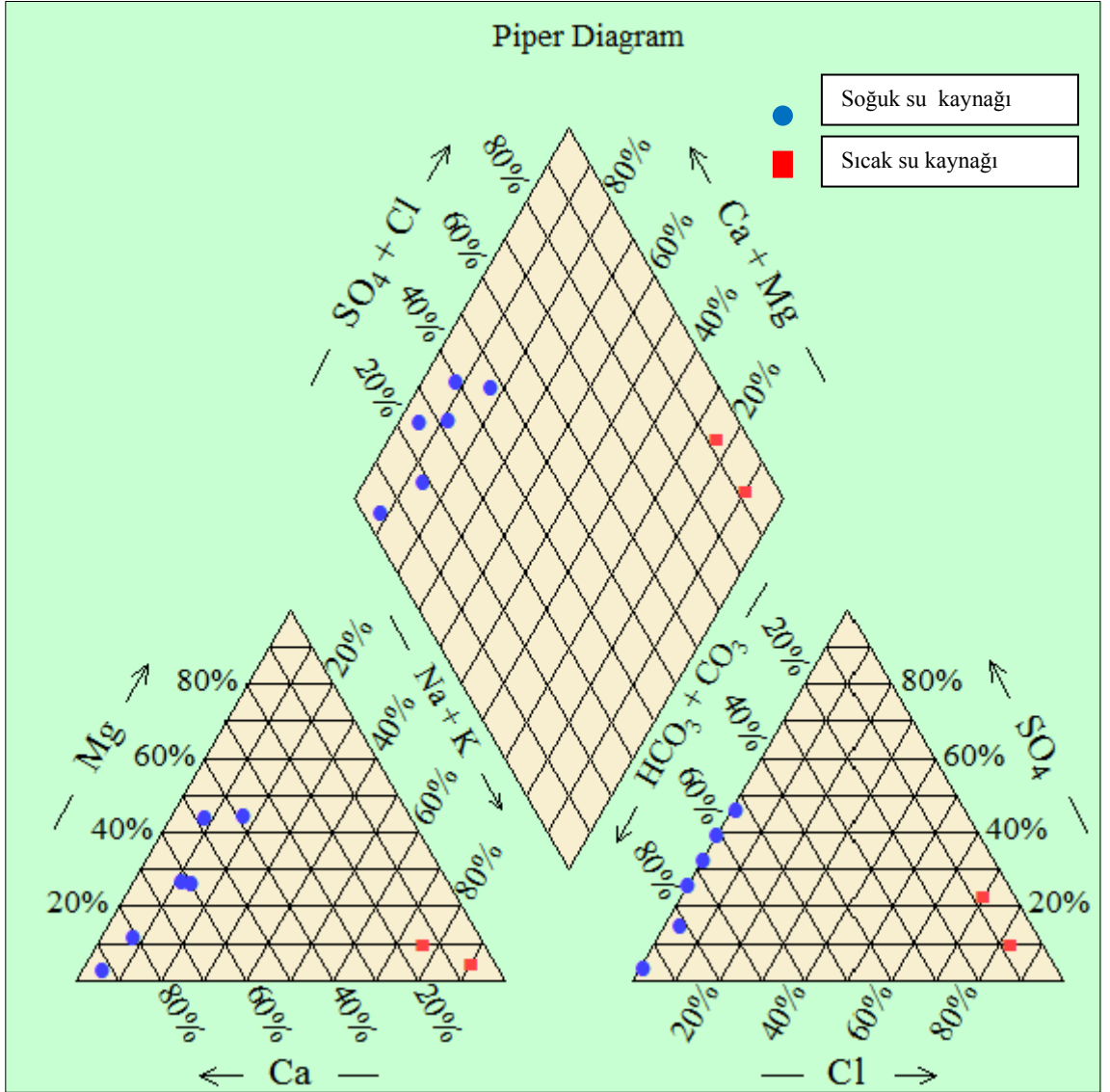
Tablo 4.31: Piper diyagramındaki 9 bölgenin açıklamaları (Şahinci (1991b); Deniz (2010)).

1 nolu bölge	Alkali toprak elementler (Ca + Mg) > Alkali elementler (Na+K),
2 nolu bölge	(Ca+Mg) < (Na+K),
3 nolu bölge	Zayıf asit kökleri (CO ₃ + HCO ₃) > Güçlü asit kökleri (Cl+SO ₄),
4 nolu bölge	(SO ₄ +Cl) > (CO ₃ +HCO ₃),
5 nolu bölge	Karbonat sertliği %50'den fazla olan sular,
6 nolu bölge	Karbonat olmayan sertliği %50'den fazla olan sular,
7 nolu bölge	Karbonat olmayan alkalinitesi %50'den fazla olan sular, NaCl, KCl, Na ₂ SO ₄ , alkaliler ve güçlü asitler egemendir. Deniz suyu ve çok acı sular bu alanda yer alır,
8 nolu bölge	Karbonat alkalileri %50'den fazla olan sular. Doğada az rastlanan aşırı yumuşak sular bu alana girer,
9 nolu bölge	İyonların hiçbiri %50'yi geçmeyen, karışık sular bu alanda bulunur.

Bu çalışma kapsamında ise Piper diyagramında Şahinci (1991b) tarafından ifade edilen bölgeler biraz daha basitleştirilerek 4 bölge şeklinde tanımlanmıştır. Yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda I (6 nolu bölge), II (5 nolu bölge), III (7 nolu bölge) ve IV (8 nolu bölge) bölgesi olmak üzere bir tanımlama yapılmıştır (Tablo 4.32).

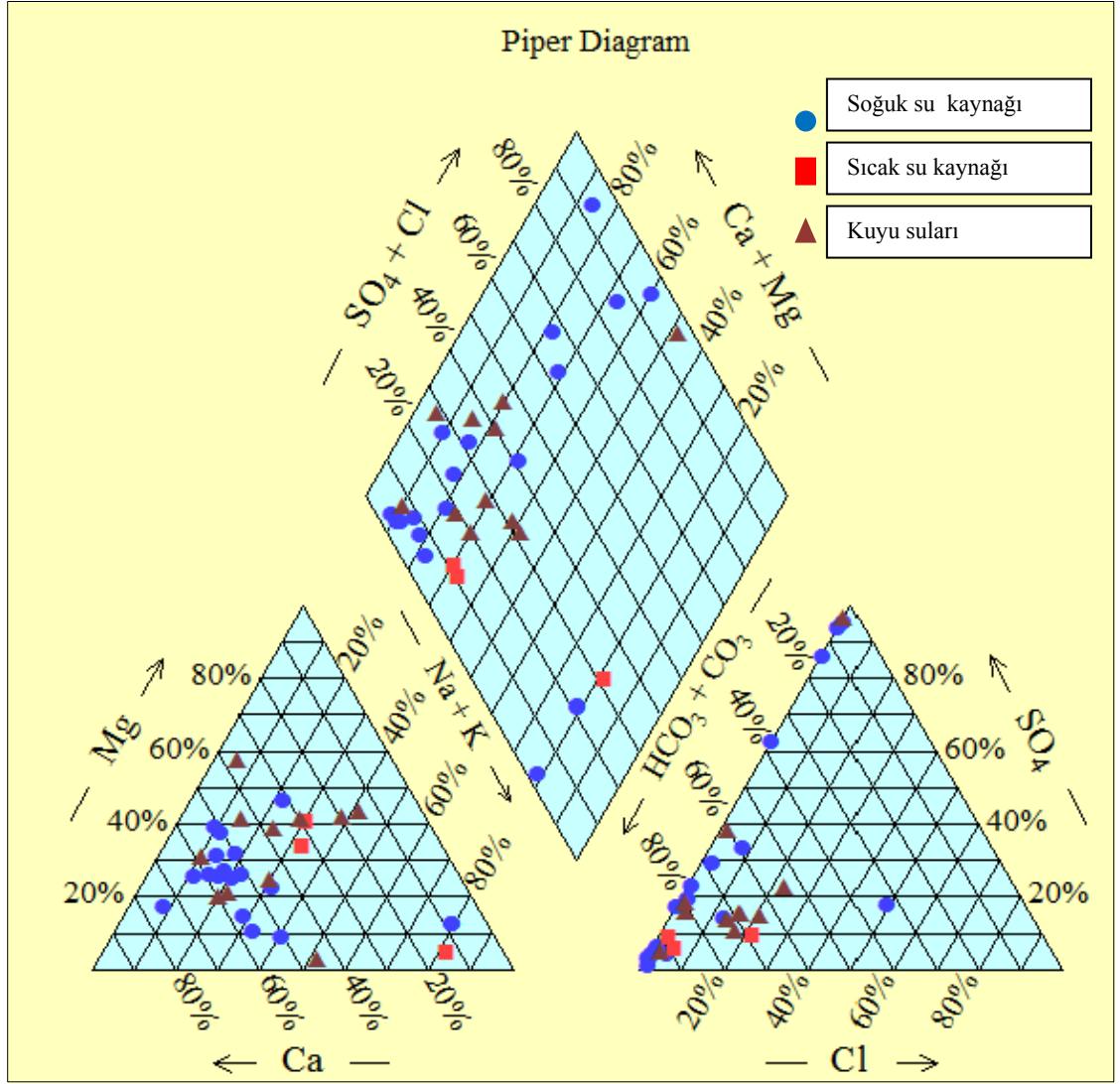
Tablo 4.32: Bu çalışma kapsamında basitleştirilmiş Piper Sınıflaması.

I Bölge	Karbonat olmayan sertliği %50'den fazla olan sulardır, Ca-SO ₄ 'lı jipsli yeraltısuları veya maden drenajı olarak tanımlanabilir.
II Bölge	Karbonat sertliği %50'den fazla olan sular, Ca-HCO ₃ 'lı sığ tatlı yeraltısulardır.
III Bölge	Karbonat olmayan alkalinitesi %50'den fazla olan sular, NaCl, KCl, Na ₂ SO ₄ , alkaliler ve güçlü asitler egemendir. Deniz suyu ve çok acı sular bu alanda yer alır. Genel olarak Na-Cl'li denizel veya derin eski yeraltısuları şeklinde tanımlanabilir.
IV Bölge	Karbonat alkalileri %50'den fazla olan sulardır. Doğada az rastlanan aşırı yumuşak sular bu alana girer. Genel olarak iyon değişiminin etki ettiği Na-HCO ₃ 'lı daha derin tatlı yeraltısuları şeklinde tanımlanabilir.



Şekil 4.71: Zilan Havzası'na (Erciş) ait soğuk ve sıcak su kaynaklarının Piper Diyagramındaki konumları.

Şekil 4.71'deki Piper diyagramında 111 ve 112 nolu sıcak su kaynaklarının katyon içeriği bakımından Na+K'ca, anyon içeriği bakımından ise Cl'ce zengin olduğu görülmektedir. Sıcak su kaynakları III nolu bölgede yer alan Na-Cl fasiyesindeki sulardır. Soğuk su kaynaklarında ise, tüm soğuk su kaynaklarının (1, 2, 4, 5, 6 ve 7 nolu kaynaklar) katyonları bakımından Ca'ca zengin, anyonları bakımından ise; HCO₃'çe zengin olduğu görülmektedir. Dolayısıyla soğuk su kaynakları; II nolu bölgede yer alan Ca-HCO₃ fasiyesindeki sulardır.

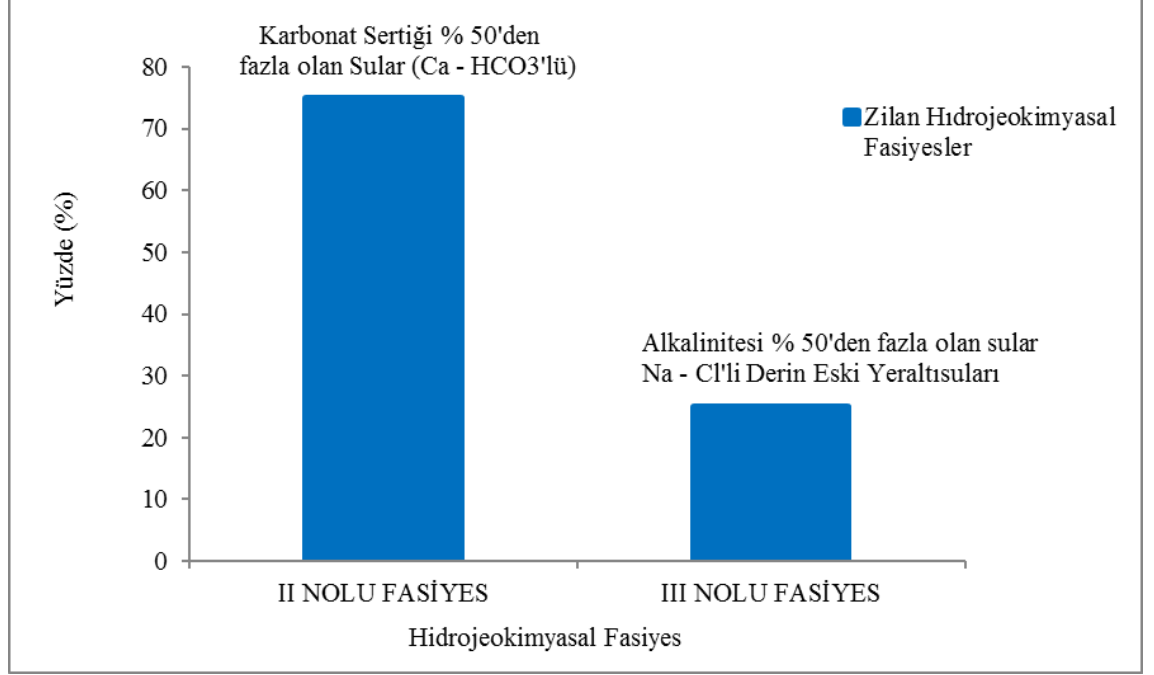


Şekil 4.72: Bendimahi (Muradiye-Çaldıran) Havzası'na ait soğuk ve sıcak su kaynakları ile kuyu sularının Piper Diyagramındaki konumu.

Şekil 4.72'deki Piper diyagramında görüldüğü gibi 13, 15, 20, 22 ve 26 nolu soğuk su kaynaklarında alkali toprak elementleri olan (Ca + Mg) katyonlarının (Na + K) katyon miktarından fazla olduğu kaynaklar olup, I nolu yer almaktadır. Ayrıca 122 nolu kuyu suyunun da I nolu bölgede yer aldığı görülmektedir.

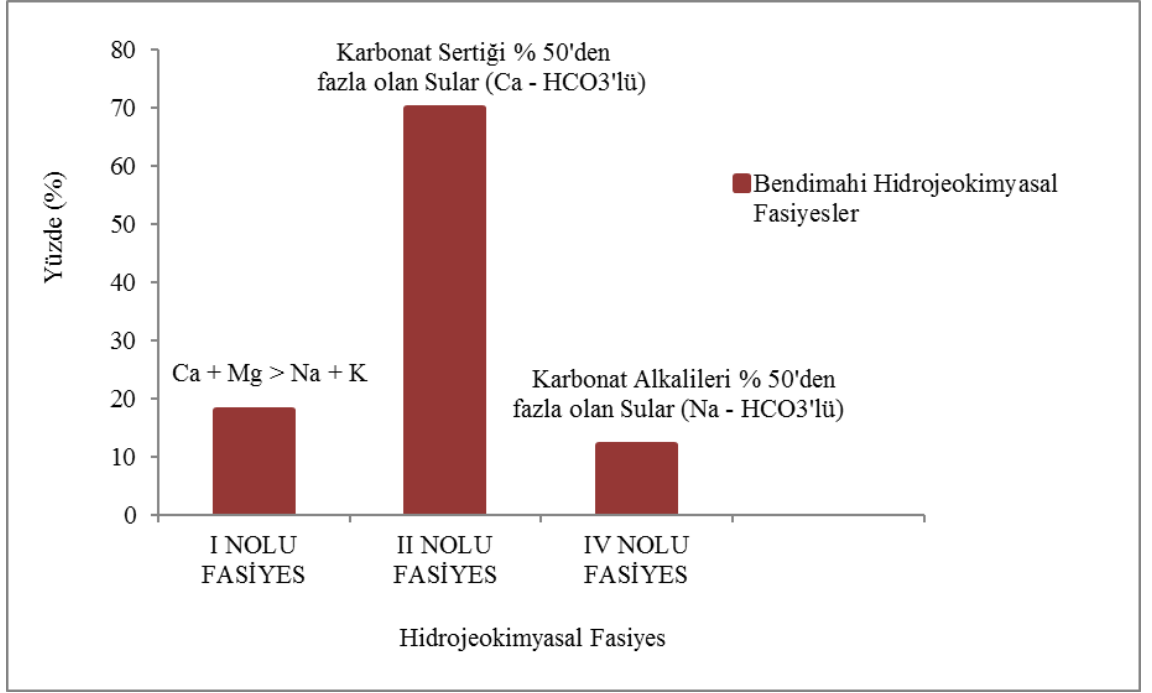
17, 18 ve 27 nolu soğuk su kaynakları ile 113 nolu sıcak su kaynağı, karbonat alkalileri % 50'den fazla ve Na-HCO₃'lü sular grubunda yer alan, IV nolu bölgede bulunmaktadır. Diğer tüm soğuk su kaynakları ve kuyu suları ile 114 ve 115 nolu sıcak su kaynakları, karbonat sertliği % 50'den fazla olan Ca-HCO₃'lü sular grubunda yer almakta olup, II nolu bölgede bulunmaktadır.

Zilan ve Bendimahi havzalarındaki hidrojeokimyasal fasiyeslerin, havza genelindeki yayılımı yüzde olarak değerlendirilmiştir. Zilan havzasındaki hidrojeokimyasal fasiyeslerden % 75'i (6 örnek) II nolu fasiyes (Ca-HCO₃'lı sular), % 25'inin (2 örnek) ise III nolu fasiyeste (Na-Cl'li sular) olduğu görülmüştür (Şekil 4.73).



Şekil 4.73: Zilan Havzasındaki hidrojeokimyasal fasiyeslerin alansal dağılımı.

Bendimahi havzasındaki hidrojeokimyasal fasiyeslerden % 70'inin (23 örnek) II nolu fasiyes (Ca-HCO₃'lı sular), % 18'inin (6 örnek) I nolu fasiyeste ((Ca + Mg) katyonlarının (Na + K) katyon miktarından fazla olduğu) ve % 12'sinin (4 örnek) IV nolu fasiyeste (Na-HCO₃'lü sular) olduğu görülmüştür (Şekil 4.74).

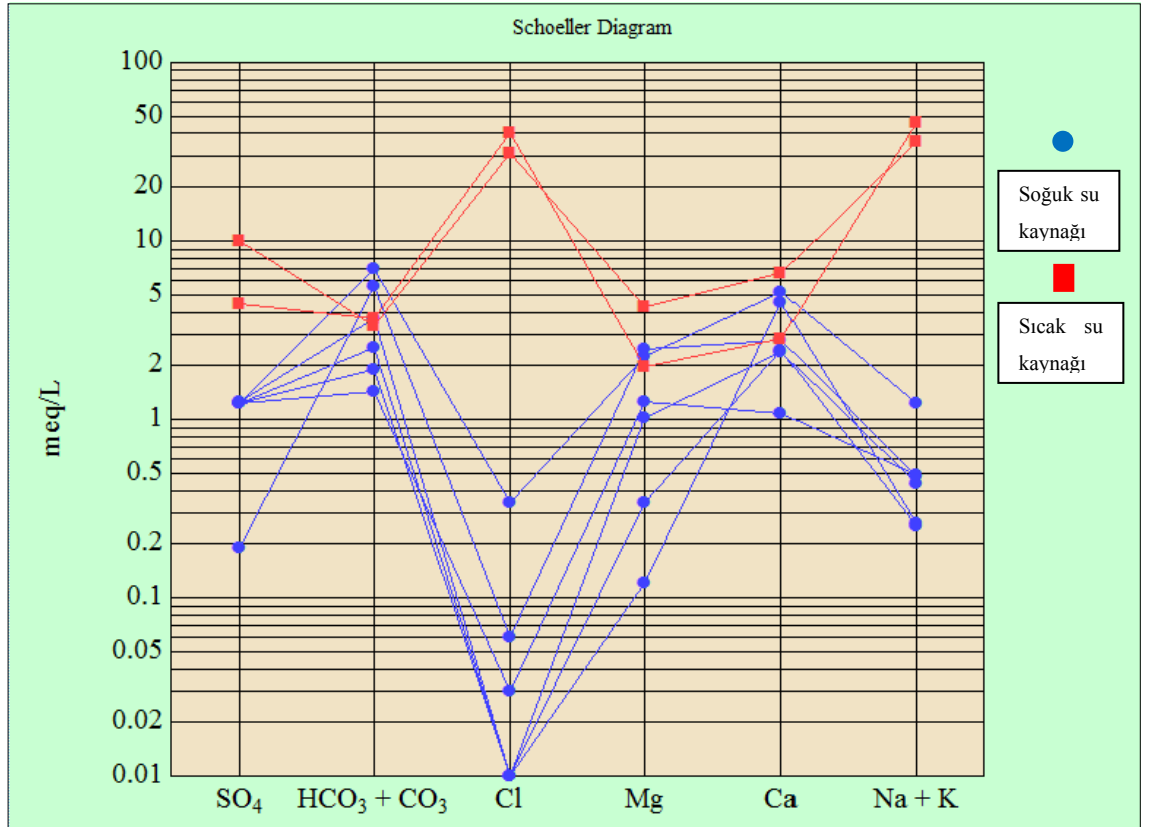


Şekil 4.74: Bendimahi Havzasındaki hidrojeokimyasal fasiyeslerin alansal dağılımı.

Ayrıca inceleme alanındaki sular Yarı Logaritmik Schoeller diyagramı kullanılarak da incelenmiştir. Doğal sulardaki ana iyonların meq/l değerleri dikkate alınarak en çok etkilendiği jeolojik birimler, Yarı Logaritmik Schoeller Diyagramı ile ortaya konur. Fransız bir hidrojeolog olan Henri Schoeller suların 6 temel kimyasal bileşenini meq/l olarak düşey bir logaritmik ekseninde gösterirken, bu değerlerin yatay eksenindeki iyonlarla kesişimini birleştiren farklı eğimdeki doğrular birleştirilerek, her su örneği analizi için karakteristik bir kırıklı çizgi sistemi oluşturur. Böylece benzer kökenli yani aynı akifer sisteminden gelen sular Schoeller diyagramında paralel çıkarken, farklı akifer sisteminden gelen sular bir paralellik arz etmediği gibi karakteristik eklenik açılı doğruları birbirlerini keserler veya aykırı açı değerlerinde görülürler. Schoeller diyagramına göre kökeni birbirine benzeyen, aynı hazneye ve beslenme alanına sahip sular benzer pik değerleri verirler.

Zilan (Erciş) ve Bendimahi (Muradiye-Çaldıran) havzaları için kökeni birbirine benzeyen ya da farklı kökene sahip suları aynı diyagramda görebilmek için hazırlanan yarı logaritmik Schoeller diyagramları, Şekil 4.75 ve Şekil 4.76'da verilmektedir. Şekil 4.75'deki yarı logaritmik Schoeller diyagramında, Zilan havzasındaki soğuk su kaynaklarının genel kimyasal yapısının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Tüm soğuk

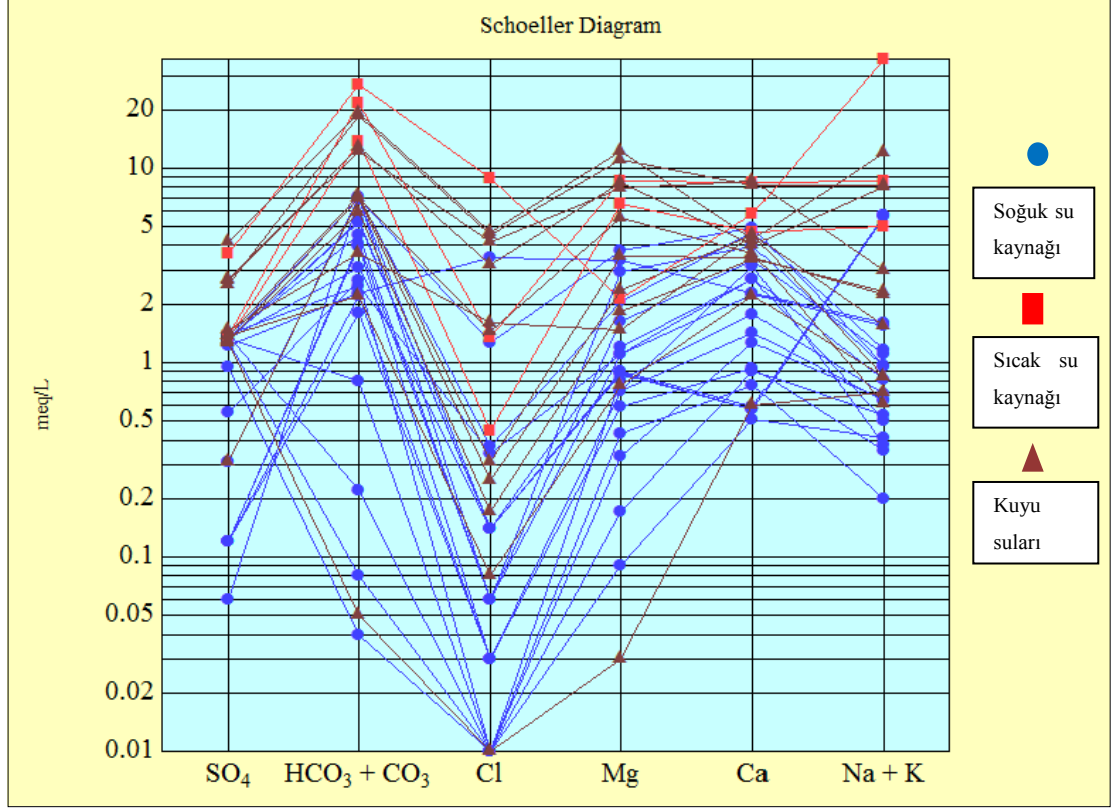
su kaynakları için katyonların dağılımında Ca'nın, anyon dağılımında ise HCO₃ pik yapmaktadır. Sıcak su kaynaklarında ise katyonların dağılımında Na+K, anyon dağılımında ise Cl'nin pik yaptığı görülmektedir. Zilan havzasında yer alan Hasanabdal sıcak su kaynağı ve Taşkapı sıcak su kaynağı, hem iyon içeriklerinin yüksek olması, hem de Na ve Cl içeriklerinin havza geneline göre önemli farklılıklar göstermesi nedeniyle soğuk su kaynaklarından ayrılmaktadır.



Şekil 4.75: Zilan Havzası (Erciş) soğuk ve sıcak su kaynaklarının yarı logaritmik Schoeller Diyagramı.

Şekil 4.76'daki Bendimahı havzasına ait yarı logaritmik Schoeller diyagramında, soğuk su kaynaklarının katyon dağılımı bakımından Ca'nın, anyon dağılımı bakımından ise HCO₃'ün pik yaptığı görülmektedir. Sıcak su kaynaklarındaki iyon dağılımı incelendiğinde, anyon içeriği bakımından 3 sıcak su kaynağında da HCO₃'ün, katyon içeriği bakımından ise, Ayrancılar sıcak su kaynağında Na+K'nın, diğer iki sıcak su kaynağında ise Mg'nin pik yaptığı görülmektedir. Dolayısıyla bu durum, Ayrancılar sıcak su kaynağının, diğer iki sıcak su kaynağından farklı bir akiferden boşaldığını

göstermektedir. Kuyu sularının iyon dağılımı incelendiğinde ise anyon dağılımı bakımından HCO_3 , katyon dağılımı bakımından ise yarısında Mg'nin, diğer yarısında ise Ca'nın pik yaptığı görülmektedir.



Şekil 4.76: Bendimahi Havzası (Muradiye-Çaldıran) soğuk ve sıcak su kaynakları ile kuyu sularının yarı logaritmik Schoeller Diyagramı.

Sonuç olarak, Zilan havzasındaki sular, hidrojeokimyasal fasiyeslerine göre 2 grupta toplanmıştır. 1. grup sular, II bölgesinde yer alan karbonat sertliği %50'den fazla olan Ca- HCO_3 fasiyesindeki Ca- HCO_3 'lı sığ tatlı yeraltısulardır. 2. grup sular ise III bölgesinde yer alan karbonat olmayan, alkalitesi %50'den fazla olan Na-Cl fasiyesindeki sıcak su kaynaklarıdır. Bendimahi havzasındaki sular ise; hidrojeokimyasal fasiyeslerine göre 3 grupta toplanmaktadır. 1. grup sular, II bölgesinde yer alan karbonat sertliği %50'den fazla olan Ca- HCO_3 fasiyesindeki Ca- HCO_3 'lı sığ tatlı yeraltısulardır. 2. grup sular, I bölgesinde yer alan (Ca + Mg) katyonlarının (Na + K) katyon miktarından fazla olduğu sulardır. 3. grup sular ise IV bölgesinde yer alan karbonat alkalileri % 50'den fazla ve Na- HCO_3 'lü sulardır. Bendimahi havzasındaki sıcak su kaynaklarından biri Na- HCO_3 -Cl tipi, diğer iki sıcak su kaynağı ise Mg-Ca-Na- HCO_3 tipi sulardır.

4.4.3. İyon Değişimi ve Çözünmüş İyonlar Arasındaki İlişkiler

4.4.3.1. İyon Değişimi

Yeraltısularının kayaçlar içerisindeki dolaşımı sırasında kimyasal bileşimindeki değişimlerin bilinmesi önem taşır. Yeraltısularının yeraltında kalış süresi ile dolaşımı esnasında ve dolaşım sırasındaki temas ettiği litoloji arasındaki ters iyon değişimi kloroalkalin (CAI-1, CAI-II) göstergeleri ile belirlenebilmektedir (Schoeller, 1965; Bozdağ, 2010).

$$CAI-I = [Cl - (Na + K)] / Cl \quad (4.9)$$

$$CAI-II = [Cl - (Na + K)] / (SO_4 + HCO_3 + CO_3 + NO_3) \quad (4.10)$$

Yeraltısuyunda Na^+ veya K^+ ile Mg^{+2} veya Ca^{+2} iyonları arasında bir değişim varsa CAI-I ve CAI-II değerlerinin her ikisi de pozitif değerler alır. Eğer yaygın olarak ters iyon değişimi varsa CAI-I ve CAI-II değerlerinin her ikisi de negatif bir değer alacaktır (Schoeller 1965). Dolayısıyla; CAI negatif olursa, kayaçlardaki kalsiyum ve magnezyum iyonları ile sulardaki sodyum ve potasyum iyonları arasında temel değişim olmaktadır. Eğer oran pozitif ise temel değişim yoktur ve reaksiyon, katyon-anyon değişim reaksiyonudur (Bozdağ, 2010). Ayrıca, Na/Cl oranına bakılarak da iyon değişimi olduğu anlaşılabilir. Na/Cl oranı 1 civarında veya üzerinde ise, iyon alışverişinden ve sodyumun silikat ayrışmasından kaynaklandığı kabul edilir göstermektedir (Meyback, 1987; Kumar ve diğ., 2006; Tay, 2012). Yeraltısularındaki çözünmüş bileşenlerin kaynağı, bireysel iyonların bolluğu, iyonik oranlar ve onların korelasyonlarına bakılarak değerlendirilebilir. Ca, Mg, SO_4 ve HCO_3 gibi iyonlar, kayacın mineralojisine bağlı olarak ayrışma sırasında suda zenginleşen majör iyonlardır. (Davraz ve Ünver, 2014). $(Ca + Mg) - (HCO_3 + SO_4)$ grafiğinde örnek noktaları 1:1 doğrusuna yakınsa kalsit, dolomit ve jips çözünürlüğünün baskın reaksiyon olduğunu gösterir. Örneklerin büyük bir çoğunluğu 1:1 denge çizgisinin altındaysa, bu durum iyon alışverişi ve ayrışma süreçlerinin baskın olduğunu göstermektedir (Davraz ve Ünver, 2014). SO_4 ve HCO_3 içeriklerinin fazlalığından dolayı noktalar sağa kayarsa iyon alışverişinin varlığını yansıtır (Cerling ve diğ., 1989; Datta ve Tyagi, 1996; Fisher ve Mulican, 1997). Eğer, ters iyon değişim prosesi varsa Ca ve Mg iyonlarının artışından dolayı noktalar sola kayacaktır (Singh ve diğ., 2011).

Bu çalışma kapsamında yapılan değerlendirmede, Zilan havzasındaki tüm soğuk su kaynakları (1, 2, 4, 5, 6 ve 7 nolu örnekler) ve sıcak su kaynaklarında (111 ve 112 nolu örnekler) CAI-I ve CAI-II değerlerinin her ikisi de negatif bulunmuştur. Dolayısıyla ters iyon değişimi vardır; yani kayalarındaki kalsiyum ve magnezyum iyonları ile sulardaki sodyum ve potasyum iyonları arasında temel değişim olmaktadır. Zilan havzasındaki tüm soğuk ve sıcak su örneklerinde Na/Cl oranı 1'in üzerindedir. Bu durum, iyon alışverişinden ve sodyumun silikat ayrışmasından kaynaklandığını göstermektedir (Tablo 4.33).

Bendimahi havzasındaki soğuk su örneklerinde yapılan değerlendirmede ise 19 ve 26 nolu soğuk su kaynakları ve 116, 121 ve 124 nolu kuyu sularında CAI-I ve CAI-II değerlerinin her ikisi de pozitif değerler almıştır. Bu durum, temel değişimin olmadığını ve reaksiyonun katyon-anyon değişim reaksiyonu olduğunu göstermektedir. Bendimahi havzasında 19 ve 26 nolu soğuk su kaynakları ve 116, 121, 124 nolu kuyu suları haricindeki diğer tüm örneklerde, CAI-I ve CAI-II değerlerinin her ikisi de negatif bulunmuştur. Burada da Zilan havzasındaki tüm örneklerde olduğu gibi, ters iyon değişimi vardır; yani kayalarındaki kalsiyum ve magnezyum iyonları ile sulardaki sodyum ve potasyum iyonları arasında temel değişim olmaktadır.

Tablo 4.33: Zilan Havzasındaki soğuk su kaynakları ve sıcak su kaynakları için hesaplanan CAI-I ve CAI-II değerleri.

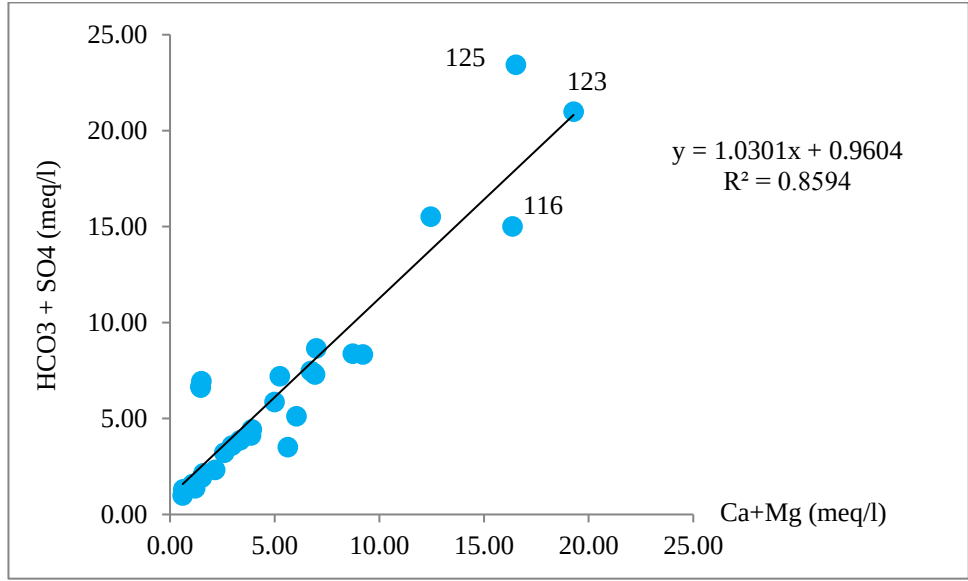
SOĞUK SU KAYNAKLARI	Örnek No	Örnek Yeri	Na (meq/l)	K (meq/l)	Na+K (meq/l)	HCO ₃ (meq/l)	Cl (meq/l)	SO ₄ (meq/l)	CO ₃ (meq/l)	NO ₃ (meq/l)	Na/Cl (meq/l)	CAI-I	CAI-II
	1	Zilan Havzası - Yukarışık Köyü	0.42	0.07	0.49	1.48	0.03	1.24	0.00	0.00	14.82	-16.37	-0.17
	2	Zilan Havzası - Taşkapı Köyü	1.18	0.04	1.22	7.05	0.34	1.24	0.00	0.01	3.48	-2.60	-0.11
	4	Zilan Havzası - Hasanabdal Mevki	0.38	0.10	0.49	5.38	0.06	0.19	0.00	0.03	6.79	-7.60	-0.08
	5	Zilan Havzası - Hasanabdal Mevki	0.38	0.06	0.44	2.51	0.01	1.22	0.00	0.02	27.27	-30.33	-0.11
	6	Zilan Havzası - Keklikırtı Köyü	0.18	0.08	0.26	3.49	0.01	1.26	0.00	0.01	12.50	-17.12	-0.05
	7	Zilan Havzası - Ağaçören Köyü	0.21	0.04	0.25	1.80	0.01	1.22	0.00	0.00	15.09	-16.95	-0.08
	111	Zilan H. - Hasanabdal Köyü	43.85	2.51	46.36	3.61	40.62	4.44	0.00	0.00	1.08	-0.14	-0.71
	112	Zilan H. -Taşkapı Köyü	33.80	2.10	35.90	3.51	31.20	9.91	0.00	0.00	1.08	-0.15	-0.35

Tablo 4.34: Bendimahi Havzasındaki soğuk su kaynakları için hesaplanan CAI-I ve CAI-II değerleri.

SOĞUK SU KAYNAKLARI	Örnek No	Örnek Yeri	Na (meq/l)	K (meq/l)	Na+K (meq/l)	HCO ₃ (meq/l)	Cl (meq/l)	SO ₄ (meq/l)	CO ₃ (meq/l)	NO ₃ (meq/l)	CAI-I	CAI-II	Na/Cl (meq/l)
	8	Bendimahi H. - Muradiye-Ovapınar K.	0.35	0.03	0.38	3.99	0.03	0.12	0.00	0.03	-12.55	-0.09	12.52
	9	Bendimahi H. - Muradiye-Köşkköy	0.75	0.20	0.95	6.98	0.06	0.31	0.00	0.09	-15.79	-0.12	13.29
	10	Bendimahi H. - Muradiye- Topuzarpa K.	0.45	0.05	0.51	4.07	0.06	0.12	0.00	0.05	-7.96	-0.11	8.04
	11	Bendimahi H. -Muradiye-Uluşar Köyü	1.12	0.05	1.17	7.17	0.37	0.31	0.00	0.07	-2.19	-0.11	3.05
	12	Bendimahi H. -Muradiye- Beydağı K.	0.65	0.04	0.69	2.66	0.01	0.56	0.00	0.03	-47.65	-0.21	45.87
	13	Bendimahi H. -Muradiye- Yumaklı Köyü	0.18	0.02	0.21	0.08	0.01	1.29	0.00	0.03	-13.62	-0.14	13.08
	14	Bendimahi H. -Muradiye-Merkez	0.87	0.68	1.54	2.48	0.34	1.39	0.00	0.11	-3.56	-0.30	2.56
	15	Bendimahi H. -Çaldıran -Ayrancılar Köyü	0.58	0.07	0.65	0.80	0.01	1.34	0.00	0.01	-44.99	-0.29	40.82
	16	Bendimahi H. - Çaldıran - Kalkandelen K.	0.93	0.17	1.10	4.51	0.06	1.36	0.00	0.04	-18.55	-0.18	16.56
	17	Bendimahi H. - Çaldıran - Yağlıbasan K.	5.36	0.33	5.69	5.36	0.14	1.31	0.00	0.01	-39.36	-0.83	38.02
	18	Bendimahi H. - Çaldıran - Altiyol Köyü	5.29	0.32	5.62	5.29	0.14	1.31	0.00	0.24	-38.84	-0.80	37.55
	19	Bendimahi H. - Çaldıran - Yeniyaka Köyü	0.92	0.04	0.96	7.05	1.27	1.33	0.00	0.04	0.25	0.04	0.72
	20	Bendimahi H. - Çaldıran - Alikelle Köyü	0.52	0.02	0.54	0.22	0.01	1.37	0.00	0.21	-37.15	-0.29	36.96
	21	Bendimahi H. - Çaldıran - Kilimli Köyü	0.68	0.14	0.83	3.10	0.14	1.33	0.00	0.07	-4.85	-0.15	4.83
	22	Bendimahi H. - Çaldıran - Kilimli Köyü	0.40	0.01	0.41	0.04	0.01	0.95	0.00	0.01	-28.31	-0.40	28.35
	24	Bendimahi H. - Çaldıran - Salhane Köyü	0.32	0.03	0.35	1.80	0.03	0.12	0.00	0.00	-12.65	-0.17	12.64
	25	Bendimahi H. - Çaldıran - Evciler Köyü	0.53	0.11	0.65	2.19	0.03	0.12	0.00	0.00	-24.51	-0.27	21.00
	26	Bendimahi H. - Çaldıran - Evciler K.	1.36	0.25	1.61	2.29	3.47	1.22	0.00	0.23	0.54	0.50	0.39
	27	Bendimahi H. - Çaldıran - Hanköy Köyü	5.43	0.33	5.76	6.88	0.14	0.06	0.00	0.24	-39.85	-0.78	38.54

Tablo 4.35: Bendimahi Havzasındaki kuyu suları ve sıcak su kaynakları için hesaplanan CAI-I ve CAI-II değerleri.

SICAK	Örnek No	Örnek Yeri	Na (meq/l)	K (meq/l)	Na+K (meq/l)	HCO ₃ (meq/l)	Cl (meq/l)	SO ₄ (meq/l)	CO ₃ (meq/l)	NO ₃ (meq/l)	CAI-I	CAI-II	Na/Cl (meq/l)
	113	Bendimahi H. -Çaldıran -Ayrancılar K.	31.49	4.99	36.48	26.94	8.91	3.62	0.00	0.01	-3.09	-0.90	3.53
	114	Bendimahi H. - Çaldıran - KoçovasıK.	7.30	1.24	8.54	21.57	1.35	1.38	0.00	0.01	-5.31	-0.31	5.39
KUYU SULARI	115	Bendimahi H. - Çaldıran -Buğulukaynak K.	4.30	0.68	4.98	13.70	0.45	1.33	0.00	0.00	-10.04	-0.30	9.53
	116	Muradiye - Ovapınar K.	2.86	0.11	2.97	12.32	4.20	2.69	0.00	0.28	0.29	0.08	0.68
	117	Muradiye - Kocasaban K.	1.98	0.27	2.25	7.28	0.31	1.37	0.00	0.04	-6.25	-0.22	6.37
	118	Muradiye - Uluşar K.	0.77	0.08	0.84	7.05	0.25	0.31	0.00	0.01	-2.32	-0.08	3.02
	119	Muradiye - Merkez -Fvz.Ckmak Mh.	2.14	0.18	2.31	5.90	0.17	1.30	0.00	0.03	-12.66	-0.30	12.62
	120	Çaldıran - Yassitepe Köyü	0.73	0.12	0.85	2.21	0.08	1.38	0.00	0.01	-9.07	-0.21	8.63
	121	Çaldıran - Yaykılıç Köyü	0.58	0.03	0.61	7.05	1.44	1.29	0.00	0.03	0.57	0.10	0.40
	122	Çaldıran - Kilimli Köyü	0.69	0.01	0.70	0.05	0.01	1.26	0.00	0.01	-48.91	-0.52	49.21
	123	Çaldıran - Koçovası Köyü	6.28	1.87	8.15	18.47	4.54	2.52	0.00	0.35	-0.79	-0.17	1.38
	124	Çaldıran - Doyumalan Köyü	0.70	0.86	1.56	3.66	1.61	1.46	0.00	0.00	0.03	0.01	0.44
	125	Çaldıran - Hanköy	11.60	0.50	12.10	19.29	4.68	4.14	0.00	0.00	-1.58	-0.32	2.48
	126	Çaldıran - Aşağıkuyucak Köyü	6.25	1.82	8.07	12.85	3.19	2.67	0.00	0.04	-1.53	-0.31	1.96



Şekil 4.77: Bendimahi Havzası soğuk su kaynakları ve kuyu sularına ait (Ca+Mg) - (HCO₃+SO₄) diyagramı.

Bendimahi havzasında 19 ve 26 nolu soğuk su kaynakları ve 116, 121, 124 nolu kuyu suları haricindeki diğer tüm örneklerde, Na/Cl oranı 1'in üzerindedir. Bu durum, iyon alışverişi sonucu kil minerallerindeki Na iyonlarının yeraltısuyundaki Ca iyonları ile yer değiştirdiğini göstermektedir. Bendimahi havzasındaki sıcak su kaynaklarının tümünde de Na/Cl oranı 1'in üzerindedir. (Tablo 4.34 ve Tablo 4.35).

Ayrıca Zilan ve Bendimahi havzasındaki soğuk su kaynakları ile kuyu sularından alınan örneklerle ait (Ca+Mg)-(HCO₃+SO₄) ilişkisi incelenmiştir. Zilan havzasındaki soğuk su kaynaklarında korelasyon katsayısı ($R = 0.99$) hesaplanmış olup, pozitif yönde iyi bir korelasyon ilişkisi sunmaktadır. Bu durum, kalsit, dolomit ve jips çözünürlüğünün baskın reaksiyon olduğunu gösterir. Bendimahi havzasındaki soğuk su kaynakları ve kuyu suları için hazırlanan (Ca+Mg)-(HCO₃+SO₄) grafiğinde örnek noktaları 1:1 doğrusuna yakındır. Bu durum, kalsit, dolomit ve jips çözünürlüğünün baskın reaksiyon olduğunu gösterir. Korelasyon katsayısı ($R = 0.92$) hesaplanmış olup, pozitif yönde iyi bir korelasyon ilişkisi sunmaktadır. Ca ve Mg iyonlarının artışından dolayı noktalar sola kaymıştır ve bu durum da ters iyon değişimi olduğunu doğrulamaktadır (Şekil 4.77).

Sonuç olarak Zilan havzasındaki soğuk su kaynakları ve sıcak su kaynaklarının tamamında ve Bendimahi havzasında ise soğuk su kaynakları, sıcak su kaynakları ve

kuyu sularından alınan örneklerin % 90'ında ters iyon değişimi olduğu görülmektedir. Dolayısıyla ters iyon değişimi, inceleme alanındaki yeraltısularını kontrol eden ana işlemdir. Ayrıca, Zilan ve Bendimahı havzalarındaki soğuk su kaynakları ve kuyu sularından alınan örneklerde kalsit, dolomit ve jips çözünürlüğünün baskın reaksiyon olduğu ve iyon alışverişi ve ayrışma süreçlerinin baskın olduğu görülmektedir. Hesaplanan CAI-I ve CAI-II değerleri ile Na/Cl oranları, Tablo 4.33, Tablo 4.34 ve Tablo 4.35'deki gibidir.

4.4.3.2. Çözünmüş İyonlar Arasındaki İlişkiler

Çözünmüş iyonlar arasındaki ilişkiler 2 araştırma yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Birincisi, bazı iyonlar arasındaki oranların hesaplanması yöntemidir. İkincisi ise; bileşenlerin doğrusallık ilişkisinin regresyon analizi ve Pearson korelasyon katsayısı kullanılarak belirlenmesidir. İyonlar arasındaki oranın hesaplanma amacı, bileşenlerin hangi kökenden ne şekilde geldiğinin tespit edilmesi içindir. Bu çalışma kapsamında; Ca/Mg, Na/Ca, K/Cl, Na/Cl HCO₃/ (HCO₃+SO₄) ve Mg/Ca oranları hesaplanarak, iyonlar arasında ilişki belirlenmeye çalışılmıştır (Tablo 4.36, Tablo 4.37, Tablo 4.38). Regresyon analizlerinin amacı ise bileşenler arasındaki doğrusallık ilişkisinin tespit edilerek, elementlerin sudaki davranışlarının belirlenmesidir. $y = a + bx$ şeklinde tanımlanan bir doğruya a doğrunun y eksenindeki kestiği noktayı, b ise doğrunun eğimini yansıtmaktadır. Yani a sabit katsayı, b ise eğim katsayısı şeklinde de adlandırılır. Doğrunun iyi bir doğrusallık ilişkisinde olup olmadığı, hesaplanan korelasyon katsayılarının (R) değerlendirilmesiyle anlaşılmaktadır (Tarcın, 2003). Pearson korelasyon katsayısı, -1 ile +1 arasında değişen değerler alır ($-1 \leq R \leq +1$). Katsayı, ilişkinin olmadığı durumda 0, tam ve kuvvetli bir ilişki varsa 1, ters yönlü ve tam bir ilişki varsa -1 değerini alır (Çömlekçi, 1989; Orhunbilge, 1996; Bahadır, 2011). Korelasyon katsayısının +1 olması değişkenler arasında doğru yönlü tam bir ilişkinin olduğunu gösterirken, bir değişken hangi oranda arttı ya da azaldıysa diğer değişken de aynı oranda artmış ya da azalmış demektir. Buna karşılık korelasyon katsayısının -1 olması, değişkenler arasında ters yönlü tam bir ilişkinin olduğunu gösterirken, bir değişken hangi oranda arttı ise diğer değişken de aynı oranda azalmış demektir. Korelasyon katsayısının sıfır olması (R=0), değişkenler arasında hiçbir ilişkinin olmadığını gösterir. Korelasyon katsayısı; R, n = gözlem sayısı, x ve y ise korelasyonu yapılacak değerler olmak üzere aşağıdaki formül ile hesaplanır (Çömlekçi, 1989; Orhunbilge, 1996).

$$R = \frac{n(\Sigma xy) - (\Sigma x)(\Sigma y)}{\sqrt{[n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2][n(\Sigma y^2) - (\Sigma y)^2]}} \quad (4.11)$$

Bu çalışma kapsamında Zilan havzasındaki soğuk su kaynakları ile Bendimahi havzasındaki soğuk su kaynakları ve kuyu suları için ayrı olmak üzere elementler arasındaki ilişkiyi belirlemek için korelasyon matrisleri hazırlanmıştır. Hazırlanan korelasyon matrisleri Tablo 4.39 ve Tablo 4.40'da verilmektedir.

Ca/Mg oranı, yeraltısuyundaki Ca ve Mg'nin kökenini belirlemek için önemlidir. Oranın 1 olması yeraltısuyuna Ca ve Mg sağlanmasında dolomit ayrışmasının, 1 ve 2 arasında olması kalsit ayrışmasının egemen olduğunu, 2'den büyük olması ise, silikat minerallerinin etkisi olduğunu yani; Ca ve Mg iyonlarının sağlanmasında silikat ayrışmasının egemen olduğunu gösterir (Raju ve diğ., 2015). Na/Ca oranının 1'den büyük olması, CaCO₃ çökelişi ya da iyon değişim süreçlerinden dolayı Ca'nın eksik olduğunu belirtir (Patel ve diğ., 2016). K/Cl oranının 0.2'den büyük olması, yeraltısuyundaki potasyum için potasyum feldispat ayrışmasını ifade eder. K/Cl oranının 0.2'den küçük olması ise potasyumun elde edilmesinde silikat ayrışmasının önemli bir rol oynamadığını gösterir (Patel ve diğ., 2016). Na/Cl oranının 1'den büyük olması, silikat ayrışmasında sodyumun katkısını açıklamak için kullanılır (Meyback, 1987). Dolayısıyla; Na/Cl oranı 1 civarında veya üzerinde ise iyon alışveriş proseslerine işaret eder ve sodyumun, silikat ayrışmasından kaynaklandığını gösterir (Meyback, 1987; Kumar ve diğ., 2006; Tay, 2012). Na- Cl arasındaki korelasyon ilişkisi ise yarı-kurak bölgelerdeki tuz girişimleri ve tuzun elde edilmesindeki mekanizmayı belirlemek için kullanılır (Sami, 1992). Na-Cl arasındaki korelasyon ilişkisinde, pozitif korelasyon ve iyi bir doğrusallık ilişkisi varsa, bu durum yeraltısuyundaki Na ve Cl'nin klorit tuzlarının ayrışmasından kaynaklanabileceğine işaret eder (Patel ve diğ., 2016). Eğer yeraltısuyu örneklerinin çoğunda HCO₃/ (HCO₃+SO₄) oranı 0.5'ten büyükse, proton üretimini sağlayan asıl şey karbonik asit ayrışmasıdır (Patel ve diğ., 2016). Ca-SO₄ arasındaki korelasyon ilişkisinde, pozitif bir korelasyonun görülmesi, Ca'nın kaynağının yeraltısuyundaki jips çözünmesi olabileceğini gösterir (Patel ve diğ., 2016). Ca-Cl ve Mg-Cl arasındaki korelasyon ilişkisinde, pozitif bir korelasyon ve iyi bir doğrusallık ilişkisinin görülmesi, yeraltısuyundaki Ca ve Cl iyonlarının sağlanmasında CaCl₂ minerallerinin, Mg ve Cl

iyonlarının sağlanmasında da $MgCl_2$ minerallerinin varlığını göstermektedir (Patel ve diğ., 2016). Mg ve Na arasındaki korelasyon ilişkisinde pozitif bir ilişkinin olması, iki iyonun da yeraltısuyundaki silikat ayrışma sürecinden kaynaklanabileceğini gösterir (Patel ve diğ., 2016). Na ve HCO_3^- arasında pozitif korelasyon ve iyi bir doğrusallık ilişkisinin olması, HCO_3^- 'ün büyük bir kısmının karbonatlı kayalardan geldiğini ve silikatlı kayaların ayrışması sonucunda su tipinin Na- HCO_3 olduğunu gösterir. Örneğin, albit ($NaAlSi_3O_8$) yeraltısuyundaki sodyumu sağlayabilir (Patel ve diğ., 2016). Reaksiyon aşağıdaki gibidir:



Suda çözünmüş iyonlar, ortak bir kökenden gelmişse (Na_2SO_4 , K_2SO_4 , NaCl, KCl gibi), sudaki Cl ve SO_4 'ün artışıyla birlikte eş zamanlı olarak alkali elementlerde de artış görülür (Patel ve diğ., 2016). Mg/Ca oranı ile Na/Ca oranı arasındaki korelasyon ilişkisi değerlendirilirken, suyun oda sıcaklığı altında kalsit ve dolomitte dengede olma durumuna göre bir değerlendirme yapılır. Suyun oda sıcaklığı altında kalsit ve dolomitte dengede olması için ideal Mg/Ca oranı 0.8'dir (Appelo ve Postma, 1996). Örneklerin çoğunda Mg/Ca oranı 0.8'in altındaysa, yeraltısuyunun kalsit ve dolomitte eş zamanlı olarak dengede olabileceğini gösterir. Örneklerin çoğunda Mg/Ca oranı 0.8'in üstündeyse, yeraltısuyuna dolomit katkısı olduğunu gösterir (Han ve Liu, 2004).

Zilan Havzası Soğuk Su Kaynaklarındaki Çözünmüş İyonlar Arası İlişkiler

Zilan havzası soğuk kaynağı örneklerindeki Ca/Mg oranı, 0.86 ile 38.98 arasında değişmekte olup, ortalama değer 8.80'dir. Zilan havzası soğuk kaynağı örneklerinden 1 nolu örnekte Ca/Mg oranı 1'e yakın bir değer olup, dolomit ayrışması olabileceğini göstermektedir. 4 nolu örnekte Ca/Mg oranı 1 ile 2 arasında bir değerdir ve kalsit ayrışmasının egemen olduğunu gösterir. Geri kalan diğer örneklerde ise (tüm örneklerin % 66'sı) oran 2'den büyüktür ve silikat minerallerinin etkisini yansıtır. Zilan havzası soğuk kaynağı örneklerindeki Na/Ca oranı, 0.04 ile 0.39 arasında değişmekte olup, ortalama değer 0.17'dir. Örneklerin hiçbirinde Na/Ca oranı 1'den büyük değildir. Dolayısıyla Ca eksikliği söz konusu değildir. Zilan havzası soğuk su kaynağı örneklerindeki K/Cl oranı, 0.13 ile 5.62 arasında değişmekte olup, ortalama değer

2.84'tür. Örneklerin % 83'ünde K/Cl oranı 0.2'den büyük, dolayısıyla potasyum feldispat ayrışması bulunmaktadır. Örneklerden sadece 2 nolu örnekte (% 17) ise K/Cl oranı 0.2'den küçüktür. Bu durum, 2 nolu örnekte potasyumun zenginleşmesinde silikat ayrışmasının önemli bir rol oynamadığını gösterir. Zilan havzası soğuk su kaynaklarında, örneklerin çoğunda Mg/Ca oranı 0.8'in altında olduğundan, yeraltısuyunun kalsit ve dolomitte eş zamanlı olarak dengede olabileceği düşünülmektedir. Zilan havzası soğuk kaynağı örneklerinin tamamında Na/Cl oranı, 1'in üzerindedir. Dolayısıyla sodyum, silikat ayrışmasından kaynaklanmaktadır. Na-Cl arasındaki korelasyon ilişkisinde ise pozitif korelasyon ve iyi bir doğrusallık ilişkisi ($R = 0.97$) bulunmaktadır ve bu durum yeraltısuyundaki Na ve Cl'nin klorit tuzlarının ayrışmasından kaynaklanabileceğine işaretir.

Tablo 4.36: Zilan Havzası soğuk su kaynaklarındaki anyon ve katyon oranları (meq/l).

Örnek No	Ca	Mg	HCO ₃	Na	K	SO ₄	Cl	Ca/Mg	Mg/Ca	Na/Ca	Na/Cl	K/Cl	HCO ₃ /HCO ₃ +SO ₄
1	1.08	1.25	1.48	0.42	0.07	1.24	0.03	0.86	1.16	0.39	14.82	2.56	0.54
2	5.20	2.26	7.05	1.18	0.04	1.24	0.34	2.30	0.43	0.23	3.48	0.13	0.85
4	2.75	2.49	5.38	0.38	0.10	0.19	0.06	1.10	0.91	0.14	6.79	1.80	0.97
5	2.36	1.01	2.51	0.38	0.06	1.22	0.01	2.34	0.43	0.16	27.27	4.06	0.67
6	4.49	0.12	3.49	0.18	0.08	1.26	0.01	38.98	0.03	0.04	12.50	5.62	0.73
7	2.45	0.34	1.80	0.21	0.04	1.22	0.01	7.20	0.14	0.09	15.09	2.87	0.59
Min	1.08	0.12	1.48	0.18	0.04	0.19	0.01	0.86	0.03	0.04	3.48	0.13	0.54
Max	5.20	2.49	7.05	1.18	0.10	1.26	0.34	38.98	1.16	0.39	27.27	5.62	0.97
Ort	3.05	1.24	3.62	0.46	0.07	1.06	0.08	8.80	0.51	0.17	13.32	2.84	0.73

Zilan havzası soğuk su kaynaklarının tümünde HCO₃ / (HCO₃+SO₄) oranı 0.5'ten büyüktür ve proton üretimini sağlayan asıl şey karbonik asit ayrışmasıdır (Patel ve diğ, 2016). Ca-Cl arasındaki korelasyon ilişkisinde, pozitif bir korelasyon ve iyi bir doğrusallık ilişkisinin ($R = 0.66$) görülmesi, yeraltısuyundaki Ca ve Cl iyonlarının sağlanmasında CaCl₂ minerallerinin varlığını göstermektedir. Mg ve Na arasındaki korelasyon ilişkisinde pozitif bir ilişki ve iyi bir doğrusallık ilişkisinin olması ($R = 0.67$), iki iyonun da yeraltısuyundaki silikat ayrışma sürecinden kaynaklanabileceğini gösterir. Korelasyon ilişkileri ile ilgili bazı grafikler Ek 4'de verilmiştir.

Zilan Havzası Sıcak Su Kaynaklarındaki Çözünmüş İyonlar Arası İlişkiler

Zilan havzasında 2 sıcak su kaynağı olup, 111 nolu Hasanabdal ve 112 nolu Taşkapı kaynaklarının ikisinde de Ca/Mg oranlarının 1 ile 2 arasında olduğu görülmüştür. Dolayısıyla söz konusu kaynaklarda kalsit ayrışmasının egemen olduğu görülmektedir.

Zilan havzasındaki 111 nolu Hasanabdal ve 112 nolu Taşkapı kaynaklarının ikisinde de Na/Ca oranı 1'den büyüktür. Na/Ca oranının 1'den büyük olması, CaCO_3 çökelişi ya da iyon değişim süreçlerinden dolayı Ca'nın eksik olduğunu gösterir. Zilan havzasındaki 111 nolu Hasanabdal ve 112 nolu Taşkapı kaynaklarının ikisinde de Na/Cl oranı, 1'in üzerindedir. Dolayısıyla sodyum, silikat ayrışmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca sıcak suların ikisinde de K/Cl oranı 0.2'den küçüktür. K/Cl oranının 0.2'den küçük olması ise potasyumun elde edilmesinde silikat ayrışmasının önemli bir rol oynamadığını gösterir. Cl iyonu diğer anyonlara göre daha yüksektir. Cl iyonunun çok yüksek olması, söz konusu suların yeraltında kalış süresinin; yani su-kayaç etkileşim süresinin daha fazla veya söz konusu suların derin dolaşıma sahip sular olduğunun göstergesidir. Zilan havzası sıcak su kaynaklarında $\text{HCO}_3^- / (\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ oranı 0.5'ten küçüktür, dolayısıyla proton üretimini sağlayan asıl şey karbonik asit ayrışması değildir (Tablo 4.37). Zilan havzası sıcak su kaynaklarının ikisinde de, Mg/Ca oranı 0.8'in altında olduğundan, yeraltısuyunun kalsit ve dolomitte eş zamanlı olarak dengede olabileceği belirtilebilir.

Tablo 4.37: Zilan Havzası sıcak su kaynaklarındaki anyon ve katyon oranları (meq/l).

Örnek No	Ca	Mg	HCO_3^-	Na	K	SO_4^{2-}	Cl	Ca/Mg	Mg/Ca	Na/Ca	Na/Cl	K/Cl	$\text{HCO}_3^- / (\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$
111	2.84	1.98	3.61	43.85	2.51	4.44	40.62	1.44	0.70	15.45	1.08	0.06	0.45
112	6.55	4.28	3.51	33.80	2.10	9.91	31.20	1.53	0.65	5.16	1.08	0.07	0.26
Min	2.84	1.98	3.51	33.80	2.10	4.44	31.20	1.44	0.65	5.16	1.08	0.06	0.26
Max	6.55	4.28	3.61	43.85	2.51	9.91	40.62	1.53	0.70	15.45	1.08	0.07	0.45
Ort	4.70	3.13	3.56	38.83	2.30	7.17	35.91	1.48	0.67	10.30	1.08	0.06	0.35

Bendimahı Havzası Soğuk Su Kaynakları ve Kuyu Sularındaki Çözülmüş İyonlar Arası İlişkiler

Bendimahı havzası soğuk su kaynakları ve kuyu suları için hesaplanan Ca/Mg oranına bakıldığında; Ca/Mg oranının 0.35 ile 17.66 arasında olduğu, ortalama değerin ise 2.48 olduğu görülmektedir. Bendimahı havzasındaki soğuk su kaynakları ve kuyu sularından oluşan örneklerin % 6'sı 1 veya 1'e yakın oranda olup, dolomit ayrışmasının olabileceğini gösterir. Söz konusu örneklerin % 26'sı 1 ve 2 arasında orana sahip olup, kalsit ayrışmasının egemen olduğu göstermektedir. % 43'ünde Ca/Mg oranı 2'den büyüktür, Ca ve Mg iyon katkısında silikat ayrışmasının egemen olduğunu göstermektedir. Geri kalan % 25'inde ise Ca/Mg oranı 1'in altında bir değere sahiptir. Ayrıca, Bendimahı havzası soğuk kaynağı ve kuyu sularında, Ca-Mg arasındaki korelasyon ilişkisine bakılmış ve Ca

ve Mg arasında pozitif korelasyon ($R = 0.73$) ve iyi bir doğrusallık ilişkisi görülmüştür. Bu durum, yeraltısuyundaki Ca ve Mg'nin dolomitten kaynaklandığını göstermektedir. Bendimahı havzası soğuk su kaynakları ve kuyu suları için hesaplanan Na/Ca oranına bakıldığında; Na/Ca oranının 0.11 ile 9.33 arasında değiştiği ve ortalamanın 1.40 olduğu görülmektedir. Örneklerin % 80'inde Na/Ca oranı 1'den küçüktür. Bu durum Ca eksikliğinin olmadığını gösterir. Kalan % 20 örnekte ise; Na/Ca oranı 1'den büyüktür. Dolayısıyla örneklerin % 20'sinde CaCO_3 çökelişi ya da iyon değişim süreçlerinden dolayı Ca'nın eksik olduğu görülür. Bendimahı havzası soğuk su kaynakları ve kuyu suları için hesaplanan K/Cl oranına bakıldığında; 0.02 ile 5.17 arasında değiştiği görülmekte olup, ortalama değer 1.40'tır. Örneklerin % 80'inde K/Cl oranı 0.2'den büyük, dolayısıyla potasyumu sağlayan faktörün potasyum feldispat ayrışması olduğu görülmektedir. Örneklerin % 20'sinde ise; K/Cl oranı 0.2'den küçüktür. Dolayısıyla, söz konusu örneklerdeki potasyumun elde edilmesinde silikat ayrışmasının önemli bir rol oynamadığını gösterir. Bendimahı havzası soğuk su kaynakları ve kuyu suları için hesaplanan Na/Cl oranına bakıldığında; Na/Cl oranının 0.39 ile 49.21 arasında değiştiği görülmekte olup, ortalama değer 15.40'tır. Örneklerin % 83'ünde Na/Cl oranı 1'den büyüktür ve sodyum, silikat ayrışmasından kaynaklanmaktadır. Örneklerin kalan % 17'sinde ise Na/Cl oranı 1'den küçüktür ve bu örneklerde sodyum, silikat ayrışmasından kaynaklanmamaktadır. Na - Cl arasındaki korelasyon ilişkisinde ise; pozitif korelasyon ve iyi bir doğrusallık ilişkisi ($R = 0.63$) bulunmaktadır. Bendimahı havzası soğuk su kaynakları ve kuyu sularının % 73'ünde, $\text{HCO}_3^- / (\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ oranı 0.5'ten büyüktür ve proton üretimini sağlayan asıl şey karbonik asit ayrışmasıdır (Tablo 4.38). Ca-Cl ve Mg-Cl arasındaki korelasyon ilişkisinde, pozitif bir korelasyon ve iyi bir doğrusallık ilişkisinin görülmesi ($R = 0.68$ ve $R = 0.91$), yeraltısuyundaki Ca ve Cl iyonlarının sağlanmasında CaCl_2 minerallerinin, Mg ve Cl iyonlarının sağlanmasında da MgCl_2 minerallerinin varlığını göstermektedir. Mg ve Na arasındaki korelasyon ilişkisinde pozitif korelasyon ve iyi bir doğrusallık bir ilişkinin olması ($R = 0.70$), iki iyonun da yeraltısuyundaki silikat ayrışma sürecinden kaynaklanabileceğini gösterir. Bendimahı havzası soğuk su kaynakları ve kuyu sularında Cl+SO₄ ile Na+K arasındaki korelasyon ilişkisinde, pozitif yönde iyi bir doğrusallık ilişkisi ($R = 0.71$) görülmüş ve bu durum suda çözünmüş iyonların büyük bir kısmının aynı kökenden geldiğini göstermiştir. Fakat

altındadır. Örneklerin büyük bir kısmında Mg/Ca oranı 0.8'in altında olduğundan, söz konusu örneklerde yeraltısuyunun kalsit ve dolomitte eş zamanlı olarak dengede olabileceği belirtilebilir. Korelasyon ilişkileri ile ilgili bazı grafikler Ek 4'de verilmiştir.

Tablo 4.38: Bendimahi Havzası soğuk su kaynakları ve kuyu sularındaki anyon ve katyon oranları (meq/l).

Örnek No	Ca	Mg	HCO ₃	Na	K	SO ₄	Cl	Ca/Mg	Mg/Ca	Na/Ca	Na/Cl	K/Cl	HCO ₃ /HCO ₃ +SO ₄
8	3.15	0.72	3.99	0.35	0.03	0.12	0.03	4.35	0.23	0.11	12.52	1.03	0.97
9	3.99	2.93	6.98	0.75	0.20	0.31	0.06	1.36	0.73	0.19	13.29	3.50	0.96
10	2.71	1.10	4.07	0.45	0.05	0.12	0.06	2.47	0.40	0.17	8.04	0.92	0.97
11	4.66	2.07	7.17	1.12	0.05	0.31	0.37	2.26	0.44	0.24	3.05	0.13	0.96
12	1.77	0.82	2.66	0.65	0.04	0.56	0.01	2.17	0.46	0.37	45.87	2.78	0.83
13	0.76	0.43	0.08	0.18	0.02	1.29	0.01	1.75	0.57	0.24	13.08	1.54	0.06
14	2.25	1.10	2.48	0.87	0.68	1.39	0.34	2.05	0.49	0.38	2.56	2.01	0.64
15	1.26	0.33	0.80	0.58	0.07	1.34	0.01	3.80	0.26	0.46	40.82	5.17	0.37
16	3.35	1.64	4.51	0.93	0.17	1.36	0.06	2.05	0.49	0.28	16.56	2.99	0.77
17	0.57	0.88	5.36	5.36	0.33	1.31	0.14	0.65	1.53	9.33	38.02	2.34	0.80
18	0.57	0.89	5.29	5.29	0.32	1.31	0.14	0.64	1.55	9.25	37.55	2.30	0.80
19	4.97	3.76	7.05	0.92	0.04	1.33	1.27	1.32	0.76	0.18	0.72	0.03	0.84
20	0.91	0.17	0.22	0.52	0.02	1.37	0.01	5.30	0.19	0.57	36.96	1.20	0.14
21	2.69	1.21	3.10	0.68	0.14	1.33	0.14	2.22	0.45	0.25	4.83	1.02	0.70
22	0.51	0.09	0.04	0.40	0.01	0.95	0.01	5.43	0.18	0.79	28.35	0.96	0.04
24	0.93	0.59	1.80	0.32	0.03	0.12	0.03	1.58	0.63	0.35	12.64	1.01	0.93
25	1.43	0.72	2.19	0.53	0.11	0.12	0.03	1.97	0.51	0.37	21.00	4.50	0.95
26	2.27	3.36	2.29	1.36	0.25	1.22	3.47	0.67	1.48	0.60	0.39	0.07	0.65
27	0.59	0.91	6.88	5.43	0.33	0.06	0.14	0.64	1.55	9.27	38.54	2.31	0.99
116	8.52	7.85	12.32	2.86	0.11	2.69	4.20	1.09	0.92	0.34	0.68	0.03	0.82
117	3.49	3.50	7.28	1.98	0.27	1.37	0.31	1.00	1.00	0.57	6.37	0.88	0.84
118	4.54	2.34	7.05	0.77	0.08	0.31	0.25	1.94	0.51	0.17	3.02	0.30	0.96
119	3.42	1.82	5.90	2.14	0.18	1.30	0.17	1.88	0.53	0.62	12.62	1.04	0.82
120	2.19	0.77	2.21	0.73	0.12	1.38	0.08	2.83	0.35	0.33	8.63	1.45	0.62
121	3.62	5.59	7.05	0.58	0.03	1.29	1.44	0.65	1.54	0.16	0.40	0.02	0.85
122	0.60	0.03	0.05	0.69	0.01	1.26	0.01	17.66	0.06	1.16	49.21	0.71	0.04
123	8.20	11.08	18.47	6.28	1.87	2.52	4.54	0.74	1.35	0.77	1.38	0.41	0.88
124	4.57	1.47	3.66	0.70	0.86	1.46	1.61	3.11	0.32	0.15	0.44	0.53	0.71
125	4.32	12.20	19.29	11.60	0.50	4.14	4.68	0.35	2.82	2.68	2.48	0.11	0.82
126	4.06	8.39	12.85	6.25	1.82	2.67	3.19	0.48	2.07	1.54	1.96	0.57	0.83
Min	0.51	0.03	0.04	0.18	0.01	0.06	0.01	0.35	0.06	0.11	0.39	0.02	0.04
Max	8.52	12.20	19.29	11.60	1.87	4.14	4.68	17.66	2.82	9.33	49.21	5.17	0.99
Ort	2.89	2.63	5.44	2.04	0.29	1.21	0.89	2.48	0.81	1.40	15.40	1.40	0.72

Tablo 4.39: Zilan Havzası soğuk su kaynaklarındaki anyon ve katyon korelasyon matrisi.

	Ca	Mg	K	Na	CO ₃	HCO ₃	Cl	F	PO ₄	SO ₄	NO ₃	pH	EC
Ca	1												
Mg	0.11	1											
K	0.17	0.27	1										
Na	0.51	0.67	0.37	1									
CO ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	1								
HCO ₃	0.76	0.72	0.09	0.74	0.00	1							
Cl	0.66	0.61	0.37	0.97	0.00	0.81	1						
F	0.01	0.28	0.45	0.69	0.00	0.12	0.61	1					
PO ₄	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1				
SO ₄	0.11	0.63	0.73	0.09	0.00	0.38	0.08	0.46	0.00	1			
NO ₃	0.12	0.53	0.54	0.03	0.00	0.47	0.00	0.56	0.00	0.72	1		
pH	0.19	0.37	0.22	0.60	0.00	0.04	0.44	0.90	0.00	0.33	0.31	1	
EC	0.42	0.87	0.13	0.91	0.00	0.83	0.87	0.44	0.00	0.27	0.38	0.44	1

*Koyu renkle yazılı değerler, iyi bir doğrusallık ilişkisinin olduğu değerleri gösterir.

Tablo 4.40: Bendimahi Havzası soğuk su kaynakları ve kuyu sularındaki anyon ve katyon korelasyon matrisi.

	Ca	Mg	K	Na	CO ₃	HCO ₃	Cl	F	PO ₄	SO ₄	NO ₃	pH	EC
Ca	1												
Mg	0.73	1											
K	0.43	0.61	1										
Na	0.23	0.70	0.55	1									
CO ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	1								
HCO ₃	0.81	0.95	0.61	0.79	0.00	1							
Cl	0.68	0.91	0.60	0.63	0.00	0.78	1						
F	0.04	0.18	0.25	0.73	0.00	0.36	0.15	1					
PO ₄	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1				
SO ₄	0.44	0.77	0.51	0.68	0.00	0.64	0.77	0.25	0.00	1			
NO ₃	0.31	0.31	0.33	0.29	0.00	0.33	0.44	0.21	0.00	0.19	1		
pH	0.11	0.02	0.08	0.10	0.00	0.09	0.14	0.21	0.00	0.15	0.35	1	
EC	0.76	0.97	0.66	0.78	0.00	0.97	0.89	0.32	0.00	0.76	0.37	0.08	1

*Koyu renkle yazılı değerler, iyi bir doğrusallık ilişkisinin olduğu değerleri gösterir.

Bendimahi Havzası Sıcak Su Kaynaklarındaki Çözünmüş İyonlar Arası İlişkiler

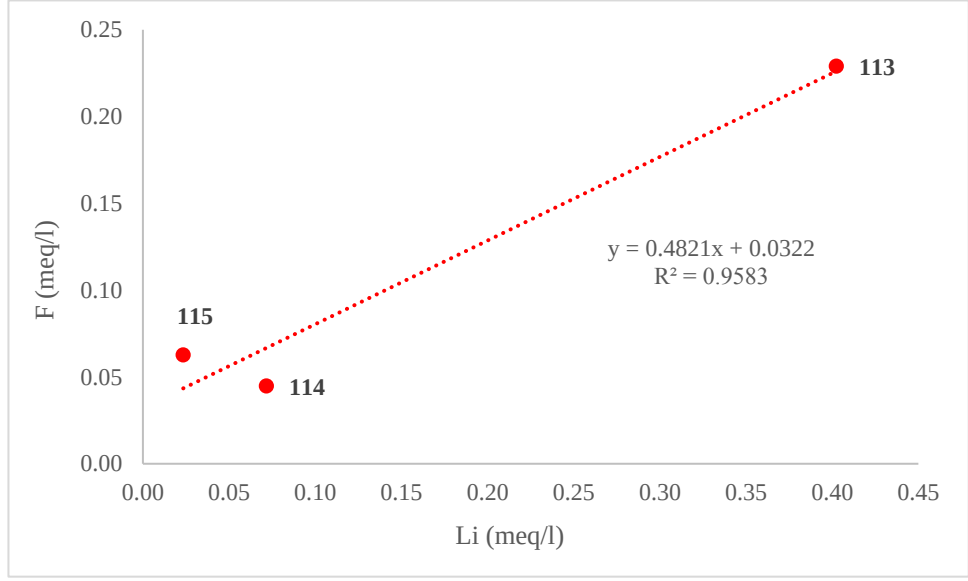
Bendimahi havzasında 3 sıcak su kaynağı olup, bunlardan 113 nolu Ayrancılar kaynağında Ca/Mg oranı 2'nin üzerindedir ve silikat ayrışmasının egemen olduğunu göstermektedir. 114 nolu Koçovası ve 115 nolu Buğulukaynak sıcak su kaynaklarında Ca/Mg oranı 1'e yakın değerler almıştır. Dolayısıyla dolomit ayrışmasının olabileceğini gösterir. Bendimahi havzasındaki 113 nolu Ayrancılar kaynağında Na/Ca oranı 1'den büyük, 114 nolu Koçovası ve 115 nolu Buğulukaynak sıcak su kaynaklarında ise 1'den küçüktür. Dolayısıyla 113 nolu sıcak su kaynağında CaCO₃ çökelişi ya da iyon değişim süreçlerinden dolayı Ca eksiktir. 114 nolu Koçovası ve 115 nolu Buğulukaynak sıcak su

kaynaklarında ise Ca eksikliği olmadığı sonucuna varılmıştır. Bendimahi havzasındaki sıcak su kaynakları için de K/Cl oranı belirlenmiştir. 113 nolu Ayrancılar sıcak su kaynağı, 114 nolu Koçovası ve 115 nolu Buğulukaynak sıcak su kaynaklarında K/Cl oranı 0.2'den büyüktür (Tablo 4.41). Yani, potasyumu sağlayan faktör potasyum feldispat ayrışmasıdır. Bendimahi havzası sıcak su kaynaklarında, 113 nolu örnekte Mg/Ca oranı 0.8'in altında olduğundan, yeraltısuyunun kalsit ve dolomitte eş zamanlı olarak dengede olabileceği belirtilebilir. 114 ve 115 nolu örneklerde, Mg/Ca oranı 0.8'in üstündedir ve bu örneklerde yeraltısuyuna dolomit katkısı olabileceği görülmektedir. Bendimahi havzasındaki sıcak su kaynakları için elde edilen Na/Cl oranları ise; 113 nolu Ayrancılar, 114 nolu Koçovası ve 115 nolu Buğulukaynak sıcak su kaynaklarında 1'den büyüktür. Dolayısıyla söz konusu sıcak su kaynaklarındaki sodyum, silikat ayrışmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 4.41: Bendimahi Havzası sıcak su kaynaklarındaki anyon ve katyon oranları (meq/l).

Örnek No	Ca	Mg	HCO ₃	Na	K	SO ₄	Cl	Ca/Mg	Mg/Ca	Na/Ca	Na/Cl	K/Cl	HCO ₃ /HCO ₃ +SO ₄
113	5.85	2.14	26.94	31.49	4.99	3.62	8.91	2.74	0.37	5.38	3.53	0.56	0.88
114	8.38	8.63	21.57	7.30	1.24	1.38	1.35	0.97	1.03	0.87	5.39	0.91	0.94
115	4.67	6.52	13.70	4.30	0.68	1.33	0.45	0.72	1.40	0.92	9.53	1.51	0.91
Min	4.67	2.14	13.70	4.30	0.68	1.33	0.45	0.72	0.37	0.87	3.53	0.56	0.88
Max	8.38	8.63	26.94	31.49	4.99	3.62	8.91	2.74	1.40	5.38	9.53	1.51	0.94
Ort	6.30	5.76	20.74	14.36	2.30	2.11	3.57	1.47	0.93	2.39	6.15	1.00	0.91

Bendimahi havzası sıcak su kaynaklarının üçünde de, HCO₃/ (HCO₃+SO₄) oranı 0.5'ten büyüktür ve proton üretimini sağlayan asıl şey karbonik asit ayrışmasıdır. Bendimahi havzası sıcak su kaynaklarında Na ve HCO₃ arasında pozitif korelasyon ve iyi bir doğrusallık ilişkisi (R = 0.86) bulunmaktadır. Bu durum, HCO₃'ün büyük bir kısmının karbonatlı kayalardan geldiğini göstermektedir. Dolayısıyla termal suların uzun süre akifer kayalarla etkileşimde olabileceğinin göstergesidir. Ayrıca Bendimahi havzası sıcak su kaynaklarında F ile Li arasında pozitif yönde iyi bir doğrusallık ilişkisi (R = 0.97) görülmektedir (Şekil 4.80).



Şekil 4.80: Bendimahi havzasındaki sıcak sularda F -Li ilişkisi.

Bu durum F ve Li'nin birlikte hareket ettiklerini göstermektedir. Florür iyonunun, elektronegativitesi çok yüksek olduğu için, özellikle Br ve Li gibi iyonlarla çok kolay hareket edebilen bir iyondur. Sıcak sularda Florür'ün nadir toprak elementlerini taşınması da çok kolaydır. Bu nedenle, florür ile nadir toprak elementleri arasındaki korelasyon ilişkileri de incelenmek istenmiş fakat, nadir toprak elementlerinin çok yüksek miktarlarda bulunması nedeniyle ölçülemediği görülmüştür. Zilan ve Bendimahi havzalarındaki sıcak su kaynaklarına ait iz element ve nadir toprak elementleri analiz sonuçları Tablo 4.42'deki gibidir. Korelasyon ilişkileri ile ilgili bazı grafikler Ek 4'de verilmiştir.

Tablo 4.42: Bendimahi Havzası sıcak su kaynaklarındaki iz element ve nadir toprak element içerikleri (µg/l).

Örnek No	111	112	113	114	115
Ba	93.00	<80	274.00	86.86	318.87
Be	*	*	*	0.22	0.52
Br	*	*	*	208	87
Co	<300	<300	<300	<0.02	0.13
Cs	*	*	*	92.40	25.48
Ge	*	*	*	3.33	1.71
Li	4053.0	3704.0	2793.0	497.8	162.4
Mo	<300	310.0	<300	0.6	0.2
Nb	*	*	*	0.02	0.01
P	<4000	<4000	<4000	59	175
Rb	*	*	*	158.05	65.58
Sb	<2000	<2000	<2000	<0.05	<0.05
Se	*	*	*	1.1	<0.5
Sr	2075.00	3358.00	4126.00	1475.16	656.07
U	<3000	<3000	<3000	0.20	0.02
V	<200	<200	<200	0.8	0.3
W	<2000	<2000	<2000	0.04	<0.02
Y	*	*	*	0.03	0.03
Zr	*	*	*	0.70	0.13
La	<200	<200	<200	<0.01	<0.01
Ce	*	*	*	<0.01	<0.01
Pr	*	*	*	<0.01	<0.01
Nd	*	*	*	<0.01	<0.01
Sm	*	*	*	<0.02	<0.02
Eu	*	*	*	<0.01	<0.01
Gd	*	*	*	<0.01	<0.01
Tb	*	*	*	<0.01	<0.01
Dy	*	*	*	<0.01	<0.01
Ho	*	*	*	<0.01	<0.01
Er	*	*	*	<0.01	<0.01
Tm	*	*	*	<0.01	<0.01
Yb	*	*	*	<0.01	<0.01
Lu	*	*	*	<0.01	<0.01

4.4.4. Sıcak Suların Hazne Kaya Sıcaklıklarının Tahmini

Zılan Havzası ve Bendimahi havzasında yer alan sıcak su kaynaklarının akifer (hazne) sıcaklıklarını bulmak amacıyla çeşitli kimyasal jeotermometre uygulamaları ve karışım modelleri ile birleşik (kombine) jeotermometre uygulamaları kullanılmıştır.

4.4.4.1. Kimyasal Jeotermometre Uygulamaları

Kimyasal jeotermometreler sıcaklığa bağlı su-kayaç dengesine dayalıdır ve su kayaç ilişkisindeki son denge sıcaklığını verir (Özen ve Tarcan, 2009). Diğer jeotermometre yöntemlerine göre, kimyasal analizlerin ucuz ve kısa sürede yapılabilmesi nedeniyle, jeotermal araştırmalarda akifer (hazne) sıcaklığının tahmininde kimyasal jeotermometrelerden çok yararlanılmaktadır (Şahinci, 1991a). Kimyasal jeotermometreler, niceliksel ve niteliksel jeotermometreler olmak üzere değerlendirilmektedir. Niceliksel jeotermometreler, sıcak su kaynakları ya da kuyuları ile ilgili kimyasal analizlere gerek duyarken, niteliksel jeotermometreler ise sıcak ve soğuk su kaynakları, topraklar, toprak gazı, fümeroller olmak üzere sıcak su sistemine ev sahipliği yapan ve anomali veren çeşitli indikatör elementleri araştırır (Fournier, 1977).

Niteliksel (Kalitatif) Kimyasal Jeotermometreler

Çoğu niteliksel jeotermometre, sulardaki görelî uçucu element konsantrasyonları ya da toprak gaz bileşimindeki değişimlere dayanır. Özellikle yüzey altında bir kaynama meydana gelmişse, anormal olarak yüksek konsantrasyonlu uçucu elementler üstte veya sığ sıcak kaynaklar etrafında birikebilir. Ancak metamorfik reaksiyonların geliştiği ve uygun yapıların izin verdiği yerlerde kabukta derinden kaçan uçucu gazlar, uçucu elementlerin benzer anomalideki konsantrasyonlarını oluşturur. Totani (1970), B, NH₄, HCO₃, Hg ve H₂S'nin yüzey suları yakınlarında zenginleşmesinin, derindeki kaynama sonucunda meydana geldiğini ileri sürmektedir. Uçucu gazlar; buhar fazı ve yukarıya taşınan sığ bölgede nispeten soğuk yeraltısuları ile birleşmiş olmak üzere bölümlere ayrılmıştır. White ve diğ. (1971)'e göre; bu uçucu elementler buharın egemen olduğu sistemlerdeki en karakteristik benzer uçucu elementlerdir ve bunların sığ yeraltısularındaki konsantrasyonları bu gibi sistemlerde belirleyici olabilir. Mahon (1970), jeotermal bir alandaki sulara yüksek Cl/F ve Cl/SO₄ genellikle sistemdeki yüksek sıcaklığı belirtir. Ayrıca araştırmacı, fümerollerdeki CO₂/NH₃, CO₂/H₂ ve CO₂/H₂S oranlarındaki değişimlerin derin sıcak sulara yakın olabilecek suları belirttiğini

ifade etmiştir. Bu gazların hem yüksek, hem düşük oranlarda bulunması halinde, en düşük orandaki fümerolün akifere en yakın olabileceğini göstermektedir. Fournier ve Truesdal (1970), $Cl / (HCO_3 + CO_3)$ mol oranının farklı akiferlerdeki suları birbirinden ayırmada kullanışlı bir yöntem olduğunu ve yüksek oranları suların daha sıcak bir akiferden geldiğini ifade etmiştir. Anormal olarak yüksek konsantrasyonlu uçucu olmayan iz elementler de ayrıca yüksek yüzey altı sıcaklıklarının belirleyicisi olabilir. Bu durum, elementin yüksek sıcaklıkta kayadan kolayca ayrılışı ve düşük sıcaklıkta ayrılamayışı şeklinde olursa doğrudur (Fournier, 1977). Termal akışkanlarda bulunan bazı element, bileşik ve oranların sıcaklık hakkında verdikleri göreceli bilgiler aşağıda belirtilmiştir.

SiO₂: Akifer sıcaklığı hakkında en iyi bilgi veren silistir ve kuvarsın dengelenmesi yüksek sıcaklıkta gerçekleşir. Yüksek sıcaklıktaki suda, yaklaşık 180 °C de başlayan silis çökmesi, sıcaklığın düşmesi ile hızla artar. Klorürce fakir, asit sular 100 °C civarında kayaçlardaki silikatları ayrıştırarak amorf silisçe çok zenginleşebilir. 140 °C nin üzerindeki sıcaklıklarda, örtü kaya tıkama malzemesi olarak genellikle kuvars ve kalsedon izlenir. Opal, kristobalit örtü kaya oluşturmuşsa düşük sıcaklığı belirler. Doğal gayzerlerde, yüzeyde amorf silis veya kristalleşmiş silis çökelleri, hazne kaya sıcaklığının 180 °C veya daha yüksek olabileceğini gösterir (Tarcan, 2003).

Bu çalışma kapsamında, Zilan havzasındaki Hasanabdal ve Taşkapı sıcak su kaynakları ile Bendimahi havzasındaki Ayrancılar sıcak su kaynağında silisyum çok yüksek miktarlarda olduğundan ölçülememiştir. Bendimahi havzasındaki Koçovası ve Buğulukaynak sıcak su kaynaklarındaki silisyum miktarı, sırasıyla 46596 ve 83865 ppb olarak ölçülmüştür.

Klorür: Akifer sıcaklığı 150 °C nin üzerindeki sularda, genellikle 150 ppm'den fazla klorür (kökeni deniz suyu olanlar dışında), nadiren yüksek sıcaklıklı su sistemlerinde (200 °C nin üzerinde) ise 40 ppm'in altındadır. Klorür, sıcak su sistemi ile buhar sistemini ayıran en önemli kıstasdır. Klorür tuzlarının birçoğu sıcak sularda çözünür ve sıcak sistemlerde bol bulunur. 400 °C'de bile klorür tuzlarının uçuculuğu önemsiz kabul edilir. Bu nedenle, düşük basınçlı buhar sistemlerinde klorür azdır, 50 ppm'in üzerinde klorür izlenirse sıcak su sistemini belirler (Şahinci,1991a; Tarcan, 2003).

Bu çalışma kapsamında, Zilan havzasındaki Hasanabdal ve Taşkapı sıcak su kaynaklarında sırasıyla 1440 ve 1106 ppm Cl değeri ölçülmüşken, Bendimahı havzasındaki Ayrancılar, Koçovası ve Buğulukaynak sıcak su kaynaklarında ise sırasıyla; 316, 48 ve 16 ppm'dir.

Na/K oranı: Bu oranın yüksekliği, genellikle akifer sıcaklığının fazla olabileceğini işaret etmektedir. Bilhassa bu oran, 20/1 ile 8/1 arasında anlamlıdır. Bu oran ile hesaplanan akifer sıcaklığı, suyun geldiği başlangıç derinlik veya yatay uzaklığın sıcaklığını tanımlamaktadır. Yüzeydeki sıcak suyun kimyasal analizlerine göre silis jeotermometresi ile hesaplanan akifer sıcaklık değeri, Na/K ile bulunandan küçük ise, akışkanın hazne kayadan yüzeye gelişi sırasında soğuk sular ile karışmış olabileceği vurgulanır (Tarcan, 2003). Ayrıca, Na/K oranının 15'e yakın ve küçük olması akışkanın yeryüzüne çıkış hızının yüksek olduğu "yukarı akış" (up flow) bölgesini gösterir (Tarcan, 2003).

Bu çalışma kapsamında yapılan hesaplamalarda, 114 nolu Koçovası ve 115 nolu Buğulukaynak sıcak su kaynaklarında silis jeotermometresi ile hesaplanan akifer sıcaklık değeri, Na/K jeotermometresi ile bulunandan küçüktür. Dolayısıyla, akışkanın hazne kayadan yüzeye gelişi sırasında soğuk sular ile karışmış olabileceği düşünülmektedir. Na/K oranlarına bakıldığında, Zilan havzasındaki Hasanabdal ve Taşkapı sıcak su kaynaklarında Na/K oranları sırasıyla; 17.49 ve 16.12 meq/l şeklindedir. Na/K oranının 15'e yakın ve küçük olması akışkanın yeryüzüne çıkış hızının yüksek olduğunu gösterir. Bendimahı havzasındaki Ayrancılar, Koçovası ve Buğulukaynak sıcak su kaynaklarında ise Na/K oranları sırasıyla; 6.31, 5.90 ve 6.29 meq/l'dir. Na/K oranları 15'e yakın değerler olmayıp, 20/1 ile 8/1 arasında olmadığından anlamlı değildir. Bu durum söz konusu sıcak su kaynaklarının, akışkanın yeryüzüne çıkış hızının yüksek olduğu bölgede olmadığına işaretler.

B, NH₄, H₂S, Hg, Cl, Na, K, Li, Rb, Cs, As: Bu gibi element ve bileşiklerin bir veya bir kısmının suda fazla bulunması, akifer sıcaklığının yüksek olabileceğini gösterir (Tarcan, 2003). Bu çalışma kapsamında incelenen sıcak sularda; yüksek değerlere sahip elementlerin tablosu Tablo 4.43'teki gibidir.

Tablo 4.43: İnceleme alanındaki sıcak su kaynaklarında suda fazla bulunan elementler.

Örnek No	Na (mg/l)	K (mg/l)	Li (µg/l)	B (µg/l)	As (µg/l)
111	1008	98	4053	95786	< 3000
112	777	82	3704	54110	< 3000
113	724	195	2793	59363	< 3000
114	167.89	48.42	497.8	8717	4.5
115	98.86	26.72	162.4	2082	3.9

Traverten Çökelmeleri: Akifer sıcaklığının düşük olduğunu (100 °C civarında) göstermektedir. Ancak nadiren, bikarbonatlı sular yeraltında soğuduktan sonra kireçtaşlarından geçmiş ise, hazne kaya sıcaklığı yüksek olabilir (Tarcan, 2003). Bu çalışmada akifer sıcaklığının tahmin edilmesine yardımcı olabilecek bir traverten oluşumuna rastlanmamıştır.

Cl/(HCO₃ + CO₃): Bu oran yüksekse, akifer sıcaklığı fazla olabilir (Tarcan, 2003). Bu çalışma kapsamında, söz konusu oran Zilan havzasındaki Hasanabdal ve Taşkapı sıcak su kaynaklarında sırasıyla 6.55 ve 5.17 ppm olup, Bendimahı havzasındaki Ayrancılar, Koçovası ve Buğulukaynak sıcak su kaynaklarında ise Cl/(HCO₃ + CO₃) oranı sırasıyla; 0.19, 0.04 ve 0.02 olmak üzere oldukça düşüktür. Bu değerlendirmeye göre; Ayrancılar sıcak su kaynağının sıcaklığı, Koçovası ve Buğulukaynak sıcak su kaynaklarına kıyasla yüksek olup, üç sıcak su kaynağının da düşük akifer sıcaklıklarına sahip olduğu söylenebilir.

Mg ve Mg/Ca Oranı: Mg miktarı ile Mg/Ca oranı küçük ise akifer sıcaklığı yüksek olabilir (Tarcan, 2003). Zilan havzasındaki Hasanabdal ve Taşkapı sıcak su kaynakları ile Bendimahı havzasındaki Ayrancılar sıcak su kaynağında Mg miktarı ve Mg/Ca oranı küçüktür. Mg/Ca oranları, Hasanabdal, Taşkapı ve Ayrancılar sıcak su kaynaklarında sırasıyla; 0.69, 0.65 ve 0.36'dır. Bendimahı havzasındaki Koçovası ve Buğulukaynak sıcak su kaynaklarında ise Mg miktarı ve Mg/Ca oranı, diğer kaynaklara göre büyüktür. Söz konusu sıcak su kaynaklarında Mg/Ca oranları sırasıyla; 1.03 ve 1.39'dur. Dolayısıyla bu durum; Hasanabdal, Taşkapı ve Ayrancılar sıcak su kaynaklarında akifer sıcaklıklarının yüksek olabileceğini göstermektedir.

Cl/SO₄ Oranı: Bu oran yüksekse akifer sıcaklığı yüksektir (Tarcan, 2003). Bu çalışma kapsamında Zilan havzasındaki Hasanabdal ve Taşkapı sıcak su kaynakları ile Bendimahi havzasındaki Ayrancılar sıcak su kaynağında söz konusu oran sırasıyla; 6.76, 2.32 ve 1.82 ppm'dir. Bendimahi havzasındaki Koçovası ve Buğulukaynak sıcak su kaynaklarında ise Cl/SO₄ oranı sırasıyla; 0.72 ve 0.25 ppm olmak üzere oldukça düşüktür. Dolayısıyla Koçovası ve Buğulukaynak'ta akifer sıcaklığının yüksek olmadığı görülmektedir.

Cl/F Oranı: Bu değer fazlaysa akifer sıcaklığı da yüksek olabilir (Tarcan, 2003). Zilan Havzasındaki Hasanabdal ve Taşkapı sıcak su kaynaklarında bu oran sırasıyla 966.44 ve 635.63 ppm'dir. Bendimahi havzasındaki Ayrancılar, Koçovası ve Buğulukaynak sıcak su kaynaklarında ise Cl/F oranı sırasıyla; 72.64, 56.47 ve 13.45 olmak üzere oldukça düşüktür. Dolayısıyla akifer sıcaklığının Zilan havzasındaki sıcak su kaynaklarına göre daha düşük olduğu görülmektedir.

H₂/Diğer Gazlar (Buhar Dışında) Oranı: Oran yüksekse, akifer sıcaklığı fazladır. Sıcaklığın düşmesi ile hidrojen, diğer gazlara oranla azalır (Tarcan, 2003). Bu çalışma kapsamında gaz ölçümü yapılmamıştır.

Niceliksel (Kantitatif) Kimyasal Jeotermometreler Kaynak ve kuyu sularının yüzey altı sıcaklık tahminlerinde White (1970) ve Fournier (1974) tarafından öne sürülen bazı varsayımlar söz konusudur. Bu varsayımlar aşağıdaki gibidir:

- Kaya ve sudaki sıcaklığa bağlı reaksiyonlar, suda çözülmüş indikatör bileşenlerin miktarını düzenler.
- Tüm reaksiyona girenlerin yeterli miktarda katkısı bulunmaktadır.
- Belirgin indikatör reaksiyona nispeten rezervuar veya akiferde bir denge bulunmaktadır.
- Su rezervuardan ayrıldıktan sonra, indikatör bileşenlerin yeniden dengelenmesi durumu meydana gelmez.
- Ya yüzeye hareket esnasında farklı suların karışımı meydana gelmez; yani akiferden gelen sıcak suların, soğuk yeraltı suları ve yüzey suları ile bir karışımı söz konusu değildir.

- Sıcak sulardaki kimyasal maddelerin oluşması için gerekli kimyasal tepkimeler, akifer ile su arasında gerçekleşir.
- Sıcaklığın tespit edilmesinde gerekli maddelerin ortaya çıkması için oluşan kimyasal tepkimeler devamlıdır ve tepkimelerin hammaddesi hazne kayada boldur.
- Akifer sıcaklığında kaya ile su arasında kimyasal denge gerçekleşmiştir.
- Akiferden yüzeye ulaşan sıcak suyun, soğuma sonucunda kimyasal yapısı değişmez veya yeni bir kimyasal denge gerçekleşmez.

Bu varsayımlardan ilk varsayımlar SiO_2 ve Na-K-Ca jeotermometreleri için kullanılmaktadır. Ancak son varsayım tam olarak gerçeği yansıtmamaktadır. Çünkü akiferden yüzeye doğru gelen sıcak suyun soğuması ya da soğuk suların karışımı ile kimyasal yapısı değişebilir.

Rezervuarda dengenin sağlanması, reaksiyondaki hareketler, rezervuarın sıcaklığı, örtü kayanın tepkisi, sudaki indikatör element konsantrasyonları, belli sıcaklıkta rezervuardaki suyun kalış süresi gibi birçok faktöre bağlıdır. Bundan dolayı bazı durumlarda bazı reaksiyonlar için rezervuarda dengeye ulaşılırken, diğerleri için ulaşılamayabilir. Rezervuardan ayrıldıktan sonra suyun yeniden dengeye gelip gelmediği, yüzeye akış esnasında akım oranı, ilerleme yönü ve tipi, sınır kayadan çapraz geçiş tepkisi, rezervuarın başlangıç sıcaklığı ve çeşitli reaksiyon hareketlerinin meydana gelmesi gibi benzer faktörlere bağlıdır. Farklı reaksiyonlar, farklı oranlarda yükselen suları meydana getirebilir. Bundan dolayı görünen son denge sıcaklığı, farklı kimyasal jeotermometreler için farklı olabilir. Niceliksel jeotermometreler için kullanışlı olan sıcaklığa bağlı iki tip reaksiyon bulunmaktadır. Bunlar; çözünürlük ve iyon değişim reaksiyonlarıdır (Fournier, 1977).

Bu çalışma kapsamında değerlendirilen sıcak su kaynaklarına niceliksel (kantitatif) kimyasal jeotermometrelerden çözünürlüğe bağlı jeotermometreler (Silis Jeotermometreleri) ve iyon değişimine bağlı jeotermometreler (Na-K, Na-K-Ca ve K-Mg) uygulanmıştır.

Çözünürlük - Silis Jeotermometreleri

Minerallerin çözünürlüğü genellikle sıcaklık ve basınç faktörlerine bağlı olarak değişiklik gösterir. Ancak silika hariç, minerallerin çözünürlüğü jeotermometre olarak yaygın şekilde kullanılmaz. Çoğu doğal suda çözünmüş silika, iyon etkilerinden uçucu bileşenlerin kaybından etkilenmez ve bu durum diğer çözünmüş bileşenlerin yorumlanmasını zorlaştırır. Ayrıca reaksiyona giren tüm elemanların katkısı varsayımı silika için geçerli iken, diğer reaksiyona giren elemanlar için geçerli olmayabilir. Örneğin CaF_2 'nin çözünürlüğüne dayalı bir jeotermometre, su-kaya dengesinin bulunduğu yerde flüorit minerali bulunmuyorsa, CaF_2 jeotermometresi iyi sonuçlar vermez. Fournier ve Rowe (1966)'nın kuvars çözünürlüğüne dayalı silika jeotermometresi sıcak su kaynağı sistemlerinde yüzey altı sıcaklıklarının tahmininde yaygın olarak kullanılır. Bir sıcak su kaynağı veya kuyusundaki silika bileşeni kuvarsın son denge sıcaklığı ile korele edilebilir. Kuvars jeotermometresi en iyi 150 ile 225 °C sıcaklıkları arasında iyi sonuçlar vermektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda akiferden yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelişi gözlenir. Silika, suyun yükselimi sırasında çöker. Dolayısıyla sıcaklığı 225 °C nin üzerindeki hazne kayalardan gelen sulara gerçek sıcaklığı yansıtmaz. Silis jeotermometreleri, kimyasal tepkimeyi etkileyen akifer sıcaklığına ya da sıcak suyun yükselirken soğumasına dayanılarak hazırlanmıştır. Silisyumun sıcaklıkla çözünürlüğü artar. Daha düşük sıcaklıklarda ise kalsedon, kristobalit veya amorf silika gibi diğer silika türleri çözünmüş silikayı kontrol edebilir (Fournier, 1977; Tarcn, 2003).

Silisin bu özelliğinden yola çıkılarak çeşitli sıcaklıklar için bazı araştırmacılar tarafından önerilen ve akifer (hazne) sıcaklığının tahmin edilmesinde kullanılan çözünürlüğe dayalı kimyasal jeotermometreler bulunmaktadır. Silisyum ve bazı katyon jeotermometreleri için bu çalışma kapsamında uygulanan jeotermometre bağıntıları Tablo 4.44, jeotermometre hesaplama sonuçları ise Tablo 4.45'deki gibidir.

Tablo 4.44: Akifer sıcaklıklarının tahmin edilmesinde kullanılan kimyasal jeotermometre bağıntıları.

Uygulanan Jeotermometreler	Bağıntılar	Sıcaklık Aralığı	Kaynaklar
SiO ₂ (Kuars)	$t = 1309 / (5.19 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	$0 \leq T \leq 250$	Fournier (1981)
SiO ₂ (Kuars maksimum buhar kaybı)	$t = 1522 / (5.75 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	$0 \leq T \leq 250$	Fournier (1981)
SiO ₂ (Kalsedon)	$t = 1032 / (4.69 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	$0 \leq T \leq 250$	Fournier (1981)
SiO ₂ (α - Kristobalit)	$t = 1000 / (4.78 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	$0 \leq T \leq 250$	Fournier (1981)
SiO ₂ (β - Kristobalit)	$t = 781 / (4.51 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	$0 \leq T \leq 250$	Fournier (1981)
SiO ₂ (Amorf Silis)	$t = 731 / (4.52 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	$0 \leq T \leq 250$	Fournier (1981)
Na-K	$t = 1217 / (1.483 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	$T > 150$	Fournier (1981)
Na-K-Ca	$t = 1647 / (\log \text{Na/K} + \beta \log \sqrt{\text{Ca/Na} + 2.24}) - 273.15$	$0 \leq T \leq 300$	Fournier ve Truesdell (1973)
K-Mg	$t = 4410 / (13.95 - \log K^2/\text{Mg}) - 273.15$	-	Giggenbach vd. (1983)

* T sıcaklığı ifade eder.

Tablo 4.45: İnceleme alanı sıcak su kaynakları için kimyasal jeotermometrelere göre hesaplanan rezervuar sıcaklıkları.

Örnek No - Örnek Yeri	111 - Hasanabdal (Erciş)	112 - Taşkapı (Erciş)	113 - Ayrancılar (Çaldıran)	114 - Koçovası (Çaldıran)	115 - Buğulukaynak (Çaldıran)
Yüzeyden ölçülen Sıcaklık (T - °C)	51	53.3	34.7	25.8	33.5
SiO ₂ (Kuars)	*	*	*	137.10	172.80
SiO ₂ (Kuars maksimum buhar kaybı)	*	*	*	132.64	162.29
SiO ₂ (Kalsedon)	*	*	*	110.39	150.62
SiO ₂ (α - Kristobalit)	*	*	*	86.47	122.84
SiO ₂ (β - Kristobalit)	*	*	*	37.91	73.15
SiO ₂ (Amorf Silis)	*	*	*	16.84	49.54
Na-K	214.58	221.64	319.73	328.43	320.17
Na-K-Ca	202.84	194.39	255.08	222.07	97.92
K-Mg	29	37	23	50	53

* (*) ölçülemeyen değerleri ifade etmektedir.

Bu çalışma kapsamında, Zilan havzasında yer alan Hasanabdal sıcak su kaynağı ve Taşkapı sıcak su kaynağı ile Bendimahi havzasında yer alan Ayrancılar, Koçovası ve Buğulukaynak sıcak su kaynakları için 6 farklı silis jeotermometresi (Kuars, Kuars maksimum buhar kaybı, kalsedon, α - kristobalit, β - kristobalit ve amorf silis) uygulanmıştır. Zilan havzasındaki sıcak su kaynakları ile Bendimahi havzasındaki Ayrancılar sıcak su kaynağında silisyum değeri ölçülemediğinden, söz konusu

kaynaklarda silis jeotermometresi hesabı yapılamamıştır. MTA (2003) tarafından yapılan çalışmada ise Ayrancılar sıcak su kaynağında SiO_2 jeotermometre hesaplamaları yapılmış ve sonuçların 95°C ile 112°C arasında değiştiği görülmüştür. Elmastaş (2004) tarafından Zilan havzasındaki Hasanabdal jeotermal alanı için hesaplanan rezervuar sıcaklığı ise 108°C ile 138°C arasında tahmin edilmiştir.

180°C 'nin altındaki sıcaklıklarda silika çözünürlüğünün, amorf silika ve/veya kalsedon tarafından denetlendiği ve bu nedenle, kuvars jeotermometresinin güvenilir olmayacağı Kharaka ve Mariner (1989) ile Giggenbach (1991) tarafından yapılan çalışmalarda belirtilmiştir. Koçovası sıcak su kaynağında, amorf silis değerinin yüzeyde ölçülen sıcaklık değerinden daha düşük, Buğulukaynak sıcak su kaynağında ise yüzeyde ölçülen sıcaklığa yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Söz konusu kaynaklarda, β - kristobalit için yapılan hesaplamada da, sonucun yüzey sıcaklığına kısmen yakın olduğu görülmektedir. Bu durum, rezervuardaki silis çözünürlüğünün kalsedon gibi daha duraylı bir faz ile kontrol edildiğini göstermektedir. Dolayısıyla amorf silis ve β - kristobalit sonuçları gerçek akifer (hazne) sıcaklığını yansıtmamaktadır. Koçovası ve Buğulukaynak sıcak su kaynaklarında, kalsedon jeotermometresi sonuçları gerçek akifer sıcaklığını daha çok yansıtmaktadır. Benzer durum; Ayrancılar, Koçovası ve Buğulukaynak sıcak su kaynakları için, Aydın ve diğ. (2013) tarafından yapılan çalışmada da görülmektedir. Kalsedon jeotermometresine göre; Koçovası ve Buğulukaynak sıcak su kaynakları için hesaplanan rezervuar sıcaklıkları sırasıyla, 110.39°C ve 150.62°C şeklinde tahmin edilmiştir. Aydın ve diğ. (2013) tarafından yapılan çalışmada ise Koçovası ve Buğulukaynak sıcak su kaynakları için kalsedon jeotermometresine göre hesaplanan rezervuar sıcaklıkları sırasıyla 118.8°C ve 125.7°C olarak tahmin edilmiştir.

İyon Değişim Reaksiyonları – Katyon Jeotermometreleri

İyon değişimi ve alterasyon reaksiyonları için denge sabitleri sıcaklığa bağlıdır. Bu gibi reaksiyonlarda çözülmüş bileşenlerin oranı denge sıcaklığına bağlı olarak değişir. Alkali klorit çözümlerinde Na/K oranları, alkali feldispatlar ile dengelenir. Doğal sulardaki Na/K oranları ve Na-K-Ca ilişkileri de denge sıcaklığına bağlı olarak değişir. Na/K oranı genellikle 200°C 'nin üzerinde sıcaklığa sahip suların sıcaklık tahmininde iyi sonuçlar verir. Ancak anormal olarak 100°C 'nin altındaki sulara yüksek sıcaklık tahminleri elde edilebilir. Düşük sıcaklıklı sular için Na-K-Ca jeotermometresinin Na/K

jeotermometresinden daha güvenilir olabileceği söylenebilir (Fournier ve Truesdall, 1973). Bu çalışma kapsamında hesaplanan Na-K, Na-K-Ca ve K-Mg jeotermometre sonuçları Tablo 4.45'deki gibidir.

Na/K Jeotermometresi

Bu jeotermometreler, suda fazla miktarda Ca^{+2} iyonu bulunması halinde, akifer (hazne) sıcaklığı hesaplamalarında yüksek değerler verir. Na/K jeotermometrelerinin uygulanacağı sıcak sularda pH değerinin nötr'e yakın ya da hafif alkali olması, karbonat çökelmelerinin oluşmaması ve $\log(\sqrt{\text{Ca}} / \text{Na})$ değerinin 0,5 ten az olması koşulları aranmalıdır. Na/K jeotermometreleri nötr ve alkali, alkali klorürlü ve 180-350 °C sıcaklıktaki bir akiferden gelen sularda daha iyi sonuçlar vermektedir (Tarcan, 2003). Çeşitli araştırmacılar tarafından farklı kimyasal jeotermometre bağıntıları önerilmiş olup, bu çalışma kapsamında Fournier (1981) tarafından önerilen Na/K jeotermometre bağıntısı uygulanmıştır (Tablo 4.45).

Fournier (1979) tarafından yapılan çalışmada, termal suyun yeryüzüne doğru düşük bir hızla yükselmesi ve yüzeye ulaşmadan önce sığ derinliklerde bir bölümünün hareket yönünü değiştirmesi veya yatay yönde akış kazanmasının termal suyun ısınıı kondüktif olarak kaybetmesine ve yan kayaçlar tarafından soğutulması ile sonuçlanacağı belirtilmiştir. Fournier (1979)'e göre, kondüktif soğuma sonucu, suyun bileşimi büyük ölçüde aynı kalacaktır. Truesdell (1991) tarafından yapılan çalışmada da, kondüktif soğuma etkisinin sığ rezervuarlardan yükselen veya sığ derinliklerde yatay akış gösteren sular için daha fazla olduğu belirtilmiştir. Özen ve Tarcan (2009) tarafından yapılan çalışmada ise; termal suların yeryüzüne yükselmesinin görece olarak hızlı olduğunda su kimyası ve izotop değişimlerinin çok daha yavaş olacağı ve bu nedenle yavaş gelişen tepkimelerde (Na-K ve Na - K-Ca gibi) yeniden denge durumunu yansıtmayacağı ifade edilmiştir. Bu sonuçlara dayanarak inceleme alanındaki sıcak su kaynaklarına ait Na/K jeotermometre sonuçları yorumlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında 2 ayrı bölgedeki (Erciş ve Çaldıran) jeotermal sistemler için Na/K jeotermometre sonuçları değerlendirilmiştir. Zilan havzasında yer alan Hasanabdal ve Taşkapı sıcak su kaynaklarında, Na değerinin, K değerine kıyasla oldukça yüksek oluşu,

Na/K jeotermometre sonucunun yüksek çıkmasına neden olmuştur. Dolayısıyla Zilan havzası için Na/K jeotermometre sonuçları gerçeği yansıtmamaktadır. Bendimahı havzasında yer alan Ayrancılar, Koçovası ve Buğulukaynak sıcak su kaynaklarının yüzey sıcaklıkları sırasıyla, 34.7, 25.8 ve 33.5 °C'dir. Yüzeyden ölçülen sıcaklık değerlerine bakıldığında, en yüksek sıcaklık değerine sahip Ayrancılar sıcak su kaynağı ile en düşük sıcaklığa sahip Koçovası sıcak su kaynağı için elde edilen Na/K jeotermometre sonuçları birbirine oldukça yakındır (Tablo 4.45). Bu durum, Bendimahı havzasındaki sıcak suların, Fournier (1979), Truesdell (1991) ile Özen ve Tarcan (2009) tarafından yukarıda bahsi geçen soğuma süreçlerine uygun olduğunu göstermekte ve sıcak suların yüzeye çıkmadan önce soğuk su ile karışıma uğrayarak seyreltiğini göstermektedir. Ancak Na-K jeotermometresi çok yüksek sıcaklık değerleri verdiği için, söz konusu kaynakların akifer (hazne) sıcaklığının tahmin edilmesi için uygun bir jeotermometre olmadığı düşünülmektedir.

Na-K-Ca Jeotermometresi

Özellikle Ca/Na (mol/l) oranının birden büyük olduğu durumlarda Na/K jeotermometre bağıntıları, akifer sıcaklığı hesaplamalarında çok yüksek değerler verir (Tarcan, 2003). Bu olumsuz yönü gidermek için Fournier ve Truesdell (1973) tarafından Tablo 4.45'deki gibi bir bağıntı önerilmiştir. Bağıntıda Na, K, Ca, mol/l olarak alınır. β bir katsayıdır. Eğer $\log(\sqrt{\text{Ca/Na}})$ değeri (-) ise $\beta = 1/3$, (+) ise $\beta = 4/3$ olarak bağıntıya konur. 100 °C'nin üzerinde $\beta = 1/3$ iken, 100 °C'nin altında ise $\beta = 4/3$ iken su dengededir. Ayrıca $\beta = 4/3$ olarak hesaplanan akifer sıcaklığının 100 °C den fazla olması durumunda, $\beta = 1/3$ alınarak akifer sıcaklığı tekrar hesaplanabilir (Tarcan, 2003).

Bu çalışma kapsamında, Na-K-Ca jeotermometre sonuçları da 2 ayrı bölgedeki (Erciş ve Çaldıran) jeotermal sistemler için değerlendirilmiştir. Zilan havzasında yer alan Hasanabdal ve Taşkapı sıcak su kaynaklarındaki Ca/Na oranları mol/l cinsinden hesaplanmış ve sırasıyla; 0.06 ve 0.19 gibi 1'den küçük değerler elde edilmiştir. Ca/Na oranları 1'den küçük olmasına rağmen, Na/K jeotermometresi sonuçları söz konusu kaynaklarda oldukça yüksektir. Yüksek sıcaklığa sahip bir akışkan yüzeye doğru yükselirken, sıcaklığı ne kadar yüksek olursa olsun, yukarı çıkarken hızlı bir şekilde soğur ve komşu kayaya herhangi bir ısı vermez (Fournier ve Truesdell, 1973). Devam eden bu

reaksiyonda akiferden yüzeye çıkış esnasında sular, ilave Ca'ı çözer ve bu olayda çok düşük akifer sıcaklık tahminlerine ulaşılır. Öte yandan, sulu Na ve K'nın kalsit ve silis mineralleri tarafından etrafının sarılması nedeniyle komşu kaya ile daha fazla reaksiyona girmesini önleniyorsa, suların başlangıçta yukarı çıkış esnasında kalsiyum karbonat depolayabilecek yeterli miktarda kalsiyuma sahip olması, yüksek akifer sıcaklıklarının tahmin edilmesini sağlar (Fournier ve Truesdell, 1973). Dolayısıyla, yüzeye çıkarken yüksek Ca içeren sular, yüksek akifer sıcaklıkları verirken; yüzeye çıkarken düşük Ca içeren sular (yani ilave Ca'yı çözen sular), düşük akifer sıcaklıkları verir. Bu durumda Ca'nın Na-K jeotermometresi üzerindeki etkisini azaltmak amacıyla Hasanabdal ve Taşkapı sıcak su kaynaklarına Na-K-Ca jeotermometresi uygulanmıştır. Söz konusu sıcak su kaynaklarında Na-K-Ca jeotermometresi uygulanmasıyla birlikte daha düşük akifer (hazne) sıcaklıkları elde edilmiştir (Tablo 4.45). Na-K-Ca jeotermometre sonuçları, Na-K jeotermometre sonuçlarına kıyasla daha gerçekçi görünse de Giggenbach (1988) üçgen diyagramı kullanılarak bu jeotermometrenin kullanılıp kullanılamayacağı test edilecektir. Hasanabdal ve Taşkapı'daki Na-K-Ca jeotermometre sonuçları sırasıyla; 202.84 °C ve 194.39 °C'dir (Tablo 4.45).

Ayrancılar sıcak su kaynağındaki Ca/Na oranı mol/l cinsinden 0.19 şeklinde elde edilmiştir. Ayrancılar sıcak su kaynağında, Ca/Na oranı 1'den küçüktür. Burada da Ca/Na oranı 1'den küçük olmasına rağmen, Na/K jeotermometresi sonucu oldukça yüksektir. Ca'nın Na-K jeotermometresi üzerindeki etkisini azaltmak amacıyla Ayrancılar sıcak su kaynağında da Na-K-Ca jeotermometresi uygulanmıştır. Na-K-Ca jeotermometresinin uygulanmasıyla birlikte daha düşük bir akifer (hazne) sıcaklığı elde edilmiştir. Dolayısıyla Ayrancılar sıcak su kaynağı akifer (hazne) sıcaklığı tahmininde Na/K jeotermometresine göre, Na-K-Ca jeotermometresinin daha gerçekçi bir sonuç verdiği düşünülse de Giggenbach (1988) üçgen diyagramı kullanılarak bu jeotermometrenin kullanılıp kullanılamayacağı test edilecektir. Ayrancılar'daki Na-K-Ca jeotermometre sonucu, 255.08 °C'dir (Tablo 4.45).

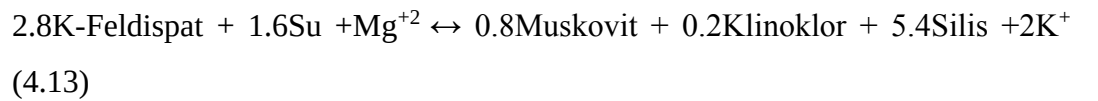
Koçovası ve Buğulukaynak sıcak su kaynaklarındaki Ca/Na oranları ise mol/l cinsinden sırasıyla 1.15 ve 1.09 şeklinde elde edilmiştir. Koçovası ve Buğulukaynak sıcak su kaynaklarının Ca/Na oranları 1'den büyüktür ve Na/K jeotermometre sonuçlarına göre en

yüksek sıcaklık değerleri bu iki sıcak su kaynağında görülmektedir. Ca'nın Na-K jeotermometresi üzerindeki etkisini azaltmak amacıyla bu sıcak su kaynaklarına Na-K-Ca jeotermometresi uygulanmıştır. Fakat yine oldukça yüksek değerler elde edilmiştir. Dolayısıyla 114 nolu Koçovası ve 115 nolu Buğulukaynak sıcak su kaynakları için silis jeotermometresi sonuçlarının daha kabul edilebilir ve gerçekçi olabileceği sonucu ortaya çıkmaktadır.

180 °C'den düşük sıcaklıklarda silis çözünürlüğünün, amorf silika veya kalsedon aracılığıyla kontrol edildiği ve bundan dolayı 180 °C'den düşük sıcaklıklarda kuvars jeotermometresinin kullanımının uygun olmayacağı Kharaka ve Mariner (1989) tarafından yapılan çalışmalarda belirtilmektedir. Ayrıca amorf silika jeotermometresi uygulanan sıcak su kaynaklarında, sıcaklık değerlerinin yüzeyde ölçülmüş sıcaklıklara yakın olması, hazne kayadaki silika çözünürlüğünün kalsedon gibi daha kararlı bir faz ile denetlendiğini göstermektedir. Bu nedenlerden dolayı, Koçovası ve Buğulukaynak sıcak su kaynağı için en kabul edilebilir jeotermometre sonucunun kalsedon jeotermometresi olduğu düşünülmektedir. Koçovası ve Buğulukaynak'taki SiO₂ (Kalsedon) jeotermometre sonuçları sırasıyla; 110.39 ve 150.62 °C'dir.

K-Mg Jeotermometresi

Tipik olarak K-Mg arasında gerçekleşen ve K-Mg jeotermometresinin dayalı olduğu katyon takas reaksiyonu eşitlik 4.13'te verilmiştir.



K ve Mg arasındaki katyon takas reaksiyonunun sıcaklık değişimine hızlı tepki vermesi, K ve Mg iyon derişimlerinin jeotermometre olarak kullanımını uygun kılar (Giggenbach, 1988). Na ve K arasında eşitlik 4.14'te verilen katyon takas reaksiyonunun sıcaklık değişimine gösterdiği tepki ise göreceli olarak çok daha yavaş gerçekleşir. Bu sebepten dolayı K-Mg ve Na-K katyon takas tepkimeleri sıcak suyun yükselirken etkilendiği fiziksel süreçlerin ayırtlanmasını sağlamaktadır (Giggenbach, 1988).



4.4.4.2. Yükselen Suyun Soğuması

Yükselen sıcak su; ısı almayacak şekilde, iletim ile, sıg soğuk sular ile karışım şeklinde ve tüm bu süreçlerin birlikte meydana gelmesi ile soğuyabilir. Sular hızlı bir şekilde ve akiferden küçük bir iletimle yükselirse akifer sıcaklığında kaya-su dengesini yansıtan kimyasal bileşimlere sahip olur. Akiferin atmosfer sıcaklığından düşük bir sıcaklığa sahip olduğu yerde akifer sıcaklığı ile ilgili bir çıkarımda bulunulabilir. Ancak akiferin atmosferde görülen sıcaklıklardan daha yüksek sıcaklığa sahip olduğu yerlerde su ısıyı iletmeden soğuyacaktır ve yükselim sırasında buharın ayrılması da göz önünde bulundurulmalıdır. Suyun yavaş bir şekilde ya da yüzeyden dolaylı olarak yükseldiği yerlerde iletterek soğuma meydana gelir. Bir su kaynağı büyük bir akımla ve uzak bir mesafeden hareket ediyorsa iletimle soğuyabilir. Böyle bir durumda akış yolu boyunca farklı oranlarda boşalım gerçekleştiren farklı kaynaklar, farklı sıcaklıklara fakat benzer bileşimlere sahip olabilir. Yükselen sıcak suların soğuk sularla karışım yaptığı yerlerde farklı sıcaklıklara sahip kaynaklar, farklı kimyasal bileşimlere sahiptir. Örneğin bir grup kaynaktaki Cl ve B değişimleri, ayrı ayrı değerlendirildiklerine nazaran daha fazlaysa, bu durum değişen buhar kaybı ile açıklanabilir. Bu olayda karışım modelleri, sıcak su bileşeninin orijinal sıcaklığını gösterebilir.

Bu çalışma kapsamında 114 nolu Koçovası sıcak su kaynağında, yüzeyde ölçülen sıcaklık 25.8 °C iken, amorf silis jeotermometre sonucu yüzeyde ölçülenden düşük (16.84 °C) çıkmıştır. 114 nolu Koçovası sıcak su kaynağında atmosferde ölçülen sıcaklık değerinin akifer sıcaklığından daha yüksek olması, suyun iletimle soğuma (suyun ısıyı iletterek soğuması) şeklinde bir soğuma süreci geçirdiğini düşündürmektedir. 113 ve 115 nolu Ayrancılar ve Buğulukaynak sıcak su kaynaklarında ise jeotermometre sonuçlarının çok geniş bir aralıkta olması ve birbirine uyumlu olmayan sonuçların görülmesi de soğuk sularla karışım şeklinde bir soğuma sürecinin meydana gelmiş olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle karışım modelleri de uygulanarak karışım süreçleri olmadan orijinal hazne sıcaklığı tahmin edilmeye çalışılmıştır.

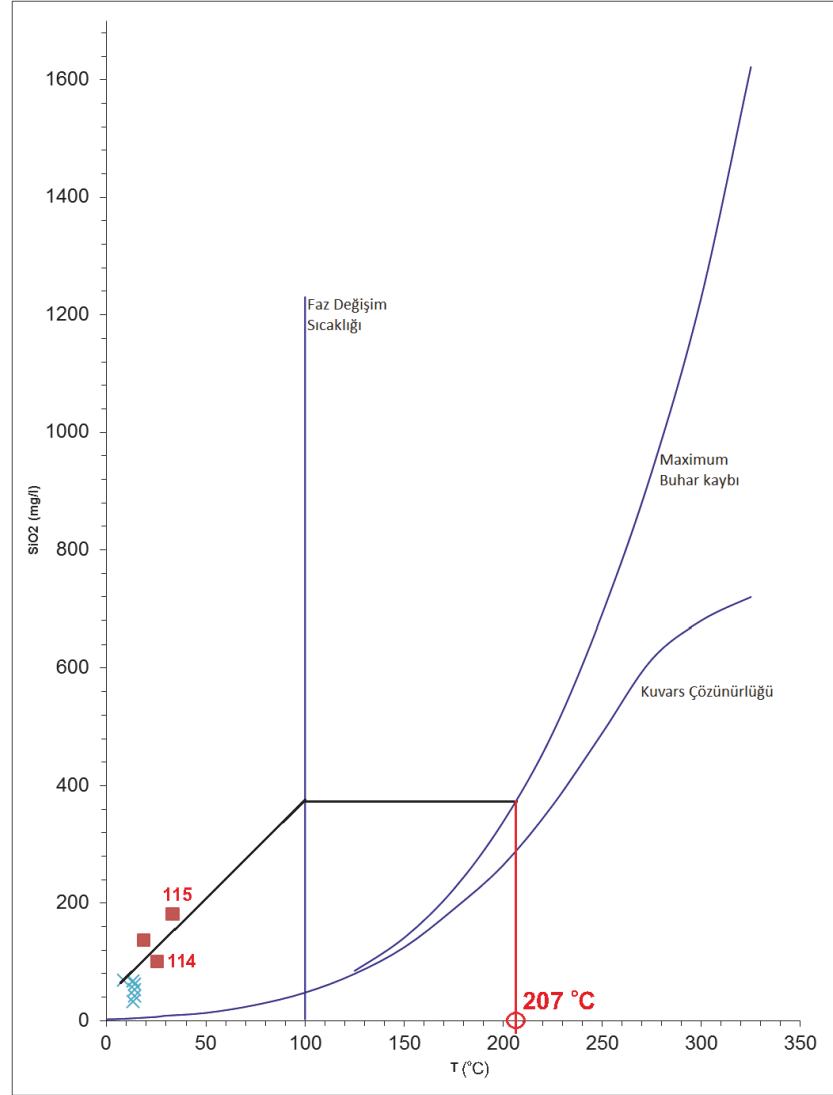
4.4.4.3. Karışım Modelleri

Çoğu sıcak su kaynağında derin sıcak sular ile sıg soğuk sular karışabilir. Sular karışımdan sonra kısmi veya tam degede olabilir ya da olmayabilir. Karışımdan sonra kimyasal denge sağlanırsa, kimyasal jeotermometreler karışım suyunun sıcaklığını belirtir, sıcak su bileşeninin sıcaklığını belirtmez. Karışımdan sonra dengenin kurulup

kurulmadığı, sıcak su bileşeninin sıcaklığı karışım dikkate alınmaksızın çözünürlük ilişkisinden tahmin edilemez. Buna karşın; sıcak su bileşeninin sıcaklık tahmini; çözünmüş bileşenlerin oranı kullanılarak iyon değişim reaksiyonuna dayalıdır. Karışım süreçlerinden çok az etkilenmiş olma koşuluyla; derin sıcak sular nispeten indikatör elementlerle konsantre olmuş ve aynı elementlere nispeten sık suların çok seyreltik olduğu görülebilir ve karışımdan sonra indikatör elementlerin göreceli konsantrasyonlarını değiştirmek için çok az ya da hiç kimyasal reaksiyon oluşmamalıdır. Na-K-Ca jeotermometresi üzerinde seyrilmenin bir etkisi olacaktır çünkü; hesaplamada konsantrasyonun kare kökü bulunmaktadır.

Fournier ve Truesdall (1974), akışın fazla olduğu kaynaklar ve kaynama sıcaklığının altındaki sıcaklıklara sahip kaynaklar için iki karışım modeli önermiştir. Modellerden birini uygulamak için silika içeriği ile ılık ve soğuk su kaynaklarının sıcaklıkları bilinmelidir. Birinci modelde, derin sıcak sular karışımdan önce kaynayabilir fakat tüm buhar soğuk su içerisinde yoğunlaşır. İkinci modelde, karışım bölgesindeki sıcak suyun entalpisi, yükselim sırasındaki buhar kaybından dolayı derindeki sıcak suyun entalpisinden daha azdır. Her iki modelde, kuvars çözünürlüğü ile kontrol edilen derin sıcak suyun başlangıçtaki silika bileşenine ihtiyaç vardır ve karışımdan önce ya da sonra daha fazla silika çözünmesi ya da çökelimi meydana gelmez.

Bu çalışma kapsamında Zilan havzasındaki 111 ve 112 nolu sıcak su kaynakları ile Bendimahi havzasındaki 113 nolu sıcak su kaynağında silisyum çok yüksek miktarlarda bulunduğundan ölçülememiş olup, 114 ve 115 nolu sıcak su kaynakları için silisyum değeri ölçülebilmektedir. 114 ve 115 nolu sıcak su kaynaklarının kuvarsın son denge sıcaklığı ile korelasyonu sonucu Fournier (1977)'nin silika – entalpi modeli oluşturularak rezervuar sıcaklığı tahmin edilmiştir. Söz konusu modele göre rezervuara inildiğinde soğuk su karışımı olmadan elde edilecek hazne kaya sıcaklığı 207 °C civarında bulunmuştur (Şekil 4.81).



Şekil 4.81: 114 ve 115 nolu sıcak su kaynakları için silika-entalpi modeli.

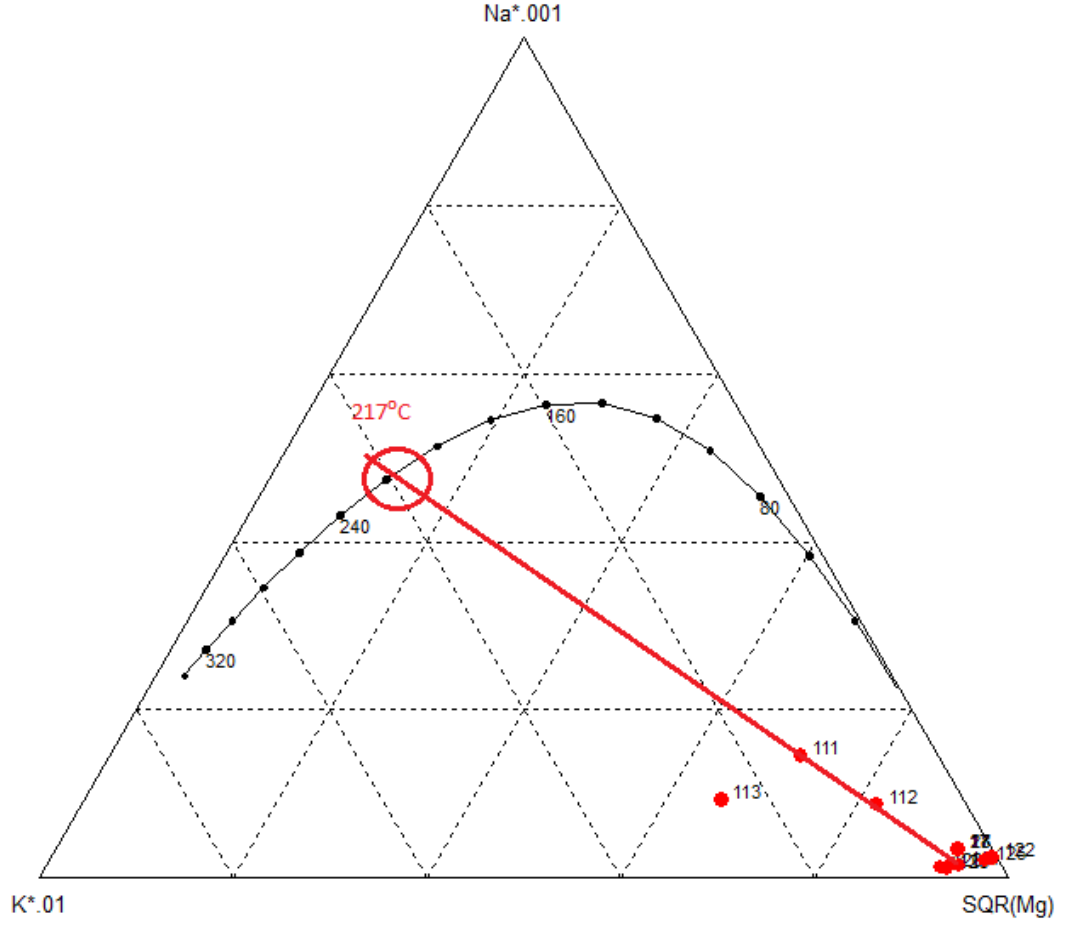
Başlangıç sıcaklığı 200°C 'nin üzerinde sıcaklığa sahip kaynaklarda klorit-entalpi grafiği daha iyi çalışmaktadır. Bu modelde; karışımın önce ya da sonra sıcaklık kaybı ya da kazancı meydana gelmez; karışımın sonra kuvarsla yeniden dengelenme meydana gelir (200°C 'nin üzerinde) ve karışım suyunun yükselimi sırasında silika çökelmez. Bu çalışma kapsamındaki sıcak su kaynakları düşük sıcaklıklı kaynaklar olduğundan Cl-entalpi modeli uygulanmamıştır.

4.4.4.4. Birleşik (Kombine) Jeotermometre Uygulamaları

Sıcak suların hazne sıcaklıklarının belirlenmesi ve suların ilişkide olduğu kayalarla olan denge durumlarının belirlenmesi için kullanılan Na-K-Mg birleştirilmiş jeotermometresi ile hem sıcak suların hazne sıcaklıkları hızlı bir şekilde yorumlanabilmekte, hem de

katyon jeotermometrelerinin geçerliliği sınanmaktadır (Giggenbach, 1988). Giggenbach (1988) tarafından geliştirilen Na-K-Mg üçgen diyagramı Na-K ve K-Mg jeotermometrelerinin üçgen diyagrama aktarılması ile oluşturulmuştur. Bu diyagram üzerinde bazı yenilemeler yapılarak en güvenilir sonuçların bu üçgen diyagramdan oluşan jeotermometre uygulaması ile alınabileceği öne sürülmektedir (Fournier, 1990). Diyagram, su-kayaç ilişkisinin dengede olduğu sular, dengede olmadığı (ham sular) ve su-kayaç ilişkisinin kısmen dengede olduğu sular olmak üzere 3 bölümden oluşmaktadır. Diyagramda kısmen olgunlaşmış sularla, olgunlaşmamış suları birbirinden ayıran eğri olgunlaşma indeksinin MI (Maturity Index), $MI = 2.0$ olduğu eş kimyasal özellikteki noktaların birleşimiyle oluşmuştur (Tarcın, 2002). Söz konusu diyagram için, Giggenbach (1988), “olgun olmayan (immature) (denge halinde olmayan)” seyreltilmiş jeotermal sularda K-Na arasındaki denge sıcaklığının kullanılarak değerlendirme yapılmasının uygun olmadığını, “olgun olan (mature) denge durumunda olan sular)” hattında ve üzerinde yer alan jeotermal suların katyon jeotermometrelerinin daha doğru sonuç vereceğini belirtmiştir. Dolayısıyla katyon jeotermometrelerinin kullanımının güvenilir olabilmesi için, sıcak suların denge durumunda olan sular hattında veya bu hattın üzerinde konumlanmış olması gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında Giggenbach diyagramındaki soğuk ve sıcak suların hiçbiri denge eğrisinde yer almayıp, kayaçlarla kimyasal etkileşimini tamamlamamış olan “ham su (dengede olmayan sular)”dır. Bu nedenle katyon jeotermometrelerinin kullanımının güvenilir olmadığı düşünülmektedir. Söz konusu kaynakların rezervuar sıcaklığı tahmin edilirken kimyasal jeotermometrelerden sadece silis jeotermometresi uygun görülmektedir. Ayrıca bu çalışma kapsamında Na-K-Mg birleşik jeotermometresi kullanılarak rezervuar sıcaklığı da tahmin edilmeye çalışılmıştır. Diyagramda 111 ve 112 nolu sular doğrusallık arz ederken 113 nolu su bu doğrusallığa uyum göstermemektedir. Doğrusallık gösteren iki suya göre rezervuar sıcaklığının yaklaşık olarak 217°C olduğu saptanmıştır (Şekil 4.82).



Şekil 4.82: Na-K-Mg birleşik jeotermometresi (Giggenbach, 1988).

4.4.4.5. Hazne Kaya Sıcaklık Tahminlerinin Değerlendirilmesi

Zılan havzasındaki 111 nolu Hasanabdal ve 112 nolu Taşkapı sıcak su kaynaklarına ait rezervuar sıcaklığı Giggenbach (1988)'in Na-K-Mg birleşik jeotermometresi kullanılarak yaklaşık 217 °C olarak tahmin edilmiştir. Söz konusu kaynaklarda silis ölçümü yapılamadığından silis jeotermometreleri uygulanamamış olup, Na-K-Mg birleşik jeotermometresinde 111 ve 112 nolu sıcak su kaynakları ham su bölgesinde yer aldığından katyon jeotermometrelerinin kullanımı uygun bulunmamıştır. Bendimahi havzasındaki 113 nolu Ayrancılar sıcak su kaynağında MTA (2003) tarafından Çaldıran ilçesi Ayrancılar mevkiinde 573 m derinlikte açılan sondaj kuyusunda üretim artezyen ile sağlanmış ve akışkan sıcaklığı 83 °C ve debisi 15 l/s olarak ölçülmüştür. Bu çalışma kapsamında 113 nolu sıcak su kaynağında silisyum ölçülemediğinden, silis jeotermometresi uygulanamamış olup, sadece Na-K, Na-K-Ca ve K-Mg katyon jeotermometreleri uygulanabilmektedir. Giggenbach (1988)'in Na-K-Mg üçgen

diyagramına göre 113 nolu sıcak su kaynağının da diğer soğuk ve sıcak sular gibi olgunlaşmamış (denge durumunda olmayan, ham su) bölgede yer alması, bu kaynaktaki rezervuar sıcaklığı tahmininde katyon jeotermometresinin kullanımının güvenilir olmayacağını göstermiştir. Bu nedenle 113 nolu Ayrancılar sıcak su kaynağının rezervuar sıcaklığı tahmin edilirken, silis ölçümü yapılabilmüş 114 ve 115 nolu sıcak su kaynakları ile bunlarla kısmen anomali vermiş kısmen yüksek sıcaklıklı 26 nolu soğuk su kaynağı (19.1 °C) silika – entalpi karışım modelinde değerlendirilmiştir. Ayrancılar sıcak su kaynağının rezervuar sıcaklığı da herhangi bir soğuk su karışımı olmaksızın yaklaşık 207 °C olarak tahmin edilmiştir. Fakat MTA (2003) tarafından ölçülen akışkan sıcaklığının 83 °C olması, tahmin edilen 207 °C sıcaklık ile 83 °C arasındaki büyük fark nedeniyle, 113 nolu Ayrancılar sıcak su kaynağının da soğuk su karışım süreçlerinden etkilenmiş olabileceğini göstermiştir.

114 nolu Koçovası sıcak su kaynağında, yüzeyde ölçülen sıcaklık 25.8 °C iken, amorf silis jeotermometre sonucu yüzeyde ölçülenden düşük (16.84 °C) çıkmıştır. 114 nolu Koçovası sıcak su kaynağında atmosferde ölçülen sıcaklık değerinin akifer sıcaklığından daha yüksek olması, suyun iletimle soğuma (suyun ısıyı ileterek soğuması) şeklinde bir soğuma süreci geçirdiğini göstermekte ve amorf silis jeotermometresi ile hesaplanan rezervuar sıcaklığının yüzeyde ölçülenden düşük olması ise rezervuardaki silis çözünürlüğünün kalsedon gibi daha duraylı bir faz ile denetlendiğini göstermektedir. Dolayısıyla Koçovası sıcak su kaynağının rezervuar sıcaklığı, kalsedon jeotermometresi kullanılarak hesaplandığında geçirmiş olduğu soğuma süreci nedeniyle 110.39 °C olarak tahmin edilirken, silika-entalpi karışım modeli ve Na-K-Mg birleşik jeotermometresine göre herhangi bir soğuma gerçekleşmeksizin elde edilecek orijinal rezervuar sıcaklığı 207 ile 217 °C arasında tahmin edilmektedir. 115 nolu Buğulukaynak sıcak su kaynağında ise yüzeyde ölçülen sıcaklık 33.5 °C iken, amorf silis jeotermometre sonucu 49.54 °C ile yüzeyde ölçülen sıcaklığa yakın bir değer olup, tüm jeotermometre sonuçlarına genel olarak bakıldığında birbiri ile uyumlu olmayan çok geniş bir aralıkta seyreden sıcaklıkların hesaplandığı görülmektedir. Bu durum, 115 nolu sıcak su kaynağının soğuk sular ile karışmış olabileceğini göstermektedir. Ayrıca 114 ve 115 nolu sıcak su kaynaklarındaki yüksek Mg içeriği de bu suların soğuk yeraltı suları ile karışmış olabileceğine işaret eder. Burada da 114 nolu Koçovası kaynağında olduğu gibi silis

jeotermometrelerinden kalsedon jeotermometresinin sıcaklık tahmininde kullanımının daha uygun olduğu düşünülmekte ve kalsedon jeotermometresine göre hazne sıcaklığı 150.62 °C olarak tahmin edilmektedir. 115 nolu Buğulukaynak sıcak su kaynağında herhangi bir karışım olmaksızın tahmin edilen hazne sıcaklığı ise silis-entalpi karışım modeli ve Na-K-Mg birleşik jeotermometresine göre 207 ile 217 °C arasındadır.

4.4.5. Litoloji-Su Kimyası İlişkisi

Litoloji-su kimyası ilişkileri değerlendirilirken, Zılan (Erciş) ve Bendimahi (Muradiye-Çaldıran) havzalarında suların hangi litolojiye sahip kayalardan boşaldığının daha sağlıklı bir şekilde anlaşılabilmesi için, örnek alınan her bir lokasyon için ayrı olmak üzere noktasal bir değerlendirme yapılmıştır. Böylece tüm havza için genelleme yapılmamış olup, daha detaylı ve anlaşılır bir değerlendirme yapılmaya çalışılmıştır. Litoloji-su kimyası ilişkilerinin belirlenmesinde Şahinci (1991b) tarafından yapılan tanımlamalar kullanılmıştır. Söz konusu tanımlamalar Tablo 4.46'da, tüm örneklerin köken kayacı ve formasyonu ile ilgili bilgiler ise Tablo 4.47'deki gibidir. Şahinci (1991b)'e göre;

- Kireçtaşlarından gelen sular karbonatça zengin, Cl ve SO₄ iyonlarınca fakirdir. Kireçtaşlarından gelen sular, CO₃ > SO₄ (veya Cl) ve Ca > Mg (veya Na) özelliğindedir. Örneğin, kireçtaşlarından gelen sularda iyon bolluk sıralaması genellikle Ca > Mg > Na > K - HCO₃ > SO₄ > Cl şeklindedir.
- Dolomitlerden gelen sular kireçtaşlarından gelen sulara benzer, ancak Mg/Ca oranı yüksektir. Örneğin, dolomitlerden gelen sularda iyon bolluk sıralaması genellikle Mg > Ca > Na > K - HCO₃ > SO₄ > Cl şeklindedir.
- Jipslerden gelen sular, karbonat ve sülfat iyonlarınca zengindir. Jipslerden gelen sularda iyon bolluk sıralaması genellikle Ca > Mg > Na > K - SO₄ > HCO₃ > Cl şeklindedir.
- Killi ve marnlı kayalardan gelen sularda; killerin gözenekliliği fazla, geçirgenliği az, daneleri ufak olduğundan killer suyla uzun süre beraber olmaktadır. Ayrıca killerin kolloidal yapılarının Cl ve SO₄ iyonlarını soğurması, bu gibi kayalardan

gelen suların tuz iyonlarınca zenginleşeceğini göstermektedir. Karbonat bileşimleri söz konusu sularda diğer kayalardan gelenlere benzer ancak; SO_4 ve Cl iyonları diğer kayalardan gelen sulara kıyasla (jipsli arazilerden gelen sular dışında) fazladır. SO_4 fazlalığı, Ca ve Mg 'nin, Cl 'nin yükselmesi ise; Na iyonunun artmasına neden olur. Killi arazilerde iyon değişimi önemli olmakla birlikte, sodyumlu killere sudaki Ca ve Mg ile iyon değişimi yaparak suları Na iyonlarınca zenginleştirir. Kalsiyumlu killerde ise, bu iyon değişimi ters yönde olmaktadır. Killi arazilerden gelen sularda genellikle SiO_2 miktarı fazladır (Şahinci, 1991b). Örneğin; marn, kil, şeyl ve silt gibi kayalardan gelen sularda iyon bolluk sıralaması genellikle $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} - \text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$ şeklindedir.

- Kum ve kumtaşlarından gelen sularda, çimentosu CaCO_3 olan kum ve kumtaşları genellikle geçirgen, yeraltısuyu akımı kireçtaşlarına kıyasla daha yavaş ve suyun dokanak yüzeyi fazladır. SO_4 , Cl , Na , Mg , Ca iyonları kireçtaşlarına oranla daha fazladır. Karbonat bileşimleri kireçtaşlarına benzer. Tropikal iklimlerde bu kayaçlardaki CO_3 iyonları kireçtaşlarınınkinden fazla ve buharlaşma kalıntısı yüksektir. Örneğin; kumtaşlarından gelen sularda iyon bolluk sıralaması genellikle $\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{K} - \text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ şeklindedir. Saf silisli kum ve kumtaşlarında CaCO_3 'ün bulunmaması, bu kayalardan gelen sularda HCO_3 ve CO_3 iyonlarının azlığına neden olur. Ayrıca CO_2 gerilimi fazla olacağından sular saldırgandır ve pH 5 ile 6 arasındadır. Buharlaşma kalıntısı azdır; SO_4 ve Cl iyonları kireçtaşlarından gelen sulara oranla önemsizdir ve genellikle Na iyonları, Ca iyonlarından fazladır (Şahinci, 1991). Ayrıca; magmatik ve saf kuvarslı kum, kumtaşlarından gelen sularda buharlaşma kalıntısı az ve karbonat değerleri olağan değerlerin altındadır (Şahinci, 1991).
- Bazaltik kayalardan gelen sularda Na iyonu, Cl iyonundan fazla olduğu için, $(\text{Cl} - \text{Na}) / \text{Cl}$ oranı eksidir. Ca/Mg oranı 1'e yakın veya 1'den büyüktür. Bazaltlardan gelen sular, genellikle daha az asidik olması nedeniyle granitlerden gelen sulara oranla daha fazla silis içerir. SO_4/Cl oranı 1'e yakındır. Bazaltik kayalarda SO_4 ve Cl iyonları fazla bulunmaz, CO_3 iyonu diğer yüzey magmatik kayalara oranla daha önemli miktarlardadır. Gabrodan gelen sulardaki iyon bolluk sıralaması

genellikle $\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{K} - \text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ şeklindedir. Bazaltlardan gelen sulardaki iyon bolluk genellikle $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K} - \text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$ şeklindedir. Ultramafik kayadan gelen sulardaki iyon bolluk sıralaması genellikle $\text{Mg} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Na} - \text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$ şeklindedir. Ultrabazik kayadan (peridotit, piroksenit, serpantinit, lamprofir gibi kayalar) gelen sulardaki iyon bolluk sıralaması genellikle $\text{Mg} > \text{Ca} > \text{Na} > \text{K} - \text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$ şeklindedir. Peridotitlerden gelen sulardaki iyon bolluk sıralaması genellikle $\text{Mg} > \text{Ca} > \text{Na} > \text{K} - \text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$ şeklindedir. Serpantinlerden gelen sulardaki iyon bolluk sıralaması genellikle $\text{Mg} > \text{Ca} > \text{Na} > \text{K} - \text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$ şeklindedir.

- Asidik magmatik derin ve yüzey kayalarından granit, riyolit, andezit ve dasitte, silis ile K ve Na-feldispatlar egemendir. Dolayısıyla bu tür kayalardan gelen sulara, Na/K oranının yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle Na miktarının Mg'ye göre daha fazla olduğu görülür. Granitten gelen sulara iyon bolluk sıralaması genellikle $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K}$ (veya $\text{Na} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{K}$) - $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ (veya $\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$) şeklindedir. Genel olarak granitlerden gelen sulara Na miktarı, Cl'den fazladır ve bunun her zaman iyon değişiminden meydana gelebileceği düşünülmez. Granitlerden gelen sular alkalilerce çok zengindir. Granitlerin bozunumu çok zor olduğundan sulara çok az tuz çözeltisi ve fazla miktarda CO_2 bulunur (Şahinci, 1991). Riyolitten gelen sulara iyon bolluk sıralaması genellikle $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} - \text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$ (veya $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$) şeklindedir. Slisli volkanik kayalarda iyon bolluk sıralaması genellikle $\text{Na} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} - \text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ şeklindedir. Andezit ve dasitten gelen sulara ise iyon bolluk sıralaması genellikle $\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{K} - \text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ (veya $\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$) şeklindedir.

Tablo 4.46: Şahinci (1991b)'e göre doğal suların iyon bolluk sıralaması - suyun köken kayası ilişkisi.

Doğal Suların Katyon ve Anyon Bolluk Sıralanımı	Suyun geldiği kaya
Ca > Mg > Na > K - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Kireçtaşı veya Mermer
Mg > Ca > Na > K - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Dolomit
Ca > Mg > Na > K - SO ₄ > HCO ₃ > Cl	Jips
Na > Ca > Mg > K - Cl > SO ₄ > HCO ₃	Marn, kil, şeyl ve silt gibi kayalardan gelen sular
Ca > Na > Mg > K - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Kum ve kumtaşları veya gabro
Ca > Mg > Na > K - HCO ₃ > Cl > SO ₄	Bazalt
Mg > Ca > K > Na - HCO ₃ > Cl > SO ₄	Ultramafik kayalardan gelene sular
Mg > Ca > Na > K - HCO ₃ > Cl > SO ₄	Ultrabazik kayalardan gelen sular (Peridotit, serpantinit vs.)
Na > Ca > Mg > K - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Granit
Na > Ca > Mg > K - HCO ₃ > Cl > SO ₄	Riyolit
Ca > Na > Mg > K - HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Andezit ve dasit

4.4.5.1. Zılan Havzası (Erciş) Soğuk ve Sıcak Su Kaynaklarında Litoloji-Su Kimyası İlişkisi

Zılan havzasındaki soğuk ve sıcak su kaynaklarının litoloji - su kimyası ilişkileri incelenirken, iyonların bolluk sıralaması meq/l cinsinden hesaplandıktan sonra, anyon ve katyon sıralamasına bakılmıştır. Şahinci (1991b) tarafından anyon-katyon sıralaması esas alınarak yapılan tanımlamalar, Zılan havzasındaki litostratigrafik birimler ile kıyaslanarak soğuk ve sıcak su kaynaklarının hangi litolojik birimden gelebileceği tahmin edilmiştir. Zılan havzasına ait genelleştirilmiş litostratigrafik kesit incelendiğinde tabandan tavana doğru sırasıyla; Mehmetkaya granitoyidi (Kmg), Gergili ofiyolitik melanji (Kgo), Eşengöl flışı içerisindeki çamurtaşı, marn, kumtaşı, çakıltası, mikritik kireçtaşı gibi kayaçlar (Tee), Adilceviz kireçtaşı (Tma), Kızıldere Formasyonu içerisindeki (marn bantları, killi kireçtaşı, kumtaşı, aglomera, pomza, tuf ve volkanik lav) (Tmk), Aladağ riyoliti (Tmar), Aladağ bazaltı (Tmab), Aladağ andeziti (Tmaa), Ağırkaya volkanitleri (Tmav) (ignimbiritik çökeller ve piroklastik geri düşme ürünleri), Yörelî Formasyonu içerisindeki (kıltaşı, marn, kumtaşı) (Tmy), Erciş plato bazaltları (Tplepb), Beyüzümü Formasyonu içerisindeki (kokinalı kireçtaşı, kumtaşı ve çakıltası) (Tplb), Bayramlı Formasyonu içerisindeki (kireçtaşı, silttaşı, çakıltası) (PlQb), Meydan volkanitleri (bazalt, piroklastikler vs..) (QMv) ve Meydan piroklastikleri (QMp), Girekol volkanitleri (bazalt) (Qgv) ve alüvyon birimler (Qal) olmak üzere sıralanmaktadır. Zılan havzasının güneyindeki ve kuzeyindeki soğuk ve sıcak su kaynakları Şekil 4.83 ve Şekil

4.84'deki gibidir. Şekillerde yeşil noktalar soğuk su kaynaklarını, kırmızı noktalar sıcak su kaynaklarını ve mavi simgeler ise kuyuları ifade etmektedir.

Tablo 4.47: Örneklerin köken kayacı ve bulunduğu formasyona ait bilgiler.

Havza	Örnek Türü	Su Türü	Örnek No	Köken kayacı	Formasyonu
Zilan	Kayanak	Soğuk	1	Kireçtaşı	Adilcevaz kireçtaşı
			2	Kireçtaşı	Adilcevaz kireçtaşı
			4	Kireçtaşı	Adilcevaz kireçtaşı
			5	Kireçtaşı	Adilcevaz kireçtaşı
			6	Andezit	Aladağ andezitleri
			7	Kireçtaşı	Adilcevaz kireçtaşı
		Sıcak	111	Marn	Kızıldere Formasyonu
			112	Marn	Kızıldere Formasyonu
Bendimahı	Kaynak	Soğuk	8	Karbonat	Van Formasyonu
			9	Kireçtaşı	Yüksekova Karmaşığı (Bakışık melanji ve olistrostromu)
			10	Karbonat	Van Formasyonu
			11	Plato Bazaltları	Muradiye plato Bazaltları
			12	Karbonat	Van Formasyonu
			13	Kireçtaşı	Adilcevaz kireçtaşı
			14	Kireçtaşı	Bayramlı Formasyonu
			15	Andezit	Kösedag volkanitleri
			16	Mikritik kireçtaşı	Eşengöl Flişi
			17	Granit	Yüksekova Karmaşığı
			18	Granit	Yüksekova Karmaşığı
			19	Pelajik kireçtaşı	Yüksekova Karmaşığı (Radyolarit - Çört Üyesi)
			20	Kumtaşı	Saray Formasyonu
			21	Mikritik kireçtaşı	Eşengöl Flişi
			22	Kumtaşı	Eşengöl Flişi
			24	Kireçtaşı	Adilcevaz kireçtaşı
			25	Kireçtaşı	Adilcevaz kireçtaşı
			26	Peridotit	Yüksekova Karmaşığı (Mehmetalan Peridotiti)
			27	Riyolit	Kösedag volkanitleri
		Sıcak	113	Riyolit	Kösedag volkanitleri
			114	Dolomit	Yüksekova Karmaşığı (Bakışık melanji ve olistrostromu)
			115	Dolomit	Yüksekova Karmaşığı (Bakışık melanji ve olistrostromu)
	Kuyu	Soğuk	116	Plato Bazaltları	Muradiye plato Bazaltları
			117	Dolomit	Yüksekova Karmaşığı (Bakışık melanji ve olistrostromu)
			118	Karbonat	Van Formasyonu
			119	Andezit	Etrusk volkanitleri
			120	Mikritik kireçtaşı	Eşengöl Flişi
			121	Peridotit	Yüksekova Karmaşığı (Mehmetalan Peridotiti)
			122	Granit	Yüksekova Karmaşığı
			123	Peridotit	Yüksekova Karmaşığı (Mehmetalan Peridotiti)
			124	Bazalt	Bendimahi bazaltları
			125	Serpantinit	Yüksekova Karmaşığı (Bakışık melanji ve olistrostromu)
			126	Serpantinit	Yüksekova Karmaşığı (Bakışık melanji ve olistrostromu)

Zilan Havzası (Erciş) Soğuk Su Kaynakları Litoloji-Su Kimyası İlişkisi

1 Nolu Soğuk Su Kaynağı

1 nolu soğuk su kaynağı, Erciş ilçesinin Yukarıışıklı köyünde konumlanmıştır. Erciş ilçesinin içme suyu ihtiyacının karşılayan 918 l/s debiye sahip önemli bir kaynaktır. 1 nolu soğuk su kaynağındaki iyon bolluk sıralaması ($Mg > Ca > Na > K - HCO_3 > SO_4 > Cl$) şeklindedir. 1 nolu soğuk su kaynağının hangi litolojik birimden boşaldığını belirlemek için, litostratigrafik istifte yer alan tüm birimler için, Şahinci (1991b) tarafından hangi suların hangi litolojiden boşalabileceğine yönelik yapılmış tanımlamalar dikkate alınarak kaynağın hangi litolojiden boşaldığı belirlenmiştir. Şahinci (1991b)'ye göre söz konusu sıralama suyun dolomit kayasından gelebileceğini göstermektedir. Fakat Mg ve Ca değerlerinin birbirine yakın değerler olması ve 1 nolu soğuk su kaynağının bulunduğu bölgede dolomit bulunmaması nedeniyle iyon bolluk sıralamasında Ca'nın Mg'den daha fazla olabileceği kabul edilmiştir. Bu durumda $Ca > Mg > Na > K - HCO_3 > SO_4 > Cl$ şeklindeki iyon sıralamasına göre 1 nolu soğuk su kaynağının Adilcevaz kireçtaşlarından (Tma) boşaldığı düşünülmektedir.

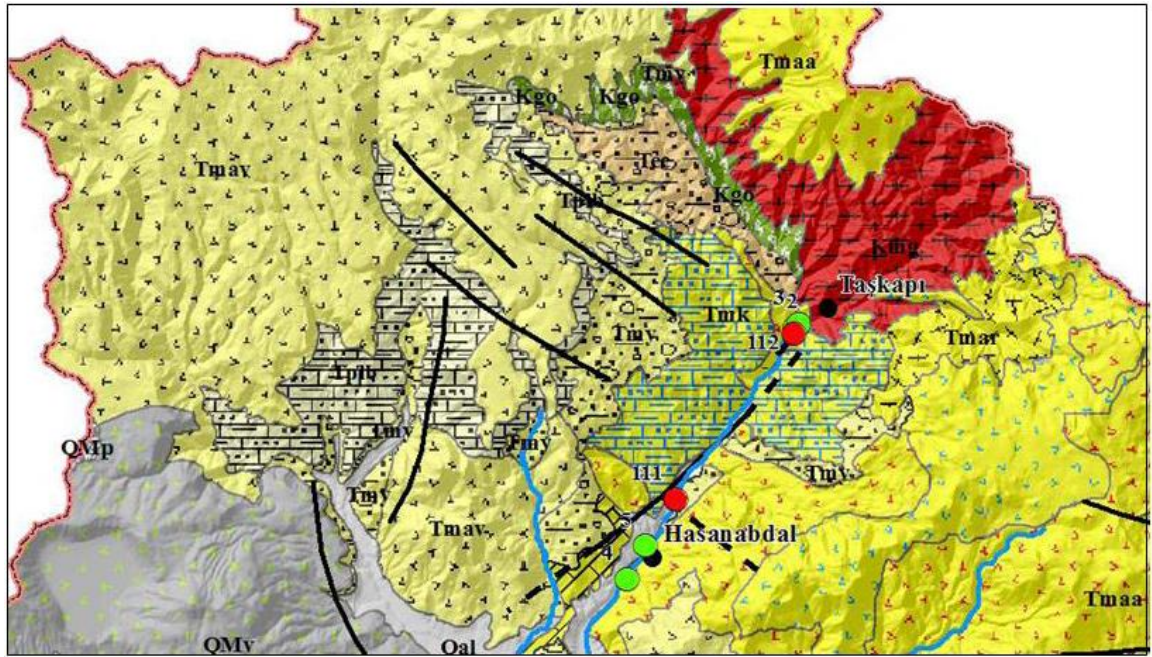
2, 4, 5 ve 7 Nolu Soğuk Su Kaynakları

2 nolu soğuk su kaynağı Erciş ilçesinin Taşkapı köyünde, 4 ve 5 nolu soğuk su kaynakları Erciş ilçesinin Hasanabdal köyünde, 7 nolu soğuk su kaynağı ise Erciş ilçesinin Ağaören köyünde konumlanmıştır (Şekil 4.86). 2, 4, 5 ve 7 nolu soğuk su kaynaklarının tümünde kanyon sıralaması ($Ca > Mg > Na > K$) ve anyon sıralaması ($HCO_3 > SO_4 > Cl$) şeklindedir. İyonların sıralaması, Zilan havzasındaki litolojik birimler ile kıyaslandığında, Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama sadece kireçtaşı birimine uymaktadır. Dolayısıyla söz konusu kaynakların Adilcevaz kireçtaşlarından (Tma) boşaldığı sonucuna varılmıştır.

6 Nolu Soğuk Su Kaynağı

6 nolu soğuk su kaynağı, Erciş ilçesinin Keklikırtı köyünde konumlanmıştır. 6 nolu soğuk su kaynağındaki kanyon sıralaması ($Ca > Na > Mg > K$) ve anyon sıralaması ($HCO_3 > SO_4 > Cl$) şeklindedir. Şahinci (1991b), asidik magmatik derin ve yüzey kayalarından granit, riyolit, andezit ve dasitte, silis ile K ve Na-feldispatlar egemen olduğunu belirtmektedir. Dolayısıyla bu tür kayalardan gelen sularda, Na/K oranının yüksek olduğunu ve Na miktarının Mg'ye göre daha fazla olduğunu ifade etmiştir. 6 nolu

soğuk su kaynağındaki iyonların sıralaması, Zilan havzasındaki litolojik birimler ile kıyaslandığında, Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama andezit birimine uymaktadır. Na/K oranının yüksek olması (2.22 meq/l) ve Na miktarının (0.18 meq/l) Mg'ye (0.12 meq/l) göre fazla olması da, bu tahmini doğrulamaktadır. Dolayısıyla söz konusu kaynağın Aladağ andezitlerinden (Tmaa) boşaldığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.83: Zilan havzası kuzeyinde yer alan soğuk ve sıcak su kaynakları.

Zilan Havzası (Erciş) Sıcak Su Kaynakları Litoloji-Su Kimyası İlişkisi

111 Nolu Sıcak Su Kaynağı

111 nolu sıcak su kaynağı, Erciş ilçesi Hasanabdal köyünde konumlanmıştır. 111 nolu sıcak su kaynağındaki katyon sıralaması ($\text{Na} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Mg}$) ve anyon sıralaması ($\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$) şeklindedir. Şahinci (1991b)'e göre, marn, kil, şeyl ve silt gibi kayalardan gelen sularda iyon bolluk sıralaması genellikle $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} - \text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$ şeklindedir. 111 nolu sıcak su kaynağında K ve Mg değerleri birbirine çok yakın değerler olduğundan; marn gibi bir kayadan sıcak suyun gelebileceği düşünülmüştür.

düşünülmektedir. Dolayısıyla Zilan havzasına ait stratigrafik istif incelendiğinde, 112 nolu sıcak su kaynağının da Kızıldere Formasyonu (Tmk) içerisinde yer alan (marn bantları, killi kireçtaşı, kumtaşı, aglomera, pomza, tuf ve volkanik lav) birime uygun olduğu ve bu birimden gelebileceği düşünülmektedir. Burada da Na miktarının diğer katyonlara kıyasla yüksek olduğu görülmektedir. 112 nolu sıcak su kaynağının da akifer (hazne) kayasını Kızıldere Formasyonu içerisindeki marn (killi kireçtaşları) oluştururken, örtü kayasını ise az geçirimli Aladağ volkanitleri oluşturmaktadır.

4.4.5.2. Bendimahi Havzası (Muradiye - Çaldıran) Soğuk ve Sıcak Su Kaynakları ile Kuyu Sularında Litoloji-Su Kimyası İlişkisi

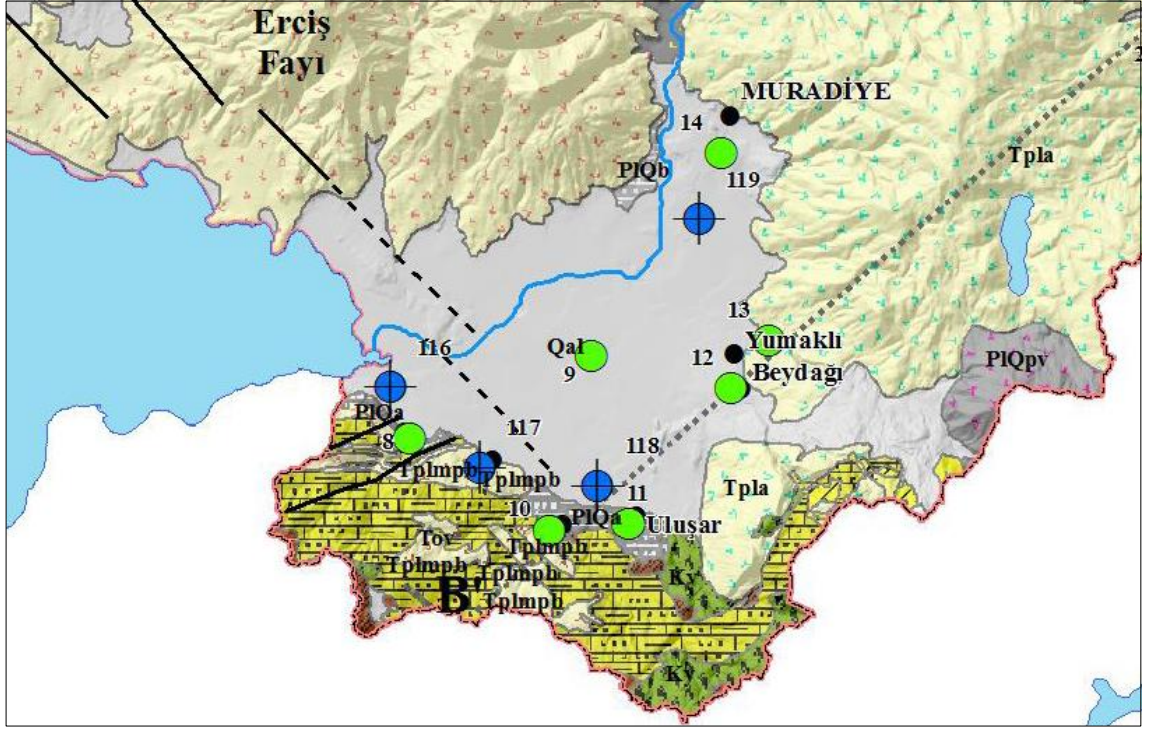
Bendimahi havzasındaki soğuk ve sıcak su kaynakları ile kuyu sularının litoloji - su kimyası ilişkileri incelenirken, iyonların bolluk sıralaması meq/l cinsinden hesaplandıktan sonra, anyon ve katyon sıralamasına bakılmıştır. Şahinci (1991b) tarafından anyon-katyon sıralaması esas alınarak yapılan tanımlamalar, Bendimahi havzasındaki litostratigrafik birimler ile kıyaslanarak kaynakların hangi litolojik birimden gelebileceği tahmin edilmiştir. Bendimahi havzasına ait genelleştirilmiş litostratigrafik kesit incelendiğinde tabandan tavana doğru sırasıyla; Tepedam metamorfikleri (Pzt) - (meta-konglomera, meta-kumtaşı, kuvarsit, klorit-serizit şist, mermer), Kazlıgöl Formasyonu (Pzk) - (bol mikali şeyller), Yamanyurt Formasyonu (Pzy) - (neritik kireçtaşı), Yüksekova Karmaşığı içerisindeki ((Mehmetalan peridotiti (piroksenit, dunit, lerzolit, serpantinit), Bakışık melanji ve olistrostromu (serpantinit, harzburjit, dunit, gabro, kireçtaşı, büyük boyutta mermer tektonik dilimler), split, bazalt, resifal kireçtaşı, radyolarit-çört üyesi), Toprakkale Formasyonu (Tpt) - (kireçtaşı, kumlu kireçtaşı), Eşengöl Flişi (Tee) - (çamurtaşı, marn, kumtaşı, çakıltası, mikritik kireçtaşı), Van Formasyonu (Tov) - (karbonat şelfi, kumtaşı, şeyl ardaalanmaları), Adilcevaz kireçtaşı (Tma), Alikelle dasiti (Tmad), Köseadağ volkanitleri (Tplkv) - (piroklastik çökeller, riyoilitik ve trakitik bileşime sahip lavlar), Argıt volkanitleri (Tpla), Etrüsk volkaniti (Tplev) - (trakitten riyoilite kadar lavlar ve piroklastik geri düşme ürünleri), Muradiye plato bazaltları (Tplmpb), Ağartı Formasyonu (Tplag) içerisindeki (çakıltası, kumtaşı, kıltaşı ve silttaşı ardaalanmaları, pomzalı gölsel çökeller, marn, kireçtaşı, silttaşı ardaalanması), Alaköy Formasyonu (PIQa) içerisindeki kıltaşı, silttaşı ve marn ardaalanmasından oluşan gölsel çökeller, Saray Formasyonu (PIQs) içerisindeki çakıltası, kumtaşı, kıltaşı ve silttaşı ardaalanması ve yer yer izlenen killi kireçtaşları, Bayramlı

Formasyonu (PIQb) içerisindeki kireçtaşı, silttaşı ardalanması, Pirreşit volkanitleri (PIQpv) (bazalt), Bendimahi tefrit-bazanit (Qbt), Tendürek volkanitleri (QTV) - (bazalt, trakibazalt, trakit, bazalt lavı, pomza) ve alüvyon (Qal) biriminden oluşmaktadır. Muradiye ve Çaldıran ilçelerinde yer alan soğuk ve sıcak su kaynakları ile kuyu suları Şekil 4.85 ve Şekil 4.86'daki gibidir. Şekillerde yeşil noktalar soğuk su kaynaklarını, kırmızı noktalar sıcak su kaynaklarını ve mavi simgeler ise kuyuları ifade etmektedir.

Bendimahi Havzası (Muradiye-Çaldıran) Soğuk Su Kaynakları Litoloji-Su Kimyası İlişkisi

8 Nolu Soğuk Su Kaynağı

8 nolu soğuk su kaynağı Muradiye ilçesi Ovapınar köyünde bulunmaktadır. 8 nolu soğuk su kaynağındaki katyon sıralaması ($Ca > Mg > Na > K$) ve anyon sıralaması ($HCO_3 > SO_4 > Cl$) şeklindedir. Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama, kireçtaşlarından veya mermerlerden gelen suları temsil etmektedir. 8 nolu soğuk su kaynağı çevresindeki kireçtaşı veya mermer içeren birimler incelenmiştir. 8 nolu kaynak çevresinde, bu çalışma kapsamında Tov olarak adlandırılan Van Formasyonunda karbonat, Ky olarak adlandırılan Yüksekova karmaşığı içerisinde Bakışık melanji ve olistrostromu bünyesindeki mermer ve Pzt olarak adlandırılan Tepedam metamorfitleri içerisinde de mermer bulunmaktadır. Konumu itibarıyla söz konusu kaynağa en yakın birim Van Formasyonu'na ait birimlerdir. Dolayısıyla 8 nolu soğuk su kaynağının bu formasyondaki karbonatlardan geldiği düşünülmektedir.



Şekil 4.85: Muradiye ilçesinde yer alan soğuk su kaynakları ve kuyu suları.

9 Nolu Soğuk Su Kaynağı

9 nolu soğuk su kaynağı Muradiye ilçesi Köşköy'de bulunmaktadır. 9 nolu soğuk su kaynağındaki katyon sıralaması ($\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$) ve anyon sıralaması ($\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$) şeklindedir. Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama, kireçtaşlarından veya mermerlerden gelen suları temsil etmektedir. Bu durumda, 9 nolu soğuk su kaynağı çevresindeki kireçtaşı veya mermer içeren birimler incelenmiştir. Kaynak çevresinde kireçtaşı içeren birimler, bu çalışma kapsamında Tov olarak adlandırılan Van Formasyonu ve Ky olarak adlandırılan Yüksekova karmaşığı içerisinde Bakışık melanji ve olistrostromu içinde yer alan kireçtaşlarıdır. Mermer içeren birim ise, yine Bakışık melanji ve olistrostromudur. 9 nolu soğuk su kaynağındaki iyon sıralamasının yanı sıra, kaynağın ağır metal (Cr) de barındırdığı görülmüştür. Ağır metaller, genellikle magma kökenli kayalardan kaynaklı olduğundan ve Bakışık melanjında da magma kökenli serpantin, harzburjit, dunit ve gabro gibi magmatik kayalar bulunduğundan 9 nolu soğuk su kaynağının Üst Kretase Bakışık melanji ve olistrostromu kökenli olduğu sonucuna varılmıştır.

10 Nolu Soğuk Su Kaynağı

10 nolu soğuk su kaynağı Muradiye ilçesi Topuzarpa köyünde bulunmaktadır. 10 nolu soğuk su kaynağındaki katyon sıralaması ($\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$) ve anyon sıralaması ($\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$) şeklindedir. Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama, kireçtaşlarından veya mermerlerden gelen suları temsil etmektedir. 10 nolu soğuk su kaynağı çevresindeki kireçtaşı veya mermer içeren birimler incelenmiştir. 10 nolu kaynak çevresinde, bu çalışma kapsamında Tov olarak adlandırılan Van Formasyonunda karbonat, Ky olarak adlandırılan Yüksekova karmaşığı içerisinde Bakışık melanji ve olistrostromu içinde yer alan mermer ve Pzt olarak adlandırılan Tepedam metamorfikleri içerisinde de mermer bulunmaktadır. 10 nolu kaynağın, konumu itibarıyla Van Formasyonu'ndan daha fazla etkilenebileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla bu kaynaktan gelen suyun kökeninin Van Formasyonundaki karbonatlar olduğu sonucuna varılmıştır.

11 Nolu Soğuk Su Kaynağı

11 nolu soğuk su kaynağı Muradiye ilçesi Uluşar köyünde bulunmaktadır. 11 nolu soğuk su kaynağındaki katyon sıralaması ($\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$) ve anyon sıralaması ($\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$) şeklindedir. Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama, bazaltlardan gelen suları temsil etmektedir. 11 nolu soğuk su kaynağı çevresindeki bazaltlar incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında Tplmpb olarak adlandırılan Muradiye plato bazaltları 11 nolu soğuk su kaynağı çevresinde yayılım göstermektedir. Bazaltik kayalarda SO_4/Cl oranı 1'e yakın olup, 11 nolu soğuk su kaynağında 0.83 meq/l'dir. Ayrıca bazaltik kayalardan gelen sularda Na iyonu, Cl iyonundan fazla olduğu için $(\text{Cl}-\text{Na}) / \text{Cl}$ oranı eksidir. 11 nolu soğuk su kaynağında $(\text{Cl}-\text{Na}) / \text{Cl}$ oranı - 2.02 hesaplanmıştır. Bu durum da, söz konusu soğuk su kaynağının bazaltlardan boşaldığını doğrulamaktadır. Dolayısıyla 11 nolu soğuk su kaynağının Muradiye plato bazaltlarının kırık ve çatlaklarından geldiği sonucuna varılmıştır.

12 Nolu Soğuk Su Kaynağı

12 nolu soğuk su kaynağı Muradiye ilçesi Beydağı köyünde bulunmaktadır. 12 nolu soğuk su kaynağındaki katyon sıralaması ($\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$) ve anyon sıralaması ($\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$) şeklindedir. Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama, kireçtaşlarından veya mermerlerden gelen suları temsil etmektedir. 12 nolu soğuk su kaynağı çevresindeki kireçtaşı veya mermer içeren birimler incelenmiştir. 12 nolu kaynak

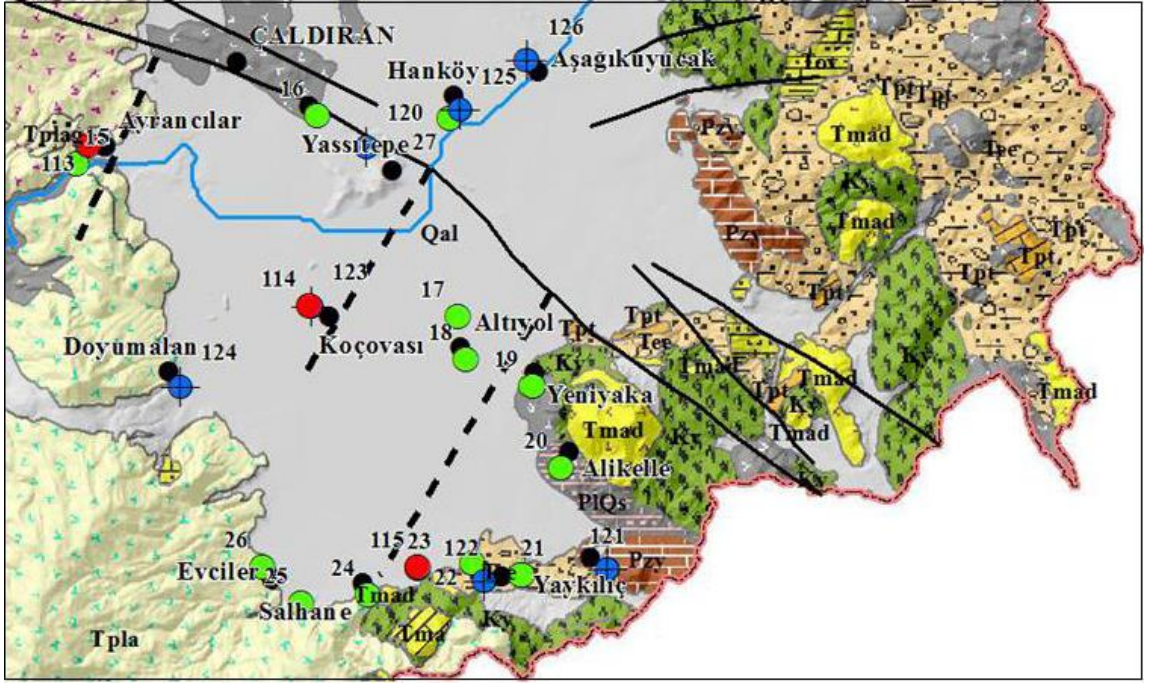
çevresinde, bu çalışma kapsamında Tma olarak adlandırılan Adilcevaz kireçtaşları, Tov olarak adlandırılan Van Formasyonunda karbonatlar, Ky olarak adlandırılan Yüksekova karmaşığı içerisinde Bakışık melanji ve olistrostromu içinde yer alan mermer ve Pzt olarak adlandırılan Tepedam metamorfikleri içerisinde de mermer bulunmaktadır. 12 nolu soğuk su kaynağı konumu nedeniyle Tov olarak adlandırılan Van Formasyonundaki karbonatlardan boşaldığı düşünülmektedir.

13 Nolu Soğuk Su Kaynağı

13 nolu soğuk su kaynağı Muradiye ilçesi Yumaklı köyünde konumlanmıştır. 13 nolu soğuk su kaynağındaki katyon sıralaması ($\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$) ve anyon sıralaması ($\text{SO}_4 > \text{HCO}_3 > \text{Cl}$) şeklindedir. Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama, jipsli kayalardan gelen suları temsil etmektedir. Fakat 13 nolu soğuk su kaynağı çevresinde jipsli kayalar bulunmamakta olup, kaynağın konumu nedeniyle kireçtaşı gibi bir kayadan gelme ihtimalinin daha fazla olduğu düşünülmüştür. Dolayısıyla 13 nolu kaynak çevresindeki kireçtaşı veya mermer içeren birimler incelenmiştir. Söz konusu kaynak çevresinde bu çalışma kapsamında Tma olarak adlandırılan Adilcevaz kireçtaşları, Tov olarak adlandırılan Van Formasyonunda karbonat, Ky olarak adlandırılan Yüksekova karmaşığı içerisinde Bakışık melanji ve olistrostromu içinde yer alan mermer ve Pzt olarak adlandırılan Tepedam metamorfikleri içerisinde de mermer bulunmaktadır. 13 nolu soğuk su kaynağının en çok temas ettiği litolojilerin Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ve Pliyosen yaşlı andezitlerin altında yer alan Adilcevaz kireçtaşları olduğu düşünülmektedir. Ayrıca söz konusu kaynak, herhangi bir ağır metal ya da kirlilik parametresi içermemektedir.

14 Nolu Soğuk Su Kaynağı

14 nolu soğuk su kaynağı Muradiye ilçe merkezinde yer almaktadır. 14 nolu soğuk su kaynağındaki katyon sıralaması ($\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$) ve anyon sıralaması ($\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$) şeklindedir. Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama, kireçtaşlarından veya mermerlerden gelen suları temsil etmektedir. 14 nolu soğuk su kaynağı çevresindeki kireçtaşı veya mermer içeren birimler incelenmiştir. 14 nolu kaynak çevresinde, bu çalışma kapsamında PIQb olarak adlandırılan Bayramlı Formasyonu içerisinde kireçtaşları bulunmaktadır. Söz konusu kaynak, Bayramlı Formasyonu içerisindeki kireçtaşlarından etkilenmektedir.



Şekil 4.86: Çaldıran ilçesinde yer alan soğuk ve sıcak su kaynakları ile kuyu sularının konumları.

15 Nolu Soğuk Su Kaynağı

15 nolu soğuk su kaynağı Çaldıran ilçesi Ayrancılar köyünde yer almaktadır. 15 nolu soğuk su kaynağındaki katyon sıralaması ($Ca > Na > Mg > K$) ve anyon sıralaması ($HCO_3 > SO_4 > Cl$) şeklindedir. Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama; kumtaşı veya andezitten gelen sular olabilir. 15 nolu soğuk su kaynağı çevresindeki kayalara bakıldığında, bölgede kumtaşlarının bulunmadığı görülmektedir. Bu durumda, 15 nolu soğuk su kaynağının kökeni andezitlerdir. Ayrıca, kaynak konumu itibarıyla andezit birimine yakın bulunmaktadır. Suyun Argıt volkanitleri veya Köseadağ volkanitleri içerisindeki andezitlerden gelmiş olabileceği düşünülmektedir. Na/K oranının yüksek olması (8.28 meq/l) ve Na miktarının (0.58 meq/l) Mg'ye (0.33 meq/l) göre daha fazla olması da bu durumu doğrulamaktadır. Dolayısıyla 15 nolu soğuk su kaynağının en çok etkilendiği litolojinin andezitler olduğu düşünülmektedir.

16 Nolu Soğuk Su Kaynağı

16 nolu soğuk su kaynağı Çaldıran ilçesi Kalkandelen köyünde yer almaktadır. 16 nolu soğuk su kaynağındaki katyon sıralaması ($Ca > Mg > Na > K$) ve anyon sıralaması ($HCO_3 > SO_4 > Cl$) şeklindedir. Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama, kireçtaşlarından veya mermerlerden gelen suları temsil etmektedir. 16 nolu soğuk su

kaynağı çevresindeki kireçtaşı veya mermer içeren birimler incelenmiştir. 16 nolu kaynak çevresinde, bu çalışma kapsamında Tee olarak adlandırılan Eşengöl fişi bünyesinde mikritik kireçtaşları, Tpt olarak adlandırılan Toprakkale Formasyonunda kireçtaşı ve kumlu kireçtaşı, Ky olarak adlandırılan Yüksekova Karmaşığı içerisindeki radyolarit-çört üyesi bünyesinde ise mikritik dokulu pelajik kireçtaşları bulunmaktadır. Söz konusu kaynağın, konumu itibariyle Tee olarak adlandırılan Eşengöl fişi bünyesinde mikritik kireçtaşlarından daha fazla etkilendiği ve kökenini buradan aldığı düşünülmektedir.

17 Nolu Soğuk Su Kaynağı

17 nolu soğuk su kaynağı Çaldıran ilçesi Yağibasın köyünde yer almaktadır. 17 nolu soğuk su kaynağındaki katyon sıralaması ($\text{Na} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{K}$) ve anyon sıralaması ($\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$) şeklindedir. Mg ve Ca değerlerinin birbirine yakın olması nedeniyle sıralamada Mg ve Ca'nın yer değiştirebileceği düşünülmektedir. Sıralamada Mg ve Ca yer değiştirdiğinde $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} - \text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ şeklinde bir sıralama ortaya çıkmakta ve bu sıralama Şahinci (1991b)'ye göre granitlerden gelen suları temsil etmektedir. 17 nolu kaynak çevresindeki granit kayaları incelendiğinde, Bendimahı havzasına ait stratigrafik istifte Yüksekova Karmaşığı içerisinde yer yer granit sokulumları ve serpantin tektonik dilimlerinin yer aldığı görülmektedir. Dolayısıyla 17 nolu soğuk su kaynağının kökeninin Yüksekova Karmaşığı içerisindeki granit sokulumları olduğu düşünülmektedir.

18 Nolu Soğuk Su Kaynağı

18 nolu soğuk su kaynağı Çaldıran ilçesi Altıyol köyünde yer almaktadır. 18 nolu soğuk su kaynağındaki katyon sıralaması ($\text{Na} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{K}$) ve anyon sıralaması ($\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$) şeklindedir. Burada da 17 nolu kaynaktaki olduğu gibi Mg ve Ca değerlerinin birbirine yakın olması nedeniyle sıralamada Mg ve Ca'nın yer değiştirebileceği düşünülmektedir. Sıralamada Mg ve Ca yer değiştirdiğinde $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} - \text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ şeklinde bir sıralama ortaya çıkmakta ve bu sıralama Şahinci (1991b)'ye göre granitlerden gelen suları temsil etmektedir. 18 nolu soğuk su kaynağının da 17 nolu soğuk su kaynağı ile aynı kökene sahip Yüksekova Karmaşığı içerisindeki granit sokulumları olduğu düşünülmektedir.

19 Nolu Soğuk Su Kaynağı

19 nolu soğuk su kaynağı Çaldıran ilçesi Yeniyaka köyünde yer almaktadır. 19 nolu soğuk su kaynağındaki katyon sıralaması ($\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$) ve anyon sıralaması ($\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$) şeklindedir. Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama, kireçtaşlarından veya mermerlerden gelen suları temsil etmektedir. 19 nolu soğuk su kaynağı çevresindeki kireçtaşı veya mermer içeren birimler incelenmiştir. 19 nolu kaynak çevresinde, bu çalışma kapsamında PIQs olarak adlandırılan Saray Formasyonu içerisinde killi kireçtaşları, Tee olarak adlandırılan Eşengöl flişi bünyesinde mikritik kireçtaşları, Tpt olarak adlandırılan Toprakkale Formasyonunda kireçtaşı ve kumlu kireçtaşı, Ky olarak adlandırılan Yüksekova Karmaşığı içerisinde radyolarit-çört üyesi bünyesinde ise mikritik dokulu pelajik kireçtaşları bulunmaktadır. 19 nolu soğuk su kaynağı konum itibariyle Tendürek volkanitleri içerisinde yer alan andezitlerle Yüksekova Karmaşığına ait radyolarit-çört üyesi bünyesindeki mikritik dokulu pelajik kireçtaşları arasında bir noktada konumlanmıştır. Söz konusu kaynağın en çok Yüksekova Karmaşığına ait radyolarit-çört üyesi bünyesindeki mikritik dokulu pelajik kireçtaşları ile etkileşimde olduğu düşünülmektedir.

20 Nolu Soğuk Su Kaynağı

20 nolu soğuk su kaynağı Çaldıran ilçesi Alikelle köyünde yer almaktadır. 20 nolu soğuk su kaynağındaki katyon sıralaması ($\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{K}$) ve anyon sıralaması ($\text{SO}_4 > \text{HCO}_3 > \text{Cl}$) şeklindedir. Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama; jipsli kayalardan gelen suları temsil etmektedir. Fakat bölgede jipsli kayalar bulunmadığından sıralamada SO_4 ve HCO_3 'ün yer değiştirebileceği düşünülmektedir. Sıralamada SO_4 ve HCO_3 'ün yer değiştirmesi halinde $\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{K} - \text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ şeklinde bir sıralama ortaya çıkmakta ve bu sıralama Şahinci (1991b)'ye göre kumtaşı, gabro veya andezit ve dasitten gelen sulara görülebilmektedir. 20 nolu soğuk su kaynağı çevresindeki kayalara bakıldığında, bölgede gabrolar bulunmayıp, kumtaşları ile andezit ve dasit gibi kayalar görülmektedir. Konum itibariyle 20 nolu soğuk su kaynağı PIQs olarak adlandırılan Saray Formasyonu üzerinde yer almaktadır. Saray Formasyonu'nda, formasyonun üst düzeyini oluşturan kıltaşı ve siltaşılarında yer alan killi kireçtaşlarının yanı sıra; çakıltaşı, kumtaşı, kıltaşı ve siltaşı ardalanmaları görülmektedir. 20 nolu soğuk su kaynağının kökeninin de Saray Formasyonu içerisindeki kumtaşları olduğu düşünülmektedir.

21 Nolu Soğuk Su Kaynağı

21 nolu soğuk su kaynağı Çaldıran ilçesi Kilimli köyünde bulunmaktadır. 21 nolu soğuk su kaynağındaki katyon sıralaması ($\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$) ve anyon sıralaması ($\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$) şeklindedir. Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama, kireçtaşlarından veya mermerlerden gelen suları temsil etmektedir. 21 nolu soğuk su kaynağı çevresindeki kireçtaşı veya mermer içeren birimler incelenmiştir. 21 nolu kaynak çevresinde, bu çalışma kapsamında Tma olarak adlandırılan Adilcevaz kireçtaşları, Tee olarak adlandırılan Eşengöl flişi bünyesindeki mikritik kireçtaşları, Ky olarak adlandırılan Yüksekova Karmaşığı içerisindeki kireçtaşları ve Pzy olarak adlandırılan Yamanyurt Formasyonu içerisinde yer alan neritik kireçtaşları bulunmaktadır. 21 nolu soğuk su kaynağı konumu itibariyle, Eşengöl flişi üzerinde görülmektedir. Dolayısıyla kaynağın, Tee olarak adlandırılan Eşengöl flişi bünyesindeki mikritik kireçtaşlarından boşaldığı düşünülmektedir.

22 Nolu Soğuk Su Kaynağı

22 nolu soğuk su kaynağı da Çaldıran ilçesi Kilimli köyünde bulunmaktadır. 22 nolu soğuk su kaynağındaki katyon sıralaması ($\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{K}$) ve anyon sıralaması ($\text{SO}_4 > \text{HCO}_3 > \text{Cl}$) şeklindedir. Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama; jipsli kayalarla gelen suları temsil etmektedir. Fakat bölgede jipsli kayalar bulunmadığından, iyon sıralamasında SO_4 ve HCO_3 'ün yer değiştirebileceği düşünülmektedir. Sıralamada SO_4 ve HCO_3 'ün yer değiştirmesi halinde $\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{K} - \text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ şeklinde bir sıralama ortaya çıkmakta ve bu sıralama Şahinci (1991b)'ye göre kumtaşı, gabro veya andezit ve dasitten gelen sulara görülebilmektedir. 22 nolu soğuk su kaynağı çevresindeki kayalara bakıldığında, Tmad olarak adlandırılan Alikelle dasiti, Tee olarak adlandırılan Eşengöl flişi bünyesinde kumtaşları, Ky olarak adlandırılan Yüksekova Karmaşığı içerisinde az oranda gabro bulunmaktadır. 22 nolu soğuk su kaynağı, konumu itibariyle Tee olarak adlandırılan Eşengöl flişi üzerinde görülmektedir. Dolayısıyla kaynağın, Tee olarak adlandırılan Eşengöl flişi bünyesindeki kumtaşlarından boşaldığı düşünülmektedir.

24 Nolu Soğuk Su Kaynağı

24 nolu soğuk su kaynağı Çaldıran ilçesi Salhane köyünde yer almaktadır. 24 nolu soğuk su kaynağındaki katyon sıralaması ($\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$) ve anyon sıralaması ($\text{HCO}_3 >$

SO₄ > Cl) şeklindedir. Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama, kireçtaşlarından veya mermerlerden gelen suları temsil etmektedir. 24 nolu soğuk su kaynağı çevresindeki kireçtaşı veya mermer içeren birimler incelenmiştir. 24 nolu kaynak çevresinde, bu çalışma kapsamında Tma olarak adlandırılan Adilcevaz kireçtaşları, Tee olarak adlandırılan Eşengöl fliši bünyesinde mikritik kireçtaşları, Ky olarak adlandırılan Yüksekova Karmaşığı içerisindeki kireçtaşları ve Pzy olarak adlandırılan Yamanyurt Formasyonu içerisinde yer alan neritik kireçtaşları bulunmaktadır. 24 nolu soğuk su kaynağı konum itibariyle Tma olarak adlandırılan kireçtaşlarına daha yakın olup, söz konusu kireçtaşlarından etkinenebileceğı ve kaynağının bu kireçtaşları olduğı düşünülmektedir.

25 Nolu Soğuk Su Kaynağı

25 nolu soğuk su kaynağı Çaldıran ilçesi Evciler köyünde yer almaktadır. 25 nolu soğuk su kaynağındaki katyon sıralaması (Ca > Mg > Na > K) ve anyon sıralaması (HCO₃ > SO₄ > Cl) şeklindedir. Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama, kireçtaşlarından veya mermerlerden gelen suları temsil etmektedir. 25 nolu soğuk su kaynağı çevresindeki kireçtaşı veya mermer içeren birimler incelenmiştir. 24 nolu soğuk su kaynağı ile 25 nolu soğuk su kaynağı birbirine yakın yerlerde konumlanmış olup, iyon sıralamaları aynıdır. Bu kaynağın kökeninin de Tma olarak adlandırılan Adilcevaz kireçtaşları ile ilişkili olduğı düşünülmektedir.

26 Nolu Soğuk Su Kaynağı

26 nolu soğuk su kaynağı Çaldıran ilçesi Evciler köyünde yer almaktadır. 26 nolu soğuk su kaynağındaki katyon sıralaması (Mg > Ca > Na > K) ve anyon sıralaması (Cl > HCO₃ > SO₄) şeklindedir. Cl ve HCO₃ iyonlarının birbirine yakın değerler olması nedeniyle iyon sıralamasında Cl ve HCO₃'ün yer değıştirmiş olabileceğı düşünülmektedir. Söz konusu iyon sıralamasının değışmesi durumunda Mg > Ca > Na > K - HCO₃ > Cl > SO₄ şeklinde bir sıralama meydana gelmektedir. Şahinci (1991b)'e göre bu sıralama, ultrabazik kayalardan gelen sulardaki iyon sıralamasını temsil etmektedir. 26 nolu soğuk su kaynağı çevresinde de Ky olarak adlandırılan Yüksekova Karmaşığı içerisindeki Bakışık melanji ve olistrostromu bünyesinde serpantin gibi ultrabazik kayalar ile Yüksekova Karmaşığı içerisindeki Mehmetalan peridotiti gibi ultrabazik kayalar bulunmaktadır. 26 nolu soğuk su kaynağının konumu itibariyle Mehmetalan peridotiti ile

etkileşimde olabileceği ve kökenini bu peridotitten almış olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca 26 nolu soğuk su kaynağında Cr, Mn, Ni ve NO₃ gibi iyonlar tespit edilmiştir. Suda tespit edilen bu iyonların diğer jeolojik birimler ve çevre faktörleri veya yağışla ilgili olduğu düşünülmektedir.

27 Nolu Soğuk Su Kaynağı

27 nolu soğuk su kaynağı Çaldıran ilçesi Hanköy'de yer almaktadır. 27 nolu soğuk su kaynağındaki katyon sıralaması (Na > Mg > Ca > K) ve anyon sıralaması (HCO₃ > Cl) > SO₄) şeklindedir. Mg ve Ca iyonlarının birbirine yakın değerler olması ve konumu itibariyle riolit içeren Köseadağ volkanitlerine yakın bir yerde bulunuyor olması nedeniyle iyon sıralamasında Mg ve Ca'nın yer değiştirmiş olabileceği düşünülmektedir. Söz konusu iyon sıralamasının değişmesi durumunda Na > Ca > Mg > K - HCO₃ > Cl > SO₄ şeklinde bir sıralama meydana gelmektedir. Şahinci (1991b)'e göre bu sıralama, riolitlerden gelen sulardaki iyon sıralamasını temsil etmektedir. Dolayısıyla 27 nolu soğuk su kaynağının Köseadağ volkanitlerindeki riolitlerden etkilenmiş olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca söz konusu kaynaktan ağır metal olarak Al ile kirlilik parametrelerinden NO₃ ve F'a rastlanmıştır.

Bendimahı Havzası (Muradiye-Çaldıran) Sıcak Su Kaynakları Litoloji-Su Kimyası İlişkisi

113 nolu Sıcak Su Kaynağı

113 nolu sıcak su kaynağı Çaldıran ilçesi Ayrancılar köyünde bulunmaktadır. 113 nolu sıcak su kaynağının kökeni, iyon sıralaması ve çevresindeki kayalar birlikte değerlendirilerek yorumlanmıştır. 113 nolu sıcak su kaynağındaki katyon sıralaması Na > Ca > K > Mg şeklindedir. Mg ve K değerleri birbirine yakın değerler olduğundan, Mg'nin K'dan büyük olabileceği göz önünde bulundurularak katyon sıralaması Na > Ca > Mg > K şeklinde değerlendirilmiştir. Anyonları bakımından incelendiğinde ise; HCO₃ > Cl > SO₄ şeklinde bir sıralama söz konusudur. Şahinci (1991b)'e göre; riolitlerden gelen sularda iyon bolluk sıralaması genellikle Na > Ca > Mg > K - HCO₃ > Cl > SO₄ şeklindedir. 113 nolu sıcak su kaynağı, iyon sıralaması ve çevresindeki kayalar ile birlikte incelendiğinde söz konusu kaynağın kuzeyinde yer alan Köseadağ volkanitleri içerisindeki riolitik lavlardan etkilenebileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla 113 nolu Ayrancılar sıcak su kaynağının Köseadağ volkanitleri içerisindeki riolitik lavlardan

etkilendiği sonucuna varılmıştır. 113 nolu Ayrancılar sıcak su kaynağı için jeotermal akışkanın hapsediği kaya (rezervuar) Köseadağ volkanitleri içerisindeki riyolitlerin kırık ve çatlaklarıdır. Söz konusu kaynak, Ayrancılar fayına paralel ve oldukça yakın bir yerde konumlanmıştır. Örtü kayası ise; Pliyo-Kuvaterner yaşlı az geçirimli Alaköy Formasyonu'na ait kil – silt - marn ardalanmasından oluşan çökellerdir.

114 nolu Sıcak Su Kaynağı

114 nolu sıcak su kaynağı Çaldıran ilçesi Koçovası köyünde bulunmaktadır. 114 nolu sıcak su kaynağındaki katyon sıralaması ($Mg > Ca > Na > K$) ve anyon sıralaması ($HCO_3 > SO_4 > Cl$) şeklindedir. Bu sıralama, Şahinci (1991b)'e göre dolomitlerden gelen suları temsil etmektedir. 114 nolu sıcak su kaynağı çevresindeki dolomitler incelenmiştir. Bendimahı havzasına ait stratigrafik istife bakıldığında, dolomitlerin, Ky olarak adlandırılan Yüksekova Karmaşığı içerisindeki Bakışık melanji ve olistrostromu bünyesinde bulunduğu görülmektedir. Bakışık melanji; serpantin, harzburjit, dunit, gabro, radyolarit, çört, şeyl, kireçtaşı, metamorf, kumtaşı, kıltaşı, bazik volkanit gibi kaya türlerinden oluşan karmaşık bir yapıya sahiptir. İçerisinde büyük boyutta mermer, dolomit, metadetritik, bazik volkanit gibi tektonik dilimler bulunur. Dolayısıyla 114 nolu sıcak su kaynağının kökeninin Bakışık melanji içerisindeki dolomitler olduğu düşünülmektedir. Ayrıca söz konusu kaynakta ağır metal olarak da Cr, Mn ve B'a rastlanmıştır. Söz konusu sıcak su kaynağı, Çaldıran fayına paralel gelişmiştir. Dolayısıyla Koçovası sıcak su kaynağının (rezervuar) kayasını Mesozoyik yaşlı Yüksekova Karmaşığı içerisindeki dolomit ve mermerler oluşturmaktadır. Örtü kayası ise; Alt Pliosen yaşlı volkanitlerdir (Köseadağ, Etrusk ve Argıt volkanitleri gibi).

115 nolu Sıcak Su Kaynağı

115 nolu sıcak su kaynağı Çaldıran ilçesi Buğulukaynak köyünde bulunmaktadır. 115 nolu sıcak su kaynağındaki katyon sıralaması ($Mg > Ca > Na > K$) ve anyon sıralaması ($HCO_3 > SO_4 > Cl$) şeklindedir. Bu sıralama, Şahinci (1991b)'e göre dolomitlerden gelen suları temsil etmektedir. 115 nolu sıcak su kaynağı çevresindeki dolomitler incelenmiştir. Bendimahı havzasına ait stratigrafik istife bakıldığında, dolomitlerin, Ky olarak adlandırılan Yüksekova Karmaşığı içerisindeki Bakışık melanji ve olistrostromu bünyesinde bulunduğu görülmektedir. Bakışık melanji; serpantin, harzburjit, dunit, gabro, radyolarit, çört, şeyl, kireçtaşı, metamorf, kumtaşı, kıltaşı, bazik volkanit gibi

kaya türlerinden oluşan karmaşık bir yapıya sahiptir. İçerisinde büyük boyutta mermer, dolomit, metadetritik, bazik volkanit gibi tektonik dilimler bulunur. 114 ve 115 nolu sıcak su kaynaklarının aynı kökenden geldiği, kökeninin Bakışık melanji içerisindeki dolomitler olduğu düşünülmektedir. 114 nolu kaynakta olduğu gibi, 115 nolu sıcak su kaynağında da ağır metal olarak Cr, Mn ve B gibi parametrelere rastlanmıştır. Bu kaynak da Çaldıran fayına paralel gelişmiştir. Dolayısıyla Buğulukaynak sıcak su kaynağının da rezervuar kayasını Mesozoyik yaşlı Yüksekova Karmaşığı içerisindeki dolomit ve mermerler oluşturmaktadır. Örtü kayası ise; Alt Pliyosen yaşlı volkanitlerdir (Kösedağ, Etrüsk ve Argıt volkanitleri gibi).

Sonuç olarak Çaldıran ilçesinde yer alan Ayrancılar sıcak su kaynağı için jeotermal akışkanın riyalit gibi volkanik kökenli kayaların kırık ve çatlaklarından yüzeye ulaştığı, Buğulukaynak ve Koçovası sıcak su kaynaklarının ise, magma kökenli Bakışık melanji içerisindeki dolomitlerden boşaldığı görülmektedir. Dolayısıyla Ayrancılar sıcak su kaynağının, Buğulukaynak ve Koçovası sıcak su kaynaklarından farklı bir kökene sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca Çaldıran fayının, yeraltısuyu hareketini kontrol eden önemli bir etken olduğu söylenebilir.

Bendimahi Havzası (Muradiye-Çaldıran) Kuyu Suları Litoloji-Su Kimyası İlişkisi

116 Nolu Kuyu Suyu

116 nolu kuyu, Muradiye ilçesi Ovacınar köyünde yer almaktadır. 116 nolu kuyu suyundaki katyon sıralaması ($\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$) ve anyon sıralaması ($\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$) şeklindedir. Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama, bazaltlardan gelen suları temsil etmektedir. 116 nolu kuyu çevresindeki bazalt içeren birimler incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında Tplmpb olarak adlandırılan Muradiye plato bazaltları 116 nolu kuyu ve çevresinde yayılım göstermektedir. Dolayısıyla 116 nolu kuyu suyunun Muradiye plato bazaltlarının kırık ve çatlaklarından geldiği düşünülmektedir. Ağır metal olarak da As, Cr ve kirlilik parametresi olarak da NO_3 ve F görülmektedir.

117 Nolu Kuyu Suyu

117 nolu kuyu, Muradiye ilçesi Kocasaban köyünde yer almaktadır. 117 nolu kuyu suyundaki katyon sıralaması ($\text{Mg} > \text{Ca} > \text{Na} > \text{K}$) ve anyon sıralaması ($\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$) şeklindedir. Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama, dolomitlerden gelen suları temsil etmektedir. 117 nolu kuyu suyu çevresindeki dolomitler incelenmiştir. Bendimahi

havzasına ait stratigrafik istife bakıldığında, dolomitlerin, Ky olarak adlandırılan Yüksekova Karmaşığı içerisindeki Bakışık melanji ve olistrostromu bünyesinde bulunduğu görülmektedir. Kuyu suyunun, kökenini Ky olarak adlandırılan Yüksekova Karmaşığı içerisindeki Bakışık melanji içerisindeki dolomitlerden aldığı düşünülmektedir.

118 Nolu Kuyu Suyu

118 nolu kuyu, Muradiye ilçesi Uluşar köyünde yer almaktadır. 118 nolu kuyu suyundaki katyon sıralaması ($\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$) ve anyon sıralaması ($\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$) şeklindedir. Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama, kireçtaşlarından veya mermerlerden gelen suları temsil etmektedir. 118 nolu kuyu çevresinde bu çalışma kapsamında Tma olarak adlandırılan Adilcevaz kireçtaşları, Tov olarak adlandırılan Van Formasyonunda karbonat, Ky olarak adlandırılan Yüksekova Karmaşığı içerisindeki Bakışık melanji ve olistrostromunda mermer ve Pzt olarak adlandırılan Tepedam metamorfikleri içerisinde de mermer bulunmaktadır. Söz konusu kuyu sığ bir kuyudur ve düşey yönde tavandan tabana incelenmiştir. Kuyu suyunun, konumu itibarıyla kökenini Tov olarak adlandırılan Van Formasyonundaki karbonatlardan aldığı düşünülmektedir.

119 Nolu Kuyu Suyu

119 nolu kuyu, Muradiye ilçe merkezi, Fevzi Çakmak mahallesinde yer almaktadır. 119 nolu kuyu suyundaki katyon sıralaması ($\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{K}$) ve anyon sıralaması ($\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$) şeklindedir. Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama; kumtaşı, andezit ve dasit veya gabrodan gelen suları gösterir. 119 nolu kuyu çevresindeki kayalara bakıldığında, Tplev olarak adlandırılan Etrüsk volkanitleri içerisinde andezitler bulunmaktadır. Kuyunun yakın çevresinde kumtaşı ya da gablo gibi birimler görülmemektedir. Dolayısıyla 119 nolu kuyu suyunun, Etrüsk volkanitleri içerisindeki andezitlerin kırık ve çatlaklarından boşaldığı düşünülmektedir.

120 Nolu Kuyu Suyu

120 nolu kuyu, Çaldıran ilçesi Yassitepe köyünde yer almaktadır. 120 nolu kuyu suyundaki katyon sıralaması ($\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$) ve anyon sıralaması ($\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$) şeklindedir. Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama, kireçtaşlarından veya mermerlerden gelen suları temsil etmektedir. 120 nolu kuyu çevresindeki kireçtaşı veya mermer içeren birimler incelenmiştir. 120 nolu kuyu çevresinde, bu çalışma kapsamında

PIQs olarak adlandırılan Saray Formasyonu'nun üst düzeyini oluşturan kiltası ve silttaşları içerisinde killi kireçtaşları, Tma olarak adlandırılan Adilcevaz kireçtaşları, Tov olarak adlandırılan Van Formasyonunda karbonat, Tee olarak adlandırılan Eşengöl flişi bünyesinde mikritik kireçtaşları, Tpt olarak adlandırılan Toprakkale Formasyonunda kireçtaşı ve kumlu kireçtaşı, Ky olarak adlandırılan Yüksekova Karmaşığı bünyesindeki Bakışık melanji ve olistrostromunda mermer, Yüksekova Karmaşığı içerisindeki resifal kireçtaşı üyesi ile Yüksekova Karmaşığına ait radyolarit-çört üyesi bünyesinde ise mikritik dokulu pelajik kireçtaşları bulunmaktadır. 120 nolu kuyu suyunun kökeninin Tee olarak adlandırılan Eşengöl flişi bünyesinde mikritik kireçtaşları olduğu düşünülmektedir.

121 Nolu Kuyu Suyu

121 nolu kuyu, Çaldıran ilçesi Yaykılıç köyünde yer almaktadır. 121 nolu kuyu suyundaki katyon sıralaması ($Mg > Ca > Na > K$) ve anyon sıralaması ($HCO_3 > Cl > SO_4$) şeklindedir. Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama, peridotit ve serpantinit gibi ultrabazik kayalardan gelen suları temsil etmektedir. 121 nolu kuyu çevresindeki peridotit ve serpantinit gibi ultrabazik kayalar içeren birimler incelenmiştir. Ky olarak adlandırılan Yüksekova Karmaşığı içerisinde tektonik dilimler şeklinde serpantinit, Yüksekova Karmaşığı bünyesindeki Bakışık melanji ve olistrostromu içerisinde ise serpantinit, harzburgit, dunit, gabro, radyolarit, çört, şeyl, kireçtaşı, metamorfite, kumtaşı, kiltası, bazik volkanit gibi kaya türleri ve Mehmetalan peridotiti görülmektedir. 121 nolu kuyu suyunun kökeninin Yüksekova Karmaşığı içerisindeki Mehmetalan peridotitleri olduğu düşünülmektedir.

122 Nolu Kuyu Suyu

122 nolu kuyu, Çaldıran ilçesi Kilimli köyünde yer almaktadır. 122 nolu kuyu suyundaki katyon sıralaması ($Na > Ca > Mg > K$) ve anyon sıralaması ($SO_4 > HCO_3 > Cl$) şeklindedir. 122 nolu kuyu suyunun çevresinde etkilenmiş olabileceği kayalar göz önünde bulundurulduğunda, iyon sıralamasında SO_4 ve HCO_3 'ün sıralamadaki yeri değiştirilerek değerlendirilmiştir. Değiştirilmiş sıralama ile oluşan dizilim, $Na > Ca > Mg > K - HCO_3 > SO_4 > Cl$ şeklindedir. Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama, granitlerden gelen suları temsil etmektedir. 122 nolu kuyu çevresindeki granitler incelenmiştir. Granitler, bu çalışma kapsamında Ky olarak adlandırılan Yüksekova

Karmaşığı içerisinde yer yer granit sokulumları şeklinde görülmektedir. Dolayısıyla 122 nolu kuyunun Yüksekova Karmaşığı içerisindeki granit sokulumlarından etkilendiği söylenebilir.

123 Nolu Kuyu Suyu

123 nolu kuyu, Çaldıran ilçesi Koçovası köyünde yer almaktadır. 123 nolu kuyu suyundaki katyon sıralaması ($Mg > Ca > Na > K$) ve anyon sıralaması ($HCO_3 > Cl > SO_4$) şeklindedir. Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama, peridotit ve serpantinit gibi ultrabazik kayalardan gelen suları temsil etmektedir. 123 nolu kuyu çevresindeki peridotit ve serpantinit gibi ultrabazik kayalar içeren birimler incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında Ky olarak adlandırılan Yüksekova Karmaşığı bünyesindeki Mehmetalan peridotiti içerisinde; serpantinleşmiş harzburjitler, serpantinit ve serpantinleşmiş peridotitler, Yüksekova Karmaşığı içerisinde tektonik dilimler şeklinde serpantinit, Yüksekova Karmaşığı bünyesindeki Bakışık melanji ve olistrostromu içerisinde ise serpantinit, harzburjit, dunit, gabro, radyolarit, çört, şeyl, kireçtaşı, metamorfit, kumtaşı, kıltaşı, bazik volkanit gibi kaya türleri görülmektedir. 123 nolu kuyunun konumu itibariyle, Yüksekova Karmaşığı bünyesindeki Mehmetalan peridotitinden daha fazla etkilenebileceği ve kökeninin Mehmetalan peridotiti olduğu düşünülmektedir. Ayrıca ağır metal olarak da Cr ve Mn içermektedir. Kirlilik parametresi olarak da NO_3 içerdiği görülmüştür.

124 Nolu Kuyu Suyu

124 nolu kuyu, Çaldıran ilçesi Doyumalan köyünde yer almaktadır. 124 nolu kuyu suyundaki katyon sıralaması ($Ca > Mg > K > Na$) ve anyon sıralaması ($HCO_3 > Cl > SO_4$) şeklindedir. Söz konusu sıralamaya uygun bir kayaç türü bulunamadığından, Na ve K değerleri birbirine çok yakın değerler olduğu için, sıralama $Ca > Mg > Na > K - HCO_3 > Cl > SO_4$ şeklinde kabul edilmiştir. Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama, bazaltlardan gelen suları temsil etmektedir. 124 nolu kuyu suyunun, kuyunun kuzeybatısında yer alan Bendimahi bazaltlarındaki çatlaklardan gelmiş olduğu düşünülmektedir.

125 Nolu Kuyu Suyu

125 nolu kuyu, Çaldıran ilçesi Hanköy'de yer almaktadır. 125 nolu kuyu suyundaki katyon sıralaması ($Mg > Na > Ca > K$) ve anyon sıralaması ($HCO_3 > Cl > SO_4$)

şeklindedir. Söz konusu sıralamaya uygun bir kayaç türü bulunamadığından, Na ve Ca değerleri birbirine yakın değerler olduğu için, sıralama $Mg > Ca > Na > K - HCO_3 > Cl > SO_4$ şeklinde kabul edilmiştir. Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama, peridotit ve serpantinit gibi ultrabazik kayalardan gelen suları temsil etmektedir. 125 nolu kuyu çevresindeki peridotit ve serpantinit gibi ultrabazik kayalar içeren birimler incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında Ky olarak adlandırılan Yüksekova Karmaşığı bünyesindeki Mehmetalan peridotiti içerisinde; serpantinleşmiş harzburjitler, serpantinit ve serpantinleşmiş peridotitler, Yüksekova Karmaşığı içerisinde tektonik dilimler şeklinde serpantinit, Yüksekova Karmaşığı bünyesindeki Bakışık melanji ve olistrostromu içerisinde ise serpantinit, harzburjit, dunit, gabro, radyolarit, çört, şeyl, kireçtaşı, metamorfite, kumtaşı, kıltaşı, bazik volkanit gibi kaya türleri görülmektedir. Konumu itibarı ile Bakışık melanji ve olistrostromu içerisindeki serpantinitlerden etkilenebileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla 125 nolu kuyu suyunun kökeninin Yüksekova Karmaşığı bünyesindeki Bakışık melanji ve olistrostromu içerisindeki serpantinitler olduğu düşünülmektedir. Ayrıca ağır metal içeriği bakımından As ve B ile F iyonu içermektedir.

126 Nolu Kuyu Suyu

126 nolu kuyu, Çaldıran ilçesi Aşağıkuyucak köyünde yer almaktadır. 126 nolu kuyu suyundaki katyon sıralaması ($Mg > Na > Ca > K$) ve anyon sıralaması ($HCO_3 > Cl > SO_4$) şeklindedir. Söz konusu sıralamaya uygun bir kayaç türü bulunamadığından, Na ve Ca değerleri birbirine yakın değerler olduğu için, sıralama $Mg > Ca > Na > K - HCO_3 > Cl > SO_4$ şeklinde kabul edilmiştir. Şahinci (1991b)'e göre söz konusu sıralama, peridotit ve serpantinit gibi ultrabazik kayalardan gelen suları temsil etmektedir. 125 ve 126 nolu kuyular konum itibarıyla birbirine yakın kuyular olup, iyon sıralamalarının da benzer olması aynı kökenden gelmiş olabileceğini göstermektedir. Bu kuyu suyunun kökeninin de Yüksekova Karmaşığı bünyesindeki Bakışık melanji ve olistrostromu içerisindeki serpantinitler olduğu düşünülmektedir. Ayrıca 126 nolu kuyu suyunda ağır metal olarak Mn ve F iyonu tespit edilmiştir.

4.4.6. Suların İçilebilirliği ve Kullanımı

İnceleme alanındaki suların içilebilirliği ile ilgili değerlendirme yapılırken, TSE 266 (2013) - Türk Standartları Enstitüsü (İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği), WHO (2011) - Dünya Sağlık Örgütü ve US EPA (2016) - Amerika Çevre Koruma Ajansı

tarafından belirlenen içme suyu standartları esas alınmıştır. Zilan (Erciş) ve Bendimahi (Muradiye-Çaldıran) havzaları için ayrı olmak üzere ağır metaller, iz elementler ve kirlilik parametreleri ile ilgili bulgular Tablo 4.48, Tablo 4.49 ve Tablo 50'de verilmektedir. Zilan Çayı ve Bendimahi Çayı ile ilgili analiz sonuçları için Tablo 4.51'e bakınız. İncelenen parametrelerin içme ve kullanmadaki limit değerleri ise Tablo 4.52, Tablo 4.53 ve Tablo 4.54'de görülebilir. Zilan havzası için yapılan değerlendirmede, 4 nolu soğuk su kaynağı ile 112 nolu sıcak su kaynağında florür değerinin limit değerlerin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca 5 nolu kaynakta As, 111 ve 112 nolu sıcak su kaynaklarında ise B miktarının limit değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir. 112 nolu sıcak su kaynağında Mn değeri de limit değerin üzerindedir. Zilan havzası geneline bakıldığında; F, As, B ve Mn değerlerinin limit değerler üzerinde olduğu görülürken, Erciş için büyük önem taşıyan ve Erciş'in içme suyu ihtiyacının karşılandığı Yukarıışıklı Köyü'ndeki 1 nolu soğuk su kaynağında tüm değerlerin kullanıma uygun olduğu görülmektedir. Zilan havzasında F değerleri, 0.77 ile 1.74 mg/l arasında değişmektedir. As değerleri, (< 0.5) ile 38.3 $\mu\text{g/l}$, Al değerleri (< 1) ile 56 $\mu\text{g/l}$, B değerleri, 10 ile 95786 $\mu\text{g/l}$ ve Mn değerleri ise (< 0.05) ile 408 $\mu\text{g/l}$ arasında değişiklik gösterir.

Bendimahi havzası için yapılan değerlendirmede, çeşitli lokasyonlarda F, As, Al, Cr, Mn, Ni, B ve NO₃ değerlerinin limit değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir. F değerleri; 15, 17, 18, 27 nolu soğuk su kaynakları ve 116, 125 ve 126 nolu kuyu suları ile 113 nolu sıcak su kaynağında limit değerlerin üzerinde gözlenmiştir. Bendimahi havzasında kuzeyde yer alan Tendürek Volkanı nedeniyle F miktarının havzanın birçok noktasında oldukça yüksek miktarda bulunduğu tespit edilmiştir. F değerleri havza genelinde; 0.22 ile 4.35 mg/l arasında değişiklik gösterir. As değeri; 10 ve 12 nolu soğuk su kaynakları ile 116 ve 125 nolu kuyu sularında limit değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir. As değerleri havza genelinde; (< 0.5) ile 59.6 $\mu\text{g/l}$ arasında değişiklik gösterir. Al değeri; 17, 18, 27 nolu soğuk su kaynaklarında ve 113 nolu sıcak su kaynağında limit değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir. Al değerleri havza genelinde; (< 1) ile 614 $\mu\text{g/l}$ arasında değişiklik gösterir. Cr değeri; 9 ve 26 nolu soğuk su kaynakları, 116, 117 ve 123 nolu kuyu suları ile 113, 114 ve 115 nolu sıcak su kaynaklarında limit değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir. Cr değerleri havza genelinde; 4 ile (< 300) $\mu\text{g/l}$ arasında değişiklik gösterir. Mn değerleri; 26 nolu soğuk su kaynağı, 123 ve 126 nolu kuyu suları ile 114 ve 115 nolu sıcak su kaynaklarında limit değerlerin üzerinde gözlenmiştir. Mn değerleri

havza genelinde; (< 0.05) ile $1081.53 \mu\text{g/l}$ arasında değişiklik gösterir. Ni değerleri; 26 nolu soğuk su kaynağında ve 113 nolu sıcak su kaynağında limit değerlerin üzerinde olduğu görölmektedir. Ni değerleri havza genelinde; (< 0.2) ile (< 300) $\mu\text{g/l}$ arasında değişiklik gösterir. Yüksek B değerleri özellikle; jeotermal kaynaklarda ve jeotermal kaynağa yakın kuyu sularında gözlenmiştir. B değerleri; 123 ve 125 nolu kuyu suları ile 113, 114 ve 115 nolu sıcak su kaynaklarında limit değerlerin üzerinde gözlenmiştir. B değerleri havza genelinde; 13 ile $59363 \mu\text{g/l}$ arasında değişiklik gösterir. Kirlilik parametrelerinden olan NO_3 ise; 18, 20, 26, 27 nolu soğuk su kaynakları ile 116 ve 123 nolu kuyu sularında limit değerlerin üzerinde gözlenmiştir. NO_3 değerleri havza genelinde; 0.016 ile $21.8 \mu\text{g/l}$ arasında değişiklik gösterir. Söz konusu parametrelerin yanı sıra 113 nolu sıcak su kaynağında; Sb, U, Cd ve Pb gibi parametrelerin de limit değerlerin üzerinde olduğu görölmüştür. Sıcak su kaynaklarında tüm bileşenlerin soğuk sulara kıyasla daha yüksek değerlerde olduğu görölmektedir. Sıcak sularda Na, Li, B ve Si indikatör bileşenlerdendir ve soğuk sulara kıyasla çok daha yüksek değerlerde görülen belirleyici özelliğe sahip elementlerdir (Tarcan, 2003). Örneğin; Li az çözünen bir element olmasına rağmen, sıcak sularda sıcaklık arttıkça çözünürlüğün artmasından dolayı sıcak sularda soğuk sulara göre daha fazla rastlanmaktadır.

İnceleme alanındaki ana akarsular olan Bendimahi Çayı ve Zilan Çayı için de analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Bendimahi Çayı'ndan alınan su örneği Ayrancılar Köyü mevkiine aittir. F değeri ve B değeri limit değerlerin üzerinde gözlenmiştir. F değeri 3.69 mg/l iken, B değeri ise $1120 \mu\text{g/l}$ 'dir. Zilan Çayı'ndan alınan su örneği ise; Hasanabdal Köyü mevkiinden alınmıştır. As ve B değeri limit değerlerin üzerinde gözlenmiştir. As değeri $28.5 \mu\text{g/l}$ iken, B değeri ise $5576 \mu\text{g/l}$ 'dir.

4.4.6.1. İnceleme Alanındaki Soğuk Su Kaynakları ve Kuyu Sularının İçilebilirliğini Etkileyen Faktörler

Bu bölümde, inceleme alanında Zilan Havzası ve Bendimahi havzasındaki soğuk su kaynakları ve kuyu sularından alınan örneklerin analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Suların içilebilirliği ile ilgili değerlendirmelerde, ağır metaller, iz elementler ve kirlilik parametreleri ile sulardaki pH, EC ve TDS değerleri birlikte değerlendirilmiştir.

Zilan Havzası'ndaki içme sularında; F ve As parametrelerinin bazı lokasyonlarda TSE 266 (2013), WHO (2011) ve US EPA (2016) içme suyu standartlarına göre limit değerlerin üzerinde olduğu görülmüştür.

Bendimahı Havzası'ndaki içme sularında ise; F, As, Al, Cr, Mn, Ni, B ve NO₃ parametrelerinin bazı lokasyonlarda TSE 266 (2013), WHO (2011) ve US EPA (2016) içme suyu standartlarına göre limit değerlerin üzerindedir.

Tablo 4.48: Zilan Havzası (Erciş) su kaynaklarındaki bazı ağır metal, iz element ve kirlilik parametrelerindeki değişimler.

Su Tipi	Örnek No	Örnek Yeri	Tarih	F (mg/L)	As (µg/L)	Al (µg/L)	Cu (µg/L)	B (µg/L)	Zn (µg/L)	Cr (µg/L)	Mn (µg/L)	Ni (µg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	NH ₄ (mg/L)	PO ₄ (mg/L)
SOĞUK	1	Zilan Havzası - Yukarışıklı Köyü	22.08.2014	0.79	0.6	<1	0.2	42	2.6	9.6	0.22	<0.2	0.008	0.032	0.124	0
	2	Zilan Havzası - Taşkapı Köyü	22.08.2014	0.77	1.7	<1	0.5	865	2.7	40.5	0.09	<0.2	0.006	0.683	0.163	0
	4	Zilan Havzası - Hasanabdal Mevki	22.08.2014	1.57	1.8	2	1.2	53	3.5	23.3	0.34	<0.2	0.025	1.85	0.176	0
	5	Zilan Havzası - Hasanabdal Mevki	22.08.2014	1.41	38.3	<1	0.2	49	2.6	15.3	<0.05	<0.2	0.005	1.41	0.217	0
	6	Zilan Havzası - Keklikırtı Köyü	22.08.2014	1.49	<0.5	56	0.2	10	3.0	2.6	0.15	<0.2	0.004	0.626	0.235	0
	7	Zilan Havzası - Ağaören Köyü	22.08.2014	1.35	0.8	10	0.5	18	11.7	5.7	0.24	0.3	0.014	0.08	0.147	0
	111	Zilan H. - Hasanabdal Köyü	22.08.2014	1.49	<3000	<600	<80	95786	<300	<300	<50	<300	0.007	0.185	0.160	0
SICAK	112	Zilan H. - Taşkapı Köyü	22.08.2014	1.74	<3000	<600	<80	54116	<300	<300	408.00	<300	0.035	0.272	0.194	0

* Kırmızı renkle boyanmış değerler, TSE 266 (2013), WHO (2011) ve EPA (2016) içme ve kullanım suyu standartlarına göre limit değerlerin üzerindeki değerleri ifade etmektedir.

Tablo 4.48 (devam): Zilan Havzası (Erciş) su kaynaklarındaki bazı ağır metal, iz element ve kirlilik parametrelerindeki değişimler.

Su Tipi	Örnek No	Örnek Yeri	Tarih	Ba (µg/L)	Br (µg/L)	Sb (µg/L)	U (µg/L)	Hg (µg/L)	Fe (µg/L)	Cd (µg/L)	Se (µg/L)	Pb (µg/L)
SOĞUK	1	Zilan Havzası - Yukarışıklı Köyü	22.08.2014	1.07	29	<0.05	0.16	<0.1	<10	<0.05	<0.5	<0.1
	2	Zilan Havzası - Taşkapı Köyü	22.08.2014	331.37	43	0.18	0.66	<0.1	<10	<0.05	1.1	0.1
	4	Zilan Havzası - Hasanabdal Mevki	22.08.2014	428.54	17	0.18	1.61	<0.1	<10	<0.05	<0.5	1.0
	5	Zilan Havzası - Hasanabdal Mevki	22.08.2014	186.81	20	0.08	0.59	<0.1	<10	<0.05	<0.5	<0.1
	6	Zilan Havzası - Keklikırtı Köyü	22.08.2014	14.38	8	0.07	0.02	<0.1	10	<0.05	<0.5	<0.1
	7	Zilan Havzası - Ağaören Köyü	22.08.2014	7.31	17	0.06	0.16	<0.1	<10	<0.05	<0.5	0.3
	111	Zilan H. - Hasanabdal Köyü	22.08.2014	93.00	*	<2000	<3000	*	<10000	<700	*	<4000
SICAK	112	Zilan H. - Taşkapı Köyü	22.08.2014	<80	*	<2000	<3000	*	<10000	<700	*	<4000

* (*) işaretli alanlar ölçülemeyen değerleri ifade etmektedir.

Tablo 4.49: Bendimahi Havzası (Muradiye - Çaldıran) su kaynaklarındaki bazı ağır metal, iz element ve kirlilik parametrelerindeki değişimler.

Örnek No	Örnek Yeri	Tarih	F (mg/l)	As (µg/l)	Al (µg/l)	Cu (µg/l)	B (µg/l)	Zn (µg/l)	Cr (µg/l)	Mn (µg/l)	Ni (µg/l)	NO2 (mg/l)	NO3 (mg/l)	NH4 (mg/l)	PO4 (mg/l)
8	Muradiye-Ovapınar K.	21.08.2014	0.93	2.6	<1	1.1	50	17.7	18.7	<0.05	<0.2	0.013	1.85	0.184	0
9	Muradiye-Köşkköy	21.08.2014	1.42	6.8	<1	0.5	171	1.3	54.1	<0.05	<0.2	0.013	5.51	0.173	0
10	Muradiye- Topuzarpa K.	21.08.2014	1.24	27.6	5	0.6	62	2.3	18.4	0.12	<0.2	0.014	3.17	0.200	0
11	Muradiye-Uluşar Köyü	21.08.2014	1.39	5.0	1	0.4	175	1.1	27.7	0.11	<0.2	0.012	4.63	0.236	0
12	Muradiye- Beydağı K.	21.08.2014	1.01	59.6	17	4.3	245	25.9	11.3	0.36	<0.2	0.013	1.71	0.213	0
13	Muradiye- Yumaklı Köyü	21.08.2014	0.89	<0.5	3	0.2	13	10.1	5.6	<0.05	<0.2	0.012	2.09	0.209	0
14	Muradiye-Merkez	21.08.2014	1.37	9.0	4	0.8	135	8.0	16.9	10.67	<0.2	0.015	6.87	0.214	0
15	Çaldıran-Ayrancılar Köyü	21.08.2014	1.8	8.1	2	1.3	39	16.1	9.0	0.60	<0.2	0.015	0.9	0.230	0
16	Çaldıran - Kalkandelen K.	21.08.2014	1.45	1.6	<1	0.5	347	2.3	25.5	0.81	<0.2	0.126	2.68	0.219	0
17	Çaldıran - Yağbasan K.	21.08.2014	4.34	0.6	614	0.1	427	17.2	35.0	7.31	<0.2	0.013	0.662	0.208	0
18	Çaldıran - Altıyol Köyü	21.08.2014	3.94	0.6	472	0.2	413	11.9	30.6	7.51	<0.2	0.014	15.1	0.227	0
19	Çaldıran - Yenyaka Köyü	21.08.2014	1.2	2.3	1	1.0	156	9.5	24.6	0.06	<0.2	0.005	2.19	0.205	0
20	Çaldıran - Alikelle Köyü	21.08.2014	0.94	2.9	9	0.3	43	13.8	6.0	<0.05	<0.2	0.013	12.9	0.203	0
21	Çaldıran - Kilimli Köyü	22.08.2014	0.94	0.6	<1	0.4	76	5.0	17.6	0.27	1.4	0.014	4.6	0.229	0
22	Çaldıran - Kilimli Köyü	22.08.2014	0.92	1.3	13	<0.1	34	3.7	4.0	<0.05	<0.2	0.016	0.841	0.179	0
24	Çaldıran - Salhane Köyü	22.08.2014	0.48	1.8	2	0.1	65	1.9	10.1	0.14	<0.2	0.013	0.042	0.155	0
25	Çaldıran - Evciler Köyü	22.08.2014	0.92	4.1	13	0.2	76	6.2	14.4	2.42	12.2	0.014	0.263	0.165	0
26	Çaldıran - Evciler K.	22.08.2014	1.36	6.5	16	0.2	113	23.7	50.8	154.76	39.2	0.014	14.5	0.111	0
27	Çaldıran - Hanköy Köyü	22.08.2014	4.16	<0.5	429	0.4	453	16.5	30.7	8.47	<0.2	0.015	14.9	0.228	0

* Kırmızı renkle boyanmış değerler, TSE 266 (2013), WHO (2011) ve EPA (2016) içme ve kullanım suyu standartlarına göre limit değerinin üzerindeki değerleri ifade etmektedir.

Tablo 4.49 (devam): Bendimahi Havzası (Muradiye - Çaldıran) su kaynaklarındaki bazı ağır metal, iz element ve kirlilik parametrelerindeki değişimler.

Su Tipi	Örnek No	Örnek Yeri	Tarih	Ba (µg/l)	Br (µg/l)	Sb (µg/l)	U (µg/l)	Hg (µg/l)	Fe (µg/l)	Cd (µg/l)	Se (µg/l)	Pb (µg/l)
SOĞUK	8	Muradiye-Ovapınar K.	21.08.2014	257.78	19	0.07	0.41	<0.1	<10	<0.05	<0.5	<0.1
	9	Muradiye-Köşkköy	21.08.2014	26.81	22	0.10	2.80	<0.1	<10	<0.05	1.1	<0.1
	10	Muradiye- Topuzarpa K.	21.08.2014	16.67	26	0.05	1.48	<0.1	<10	<0.05	0.8	<0.1
	11	Muradiye-Uluşar Köyü	21.08.2014	67.40	50	0.07	3.61	<0.1	<10	<0.05	<0.5	<0.1
	12	Muradiye- Beydağı K.	21.08.2014	27.04	11	0.05	0.34	<0.1	<10	<0.05	<0.5	<0.1
	13	Muradiye- Yumaklı Köyü	21.08.2014	3.99	7	0.07	0.04	<0.1	<10	<0.05	<0.5	<0.1
	14	Muradiye-Merkez	21.08.2014	36.37	35	0.12	1.63	<0.1	<10	<0.05	2.1	<0.1
	15	Çaldıran-Ayrancılar Köyü	21.08.2014	1.24	12	0.09	0.26	<0.1	<10	<0.05	<0.5	<0.1
	16	Çaldıran - Kalkandelen K.	21.08.2014	12.49	11	0.09	1.66	<0.1	<10	<0.05	<0.5	<0.1
	17	Çaldıran - Yağbasan K.	21.08.2014	0.79	25	0.15	3.34	<0.1	<10	<0.05	<0.5	<0.1
	18	Çaldıran - Altıyol Köyü	21.08.2014	0.81	19	0.08	3.70	<0.1	<10	<0.05	<0.5	<0.1
	19	Çaldıran - Yenyaka Köyü	21.08.2014	45.09	215	<0.05	16.23	<0.1	<10	<0.05	1.2	<0.1
	20	Çaldıran - Alikelle Köyü	21.08.2014	2.00	22	0.29	18.66	<0.1	<10	<0.05	<0.5	<0.1
	21	Çaldıran - Kilimli Köyü	22.08.2014	5.07	60	0.05	5.74	<0.1	<10	<0.05	<0.5	<0.1
	22	Çaldıran - Kilimli Köyü	22.08.2014	2.89	16	0.11	0.90	<0.1	96	<0.05	<0.5	<0.1
	24	Çaldıran - Salhane Köyü	22.08.2014	9.12	23	0.09	0.63	<0.1	<10	<0.05	<0.5	<0.1
	25	Çaldıran - Evciler Köyü	22.08.2014	14.68	28	<0.05	0.84	<0.1	<10	<0.05	<0.5	<0.1
	26	Çaldıran - Evciler K.	22.08.2014	5.98	15	<0.05	0.83	<0.1	<10	0.07	<0.5	<0.1
	27	Çaldıran - Hanköy Köyü	22.08.2014	0.93	15	0.08	4.22	<0.1	<10	0.05	<0.5	<0.1

Tablo 4.50: Bendimahı Havzası (Muradiye - Çaldıran) sıcak su kaynakları ve kuyu sularındaki bazı ağır metal, iz element ve kirlilik parametrelerindeki değişimler.

SICAK	Örnek No	Örnek Yeri	Tarih	F (mg/l)	As (µg/l)	Al (µg/l)	Cu (µg/l)	B (µg/l)	Zn (µg/l)	Cr (µg/l)	Mn (µg/l)	Ni (µg/l)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	PO ₄ (mg/l)
	113	Çaldıran - Ayrancılar K.	21.08.2014	4.35	<3000	<600	<80	59363	<300	<300	<50	<300	0.029	0.534	0.184	0.064
	114	Çaldıran - Koçovası K.	21.08.2014	0.85	4.5	2	0.6	8717	2.5	118.8	303.30	0.5	0.024	0.35	0.217	0
	115	Çaldıran - Buğulukaynak K.	21.08.2014	1.19	3.9	2	0.4	2082	2.3	65.0	1081.53	1.9	0.016	0.106	0.182	0
	116	Muradiye - Ovacınar	21.08.2014	1.58	13.9	<1	1.5	553	3.4	80.4	0.25	0.4	0.014	17.1	0.198	0
	117	Muradiye - Kocasaban	21.08.2014	1.44	8.8	1	0.3	839	<0.5	52.8	0.07	<0.2	0.013	2.17	0.192	0
	118	Muradiye - Uluşar K.	21.08.2014	1.18	7.3	3	0.4	130	0.9	36.3	0.10	<0.2	0.015	0.928	0.194	0
	119	Muradiye - Fvz.Ckmak Mh.	21.08.2014	1.7	5.6	14	0.3	549	1.5	32.8	1.17	<0.2	0.012	1.73	0.220	0
	120	Çaldıran - Yassitepe	21.08.2014	1.23	2.7	<1	0.4	104	3.9	13.6	0.29	<0.2	0.01	0.72	0.235	0
	121	Çaldıran - Yaykılıç K.	21.08.2014	0.97	4.2	1	0.4	93	2.7	42.0	0.05	<0.2	0.013	2.06	0.171	0
	122	Çaldıran - Kilimli K.	22.08.2014	0.22	1.6	8	<0.1	33	1.8	5.3	<0.05	<0.2	0.005	0.79	0.187	0
	123	Çaldıran - Koçovası	21.08.2014	0.96	3.1	3	1.5	2104	2.6	67.6	155.25	9.5	0.018	21.8	0.146	0
	124	Çald. - Doyumalan	22.08.2014	1.34	3.1	1	1.0	72	2.5	17.1	2.90	<0.2	0.015	0.016	0.305	0
	125	Çaldıran - Hanköy	22.08.2014	3.23	26.2	4	4.0	1148	118.8	47.3	25.68	14.1	0.03	0.215	0.190	0
	126	Çald. - Aşağıkuyucak	22.08.2014	2.82	7.1	25	3.4	814	563.7	47.7	190.08	6.0	0.127	2.48	0.062	0

* Kırmızı renkle boyanmış değerler, TSE 266 (2013), WHO (2011) ve EPA (2016) içme ve kullanım suyu standartlarına göre limit değerin üzerindeki değerleri ifade etmektedir.

Tablo 4.50 (devam): Bendimahı Havzası (Muradiye - Çaldıran) sıcak su kaynakları ve kuyu sularındaki bazı ağır metal, iz element ve kirlilik parametrelerindeki değişimler.

Su Tipi	Örnek No	Örnek Yeri	Tarih	Ba (µg/l)	Br (µg/l)	Sb (µg/l)	U (µg/l)	Hg (µg/l)	Fe (µg/l)	Cd (µg/l)	Se (µg/l)	Pb (µg/l)
SICAK	113	Çaldıran - Ayrancılar K.	21.08.2014	274.00	*	<2000	<3000	*	<10000	<700	*	<4000
	114	Çaldıran - Koçovası K.	21.08.2014	86.86	208	<0.05	0.20	<0.1	<10	<0.05	1.1	<0.1
	115	Çaldıran - Buğulukaynak K.	21.08.2014	318.87	87	<0.05	0.02	<0.1	136	<0.05	<0.5	<0.1
	116	Muradiye - Ovacınar	21.08.2014	64.28	275	0.31	5.69	<0.1	<10	<0.05	6.5	<0.1
	117	Muradiye - Kocasaban	21.08.2014	9.93	54	0.13	4.02	<0.1	<10	<0.05	1.0	<0.1
	118	Muradiye - Uluşar K.	21.08.2014	44.09	47	0.06	2.33	<0.1	<10	<0.05	0.9	<0.1
	119	Muradiye - Fevzi.Cakmak Mh.	21.08.2014	20.50	25	0.15	3.48	<0.1	<10	<0.05	<0.5	<0.1
	120	Çaldıran - Yassitepe	21.08.2014	28.97	35	0.37	0.71	<0.1	<10	<0.05	<0.5	<0.1
	121	Çaldıran - Yaykılıç K.	21.08.2014	42.11	169	<0.05	4.48	<0.1	<10	<0.05	1.0	<0.1
	122	Çaldıran - Kilimli K.	22.08.2014	2.33	13	0.15	2.17	<0.1	<10	<0.05	<0.5	<0.1
	123	Çaldıran - Koçovası	21.08.2014	92.64	427	0.14	8.18	<0.1	<10	<0.05	3.5	<0.1
	124	Çald. - Doyumalan	22.08.2014	122.94	214	0.08	1.04	<0.1	<10	<0.05	1.9	<0.1
	125	Çaldıran - Hanköy	22.08.2014	41.65	244	0.43	22.13	<0.1	<10	<0.05	6.9	<0.1
	126	Çald. - Aşağıkuyucak	22.08.2014	48.35	331	0.21	2.78	<0.1	<10	<0.05	2.1	<0.1

* (*) işaretli alanlar ölçülemeyen değerleri ifade etmektedir.

Tablo 4.51: Zılan Deresi (Erciş) ve Bendimahı Deresi (Muradiye-Çaldıran)'ndeki bazı ağır metal, iz element ve kirlilik parametrelerindeki değişimler.

Su Tipi	Örnek No	Örnek Yeri	Tarih	F (mg/l)	As (µg/l)	Al (µg/l)	Cu (µg/l)	B (µg/l)	Zn (µg/l)	Cr (µg/l)	Mn (µg/l)	Ni (µg/l)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	PO ₄ (mg/l)
AKARSU	127	Ayrancılar Mevki - Bendimahı Çayı	21.08.2014	3.69	2.1	<1	0.4	1120	0.7	38.6	0.19	<0.2	0.015	0.811	0.188	0.005
	128	Hasanabdal Mevki - Zılan Çayı	22.08.2014	0.79	28.5	17	1.0	5576	1.8	15.1	0.35	0.5	0.007	1.6	0.202	0

X: Değer yok.

Tablo 4.51 (devam): Zılan Deresi (Erciş) ve Bendimahı Deresi (Muradiye-Çaldıran)'ndeki bazı ağır metal, iz element ve kirlilik parametrelerindeki değişimler.

Su Tipi	Örnek No	Örnek Yeri	Tarih	Ba (µg/l)	Br (µg/l)	Sb (µg/l)	U (µg/l)	Hg (µg/l)	Fe (µg/l)	Cd (µg/l)	Se (µg/l)	Pb (µg/l)
AKARSU	127	Ayrancılar Mevki - Bendimahı Çayı	21.08.2014	26.81	37	0.08	3.03	<0.1	<10	<0.05	<0.5	<0.1
	128	Hasanabdal Mevki - Zılan Çayı	22.08.2014	60.06	135	0.41	0.57	<0.1	<10	<0.05	0.8	<0.1

Tablo 4.52: İçme ve kullanma suyunda bulunan majör anyon ve katyonlar için TSE 266 (2013), WHO (2011) ve EPA (2016) tarafından kabul edilen limit değerleri.

Majör Anyon ve Katyonlar (mg/l)	TSE 266 (2013)	WHO (2011)	EPA (2016)
HCO ₃	X	X	X
Cl	250	250	250
SO ₄	250	500	250
Na	200	200	X
K	X	X	X
Ca	X	X	X
Mg	X	X	X

Tablo 4.53: TSE 266 (2013), WHO (2011) ve EPA (2016) tarafından içme ve kullanım sularındaki ağır metaller için kabul edilen limit değerler.

Ağır Metaller (µg/l)	TSE 266 (2013)	WHO (2011)	EPA (2016)
Al	200	100	50-200
As	10	10	10
B	1000	2400	X
Ba	X	700	2000
Cd	5	3	5
Cr	50	50	100
Cu	2000	2000	1300
F	1500	1500	2000
Fe	200	X	300
Hg	1	6	2
Mn	50	X	50
Ni	20	70	X
Pb	10	10	15
Sb	5	20	6
Se	10	40	50
U	X	30	30
Zn	X	3000	5000

X: Değer yok.

Tablo 4.54: TSE 266 (2013), WHO (2011) ve EPA (2016) tarafından içme ve kullanım sularındaki bazı kirlilik parametreleri için kabul edilen limit değerleri.

Kirlilik Parametreleri (mg/l)	TSE 266 (2013)	WHO (2011)	EPA (2016)
NO ₂	0.5	0.9	1
NO ₃	50	50	10
NH ₄	0.5	X	X
PO ₄	X	X	X

X: Değer yok.

Florür (F)

Florür, yer kabuğunda geniş bir yayılım göstererek, floresan, kriyolit ve florapatit gibi florürün birçok formunda bulunmaktadır. Birçok suda florüre rastlanırken, yeraltısularında daha yüksek konsantrasyonlarda florür bulunmaktadır. Floritçe zengin minerallerin bulunduğu bazı alanlarda, çok daha yüksek konsantrasyonlarda florür bulunma ihtimali olmasına rağmen, kuyu suları litre başına 10 mg'a kadar florür içerebilir. Tüm sebzelerde toprak ve sudan absorbe ettikleri bir miktar florür bulunmaktadır. Özellikle çayda, yüksek konsantrasyonlarda (100 mg/kg) florür bulunur. Florür, diş çürükleri ile mücadele etmek için özellikle yüksek şeker alımlarında diş preparatlarında kullanılır. Suyu eklenmesi önerilen miktar ise 0.5 mg ile 1 mg arasındadır (WHO, 2011). Florid alımının aşılması, iskelet sisteminde ciddi zararlara neden olmaktadır. 0.5 mg ile 1.5 mg arasında florür diş sağlığı için önemli iken, 1.5 mg'ın üzerinde florür, dişlerde sararmalara ve florozis hastalığına (kemik yapısında olumsuz değişiklikler) neden olmaktadır. Günlük florür alımı (su ve yiyeceklerden alınan), 6 mg/l'den fazla olmamalıdır. Sudan alınan florür miktarı için 1.5 mg/l florür sınır değer kabul edilmelidir (WHO, 2011).

İnceleme alanında Erciş'te 4 nolu soğuk su kaynağında (Hasanabdal mevki - 1.57 mg/l), Muradiye'de 116 nolu kuyu suyunda (Ovapınar Köyü - 1.58 mg/l) olmak üzere 1'er noktada florürün limit değerlerin üzerinde olduğu görülmüştür. Tendürek volkanına yakın olan Çaldıran ilçesinde ise; bölgeden alınan örneklerin % 30'unda florürün limit değerlerin üzerinde olduğu görülür. Çaldıran'daki en yüksek değer, (Çaldıran- Yağıbasan Köyü, 4.34 mg/l)'dir. TSE 266 (2013), WHO (2011) ve EPA (2016) standartlarına göre; limit değerlerin üzerindeki florür değerleri Tablo 4.49 ve Tablo 4.50'deki gibidir.

Arsenik (As)

Arsenik, yerkabuğunda -3, 0, +3 ve +5 değerlikli olarak oksidasyon durumunda ve sülfidler, metal arsenitler veya arsenatlar halinde bulunur. Suda çoğunlukla +5 değerlikli arsenat halinde, anaerobik koşullarda ise +3 değerlikli arsenit olarak bulunur. Doğal sularda genellikle 1 - 2 µg/l'den az konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Ancak yeraltısularında, bilhassa sülfid mineral çökellerinin ve volkanik kayalardan türeyen sedimanter çökellerin olduğu yerlerde arsenik konsantrasyonları önemli derecede yükselebilir. Arseniğin içme suyundaki limit değeri 10 µg/l kabul edilmektedir (WHO, 2011).

İçme suyu yoluyla arseniğin alınması çok sayıda epidemiyolojik çalışma ile incelenmiştir. Kronik arsenik belirtileri, hiperpigmentasyon ve hipopigmentasyon gibi dermal lezyonlar, periferik nöropati, periferik vasküler hastalıklar, cilt kanseri, mesane ve akciğer kanseridir. Arsenikçe kirlenmiş suları içen insanlarda söz konusu hastalıklar gözlenmiştir (WHO, 2011). Ayrıca, uzun süreli etkilenim; dolaşım sistemi sorunları, deri sorunları, kanser riskinde artım (deri, akciğer, akyuvar kanserleri), inorganik arsenik mide sorunları, alyuvar ve akyuvarların işlevlerinin bozulması, kadınlarda kısırlık ve düşük, DNA yıkımına neden olmakta; organik arsenik ise sinir sistemini olumsuz etkilemektedir (Vaizoğlu, 2014). Dünyada çok sayıda ülkede doğal olarak oluşan yeraltı suyu arsenik kirliliği nedeniyle 100 milyonun üzerinde insan arsenik zehirlenmesi riski ile karşı karşıya kalmıştır. İçme sularında yüksek miktarda arsenik olduğu rapor edilen yerler arasında Bengal Deltası (Batı Bengal, Hindistan ve Bangladeş) (Bhattacharyya ve diğ., 2003); Farias ve diğ., 2003; Wickramasinghe ve diğ., 2004; Harvey ve diğ., 2006; Sancha, 2006; Mondal ve diğ., 2006), Amerika (Han ve diğ., 2002); Steinmaus ve diğ., 2005; Wang ve Mulligan, 2006), Çin (Yuan ve diğ., 2003) ve Yeni Zelanda (Gregor, 2001) yer almaktadır. Özellikle Hindistan ve Bangladeş’de içme sularından kaynaklanan arseniğin nüfusun çok önemli bir kısmını etkilediği bilinmektedir. Türkiye’de ise arsenik kirliliği belirlenmiş bölgeler, Emet-Kütahya içme suyu (Oruç, 2004), Hisarcık-Kütahya (Çöl ve Çöl, 2004), İğdeköy-Emet-Kütahya (Çolak ve diğ., 2003), Bursa içme suyu kaynağı (Erdol ve Ceylan, 1997), Bigadiç - Balıkesir yeraltısuyu (Gemici ve diğ., 2008), Eşme-Uşak yeraltısuyu (Çamtepe, 2006) şeklindedir.

İnceleme alanında ise, Erciş'ten alınan örneklerin % 14'ünde, Muradiye'den alınan örneklerin % 27'sinde, Çaldıran'dan alınan örneklerin ise % 5'inde limit değerlerin üzerinde arseniğe rastlanmıştır. Arseniğin en yüksek görüldüğü yer ise; Muradiye ilçesi Beydağı köyündeki kaynak suyudur.

Alüminyum (Al)

Doğal olarak oluşan alüminyum ve içme suyu arıtımında koagülant olarak kullanılan alüminyum tuzları, sudaki alüminyumun birincil kaynağını oluşturmaktadır. Alüminyum hidroksit flokunun çökmesi ve demirle suyun renklenmesinin sonucu olarak, suda 0.1 - 0.2 mg/l'den fazla konsantrasyonlarda alüminyumun varlığı su arıtımında müşterilerde şikayetlere neden olmaktadır. Alüminyum konsantrasyonlarının 0.1 mg/l'den az olduğu durumlarda suyun görünümünü olumsuz etkilememektedir (WHO, 2011).

İçme suyunda ise alüminyum, TSE 266 (2013), WHO (2011) ve EPA (2016) standartlarının tümü birlikte incelendiğinde 200 µg/l'yi geçmemelidir.

Alüminyum; sağlık açısından böbreklerde tahribata ve Alzheimer hastalığına neden olur (Vaizoglu, 2014). Sudaki alüminyum fazlalığı, su arıtımında fazla alüminyum sülfat kullanılmasından, endüstriyel kirlenmeden veya toprak yapısından kaynaklanabilir.

İnceleme alanında; Erciş ve Muradiye'den alınan örneklerde alüminyum görülmemiş olup, Çaldıran'dan alınan örneklerin ise % 20'sinde limit değerlerin üzerinde alüminyum tespit edilmiştir. Çaldıran'da alüminyumun en yüksek görüldüğü yer, 614 µg/l ile Çaldıran - Yağlıbasan köyüdür.

Krom (Cr)

Krom, yer kabuğunda geniş bir yayılım gösterir. Krom; kayalar, hayvan ve bitkiler, toprak ve volkan tuz ve küllerinde bulunur. +2 ile +6 arasındaki değerliklerde olabilir. Kromu en çok yiyeceklerden alınır. Krom (+3) gerekli bir besin ögesidir (WHO, 2011). TSE 266 (2013), WHO (2011) ve EPA (2016) standartlarının tümü birlikte incelendiğinde içme sularındaki krom limit değerinin 50 µg/l'yi geçmemesi gerektiği görülmektedir.

Kromun yarattığı en önemli problem, deride alerji yapmasıdır. Yüksek oranda salınması solunum yollarında tahrişe yol açar. Alerjik dermatit, ağızdan alınırsa sindirim sistemi bozuklukları, havale ve böbrek bozukluklarına yol açabilir. 6 değerli krom bileşikler

solunum yoluyla vücuda girer ve kansere yol açabilir. Sudaki krom, çeşitli endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanmaktadır (Vaizoğlu, 2014).

İnceleme alanında; Erciş'ten alınan su örneklerinde krom normal değerlerde görülürken; Muradiye'den alınan örneklerin % 27'sinde, Çaldıran'dan alınan örneklerin ise % 10'unda limit değerlerin üzerinde Cr tespit edilmiştir.

Manganez (Mn)

Manganez, yer kabuğunda bol bulunan elementlerden biridir. Genellikle demirle birlikte bulunur. Çoğunlukla demir ve çelik alaşımlarının imalatında, temizleme, ağartma ve dezenfeksiyon (potasyum permanganat gibi) için bir oksidan ve çeşitli ürünlerdeki bir bileşen olarak kullanılır. Manganez, özellikle anaerobik veya düşük oksidasyon koşullarında birçok yüzey suyu ve yeraltı suyu kaynağında doğal olarak bulunur ve bu içme suyu için en önemli kaynaktır. Manganez birçok gıdada doğal olarak bulunur ve manganez en fazla gıdalardan alınmaktadır. Bazı araştırmalara göre içme suyundaki manganın nörolojik sorunlara neden olduğu ifade edilse de, bazı araştırmacılara göre sudaki mangan olumsuz bir etkisi bulunmamaktadır (WHO, 2011). Vaizoğlu (2014), manganın suda yüksek düzeylerde uzun süre alındığında da nörolojik sorunlara yol açabileceğini belirtmiştir.

İçme suyunda manganez, TSE 266 (2013), WHO (2011) ve EPA (2016) standartlarının tümü birlikte incelendiğinde 50 µg/l'yi geçmemesi gerektiği görülmektedir.

İnceleme alanında; Erciş ve Muradiye'den alınan su örneklerinde Mn'ye rastlanmamış olup, Çaldıran'dan alınan örneklerin ise % 15'inde limit değerlerin üzerinde Mn tespit edilmiştir.

Nikel (Ni)

Nikel genellikle paslanmaz çelik ve nikel alaşımlarının üretiminde kullanılır. Şebeke sularından nikel katkısı 1000 µg/l'ye çıksa da, normalde içme suyundaki nikel konsantrasyonu 20 µg/l'den azdır. Özel durumlarda, doğal olarak ya da endüstriyel nikel yataklarından nikelin salınımı sonucunda içme suyundaki nikel konsantrasyonu daha yüksek olabilir (WHO, 2011).

Nikelin günlük olarak sudan alınan miktarı çok azdır ancak nikel kirliliğinin çok yoğun olduğu bölgelerde nikel içeren çaydanlık kullanımı ve kromla kaplanmış musluklar, sudaki nikel konsantrasyonunu artmasına neden olur. Nikel bileşikleri Grup 1 kanser hastalığına neden olmaktadır. Ağızdan alınması sonucu kanser riski çok düşük olmaktadır. Kadın ve erkek üreme sistemine, büyüme ve gelişmeye etkili, ayrıca perinatal ölüme yol açabilmektedir (Vaizoğlu, 2014).

İçme suyunda nikel, TSE 266 (2013), WHO (2011) ve EPA (2016) standartlarının tümü birlikte incelendiğinde 20 µg/l'yi geçmemesi gerektiği görülmektedir.

İnceleme alanında; Erciş'ten ve Muradiye'den alınan su örneklerinde Ni'ye rastlanmamış olup, Çaldıran'dan alınan örneklerin ise % 5'inde limit değerlerin üzerinde Ni tespit edilmiştir.

Bor (B)

Bor bileşikleri; cam, sabun, deterjanlar imalatında ve alev geciktirici olarak kullanılır. Doğal olarak oluşan bor, öncelikli olarak, boratlar ve borosilikatlar içeren kayalardan ve topraklardan sızma sonucu yeraltı sularında bulunur. Yüzey sularındaki bor içeriği atık su deşarjı sonucu artabilir; ancak bu kullanım önemli ölçüde azalmakta ve atık su deşarjlarındaki bor düzeyleri düşmektedir. İçme sularındaki bor konsantrasyonları, çevredeki jeolojik yapıya ve atık su deşarjlarına bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik göstermektedir. Dünya'nın birçok yerinde içme sularındaki bor konsantrasyonları, 500 µg/l'nin altında görülmektedir. Çok sayıda mutajenite tahlilinde negatif sonuçlar, borik asit ve boraksın genotoksik olmadığını gösterir (WHO, 2011).

İçme suyunda bor, TSE 266 (2013), WHO (2011) ve EPA (2016) standartlarının tümü birlikte incelendiğinde 1000 µg/l'yi geçmemesi gerektiği görülmektedir.

Borun insan sağlığına çok büyük zararları olmamakla birlikte, içme suyunda 1000 µg/l'yi geçmesi durumunda, kalp ve damarlarda küçük etkileri olabilir, gelişimsel anlamda (organlar gelişmekte olan dönemlerde etkiler) canlıyı etkileyebilir.

İnceleme alanındaki içme sularında bor, limit değerlerin altında görülürken, sıcak su kaynaklarında yüksek konsantrasyonlarda bor görülmektedir.

Nitrat (NO_3^-)

Nitrat (NO_3^-), doğal ortamda bulunur ve önemli bir bitki besin maddesidir. Tüm bitkilerde değişen konsantrasyonlarda bulunur ve azot döngüsünün bir parçasıdır. Nitrat, tarımsal faaliyetin (azotlu inorganik gübrelerin ve gübrelerin fazla uygulanması da dahil olmak üzere), foseptik tanklar da dahil olmak üzere atıksuların atılmasından ve azotlu atık ürünlerin oksidasyonundan dolayı hem yüzey suyu hem de yeraltısularına ulaşabilir. Yüzey suyu nitrat konsantrasyonları, gübre yüzeyinde yüzey akışı, fitoplankton ile alım ve bakteriler tarafından denitrifikasyon nedeniyle hızla değişebilir, ancak yeraltı suyu konsantrasyonları genel olarak nispeten yavaş değişiklikler gösterir. Bazı yeraltısularında, doğal bitki örtüsünün yıkanması sonucu nitrat kirliliği meydana gelebilir. Birçok ülkede, kuyu sularında nitrat düzeyi 50 mg/l'den fazla olsa da, yüzey sularından gelen içme sularındaki nitrat düzeyleri 10 mg/l'yi geçmez. Genellikle nitrit düzeyleri ise, nitrat düzeylerine göre o daha azdır (WHO, 2011).

İçme suyundaki nitrat kirliliği belirlenirken, TSE 266 (2013), WHO (2011) ve EPA (2016) standartlarının tümü birlikte incelendiğinde nitrat miktarının 10 mg/l'yi geçmemesi gerektiği görülmektedir.

İnceleme alanında; Erciş'te hiçbir lokasyonda nitrat kirliliği görülmezken, Muradiye'den alınan su örneklerinde sadece 1 noktada (116 nolu kuyu, Ovapınar Köyü - 17.1 mg/l) nitratın limit değerlerin üzerinde olduğu görülmüştür. Çaldıran'da ise; alınan su örneklerinin % 25'inde nitratın limit değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir. Nitratın en yüksek olduğu lokasyon ise, Çaldıran Koçovası köyündeki 123 nolu kuyu suyudur (21.8 mg/l).

pH

İçme suyu kalitesinin değerlendirilmesinde, pH en önemli parametrelerden biridir. Suyun asitliği veya bazlığı su kalitesini önemli ölçüde etkiler. pH, su içindeki H^+ ve OH^- iyonu konsantrasyonlarının azalıp artmasına göre değişir. Suların pH'a göre sınıflandırılması Şahinci (1991b) tarafından Tablo 4.55'deki gibi yapılmıştır.

Tablo 4.55: Suların pH değerlerine göre sınıflandırılması (Şahinci, 1991b).

pH	Özellik
> 8.5	Bazik
8.5 - 7	Bazik karakterli
7	Nötr
7 - 4.5	Asit karakterli
< 4.5	Asidik

Klorla etkin bir dezenfeksiyon için pH, tercihen 8'den az olmalıdır; ayrıca, daha düşük pH'lı su (yaklaşık pH 7 veya daha düşük), aşındırıcı olma ihtimalindedir. Ev su sistemlerinde su şebekesinin ve boruların korozyonunu en aza indirmek için dağıtım sistemine giren suyun pH değeri kontrol edilmelidir. Korozyonun en aza indirilmemesi, içme suyunun kirlenmesinde, tadında ve görünümünde olumsuz etkilere neden olabilir. Gerekli en uygun pH, suyun bileşimine ve dağıtım sisteminde kullanılan yapı malzemesine göre farklılık gösterebilir, ancak genellikle 6.5-8.5 aralığı içindedir (WHO, 2011).

İçme suları için WHO (2011) ve US EPA (2016) tarafından önerilen pH aralığı, 6.5 ile 8.5 arasındadır. TSE (2013) tarafından önerilen pH aralığı ise 6.5 ile 9.5 arasındadır.

İnceleme alanında; Zilan havzasındaki sular 7.76 ile 9 arasında pH aralığına sahip olup, Şahinci (1991b)'e göre bazik karakterli ve bazik sulardan meydana gelmektedir (Tablo 4.52). Bendimahı havzasında ise; 26 nolu soğuk su kaynağında (Çaldıran - Evciler Köyü) 6.8 pH değeri görülürken, 20, 21, 22 ve 24 nolu soğuk su kaynakları ile 121 ve 126 nolu kuyu suları 8.5'in üzerinde pH değerine sahip olup Şahinci (1991b)'e göre bazik sular sınıfında kabul edilmiştir. Kalan diğer soğuk su kaynakları ve kuyu suları ise Şahinci (1991b)'e göre bazik karakterli sular sınıfında kabul edilmiştir.

EC (Elektriksel İletkenlik)

Suların elektriksel iletkenlik değerleri de içilebilirliğini etkileyen önemli faktörlerdendir. Zilan Havzasında en düşük elektriksel iletkenlik değeri 55 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile Erciş ilçesi Keklikırtı köyünde görülürken, en yüksek elektriksel iletkenlik değeri ise; 624 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile Erciş ilçesi 2 nolu soğuk su kaynağında (Taşkapı Köyü) görülmektedir (Tablo 4.56).

Bendimahı havzasında ise; en düşük elektriksel iletkenlik değeri en düşük elektriksel iletkenlik değeri Çaldıran ilçesi Kilimli Köyü'ndeki 22 nolu soğuk su kaynağında 89

$\mu\text{S}/\text{cm}$ ve en yüksek elektriksel iletkenlik değeri ise; Çaldıran ilçesi Hanköy'deki 125 nolu kuyu suyunda $1979 \mu\text{S}/\text{cm}$ olmak üzere görülmüştür (Tablo 4.56).

TDS (Toplam Çözünmüş Katı Madde Miktarı)

Toplam çözünmüş katılar (TDS), inorganik tuzlar (esas olarak kalsiyum, magnezyum, potasyum, sodyum, bikarbonatlar, klorürler ve sülfatlar) ve suda çözünmüş az miktarda organik madde içerir. İçme suyundaki TDS, doğal kaynaklardan, kanalizasyondan, şehir içi kaçaktan ve endüstriyel atık sudan kaynaklanmaktadır. Bazı ülkelerde yol buz çözme için kullanılan tuzlar da içme suyunun TDS içeriğine katkıda bulunabilir. TDS'nin sudaki konsantrasyonları, minerallerin çözünürlük farklılıkları nedeniyle farklı jeolojik bölgelerde önemli ölçüde farklılık göstermektedir (WHO, 2011).

İnceleme alanında; Zilan havzasından alınan örneklerde en düşük TDS, 218.53 mg/l ile (Erciş -Ağaçören Köyü)'nde görülürken, en yüksek TDS değeri ise, 1088.9 mg/l ile (4 nolu örnek-Erciş - Hasanabdal Köyü)'nde görülmektedir (Tablo 4.56).

Bendimahı havzasında ise; en düşük TDS, 224.11 mg/l ile Çaldıran ilçesi Yumaklı Köyü'ndeki 13 nolu soğuk su kaynağı olup, en yüksek TDS değeri ise 1978.9 mg/l ile Çaldıran ilçesi Koçovası Köyü'ndeki 123 nolu kuyu suyunda görülmektedir (Tablo 4.56).

Tablo 4.56: Zilan ve Bendimahi havzalarındaki soğuk su kaynakları ve kuyu sularında ölçülen pH, EC ve TDS değerleri.

Su Tipi	Örnek No	Örnek Yeri	pH	Elektriksel İletkenlik - EC (µS/cm)	EC 25 (µS/cm)	TDS (mg/l)
S O Ğ U K S U K A Y N A K L A R I	1	Zilan Havzası - Yukarışıklı Köyü	7.76	194	234	931.19
	2	Zilan Havzası - Taşkapı Köyü	8.05	624	708	566.56
	4	Zilan Havzası - Hasanabdal Mevki □	8.9	383	440	1088.9
	5	Zilan Havzası - Hasanabdal Mevki □	8.5	271	324	508.32
	6	Zilan Havzası - Keklikşırı Köyü	9	55	59	310.43
	7	Zilan Havzası - Ağaçören Köyü	9	105	109	218.53
	8	Bendimahi H. - Muradiye-Ovapınar K.	7.75	302	308	399.16
	9	Bendimahi H. - Muradiye-Köşkköy	7.61	608	610	659.61
	10	Bendimahi H. - Muradiye- Topuzarpa K.	8	344	356	623.72
	11	Bendimahi H. -Muradiye-Uluşar Köyü	7.82	568	625	671.83
	12	Bendimahi H. -Muradiye- Beydağ K. □	8.08	267	274	323.13
	13	Bendimahi H. -Muradiye- Yumaklı Köyü	8.05	143	147	224.11
	14	Bendimahi H. -Muradiye-Merkez	8.1	366	400	447.19
	15	Bendimahi H. -Çaldıran-Ayrancılar Köyü	8.12	180	182	335.83
	16	Bendimahi H. - Çaldıran - Kalkandelen K.	8.02	431	516	543.99
	17	Bendimahi H. - Çaldıran - Yağbasan K.	7.6	550	796	627.9
	18	Bendimahi H. - Çaldıran - Altıyol Köyü	7.5	510	602	624.79
	19	Bendimahi H. - Çaldıran - Yeniyaka Köyü	8.39	725	797	490.7
	20	Bendimahi H. - Çaldıran - Alikelle Köyü	8.81	136	150	476.89
	21	Bendimahi H. - Çaldıran - Kilimli Köyü	8.61	347	410	501.68
	22	Bendimahi H. - Çaldıran - Kilimli Köyü	8.79	89	92	234.79
	24	Bendimahi H. - Çaldıran - Salhane Köyü	8.76	146	186	224.35
	25	Bendimahi H. - Çaldıran - Evciler Köyü	7.3	202	247	295.68
	26	Bendimahi H. - Çaldıran - Evciler K.	6.8	496	559	391.6
	27	Bendimahi H. - Çaldıran - Hanköy Köyü	7.98	503	508	680.45
K U Y U S U L A R I	116	Bendimahi H. - Muradiye - Ovapınar K.	7.89	1465	1551	1138.2
	117	Bendimahi H. - Muradiye - Kocasaban K.	7.69	636	680	819.38
	118	Bendimahi H. - Muradiye - Uluşar K.	8.05	556	695	478.73
	119	Bendimahi H. - Muradiye - Merkez -Fvz.Ckmak Mh.	7.96	543	648	649.95
	120	Bendimahi H. - Çaldıran - Yassitepe Köyü	8.41	320	383	388.23
	121	Bendimahi H. - Çaldıran - Yaykılıç Köyü	8.67	711	821	506.86
	122	Bendimahi H. - Çaldıran - Kilimli Köyü	8.07	104	111	295.77
	123	Bendimahi H. - Çaldıran - Koçovası Köyü	7.59	1938	2232	1978.9
	124	Bendimahi H. - Çaldıran - Doyumalan Köyü	8.12	610	698	706.74
	125	Bendimahi H. - Çaldıran - Hanköy	8.38	1979	2524	1377.5
	126	Bendimahi H. - Çaldıran - Aşağıkuyucak Köyü	8.51	1395	1745	1650.5

Sertlik

Suya sertlik özelliğini veren başlıca iyonlar kalsiyum, magnezyum ve bikarbonat iyonlarıdır. Suların sertliği birçok farklı yöntemle hesaplanırken, Türkiye'de suların sertliğini belirlemede kullanılan başlıca yöntem "Fransız Sertliği" yöntemidir. Fransız sertliği, 100 ml suda bulunan 1 mg CaCO₃ miktarı olarak tanımlanır (Şahinci, 1991b). Fransız sertliği, aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$(Ca (mg/l) + Mg (mg/l)) / 2 * 10 \quad (4.15)$$

Şahinci (1991b) tarafından sular sertlik derecesine göre Tablo 4.57'deki gibi sınıflandırılmaktadır.

Tablo 4.57: Sertlik derecesine göre suların sınıflandırılması (Şahinci, 1991b).

Fransız Sertliği (Şahinci, 1991b)	
Sertlik Derecesi (mg/l)	Su Sınıfı
0 - 7.2	Çok Yumuşak
7.2 - 14.5	Yumuşak
14.5 - 21.5	Az Sert
21.5 - 32.5	Oldukça Sert
32.5 - 54	Sert
> 54	Çok Sert

Fransız sertliği kullanılarak hesaplanan sertlik derecelerine göre; Zilan havzasındaki soğuk su kaynaklarında Erciş ilçesi Keklikırtı Köyü'ndeki 6 nolu soğuk su kaynağında sertlik derecesi 41.6 mg/l'dir. Söz konusu su, "sert su" sınıfındadır. Zilan havzasında yer alan diğer tüm soğuk su kaynakları 54 mg/l'nin üzerinde değere sahip olup, "çok sert" su sınıfındadır.

Bendimahı havzasında yer alan tüm soğuk su kaynakları ve kuyu sularında sertlik derecesi 54 mg/l'nin üzerinde değere sahip olup, "çok sert" su sınıfındadır.

4.4.6.2. İnceleme Alanındaki Suların Tarımsal Sulamada Kullanılabilirliğini Etkileyen Faktörler

İnceleme alanındaki suların tarımsal sulama için uygunluğunun belirlenmesinde, % Na, SAR, RSC, permeabilite indeksi (PI), Kelly indeksi (KR) ve magnezyum tehlikesi (MH) gibi hidrokimyasal parametreler incelenmiştir.

Sodyum Yüzdesi (% Na)

Sodyum konsantrasyonu, sulama suyunu sınıflamada önemlidir; çünkü sodyum konsantrasyonu toprakla reaksiyona girerek toprağın geçirimliliğini azaltır (Wilcox, 1948). Sodyum içeriği genellikle sodyum yüzdesi olarak ifade edilir. Sodyum yüzdesi aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır:

$$\% \text{ Na} = (\text{Na} + \text{K}) / (\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K}) \times 100 \quad (4.16)$$

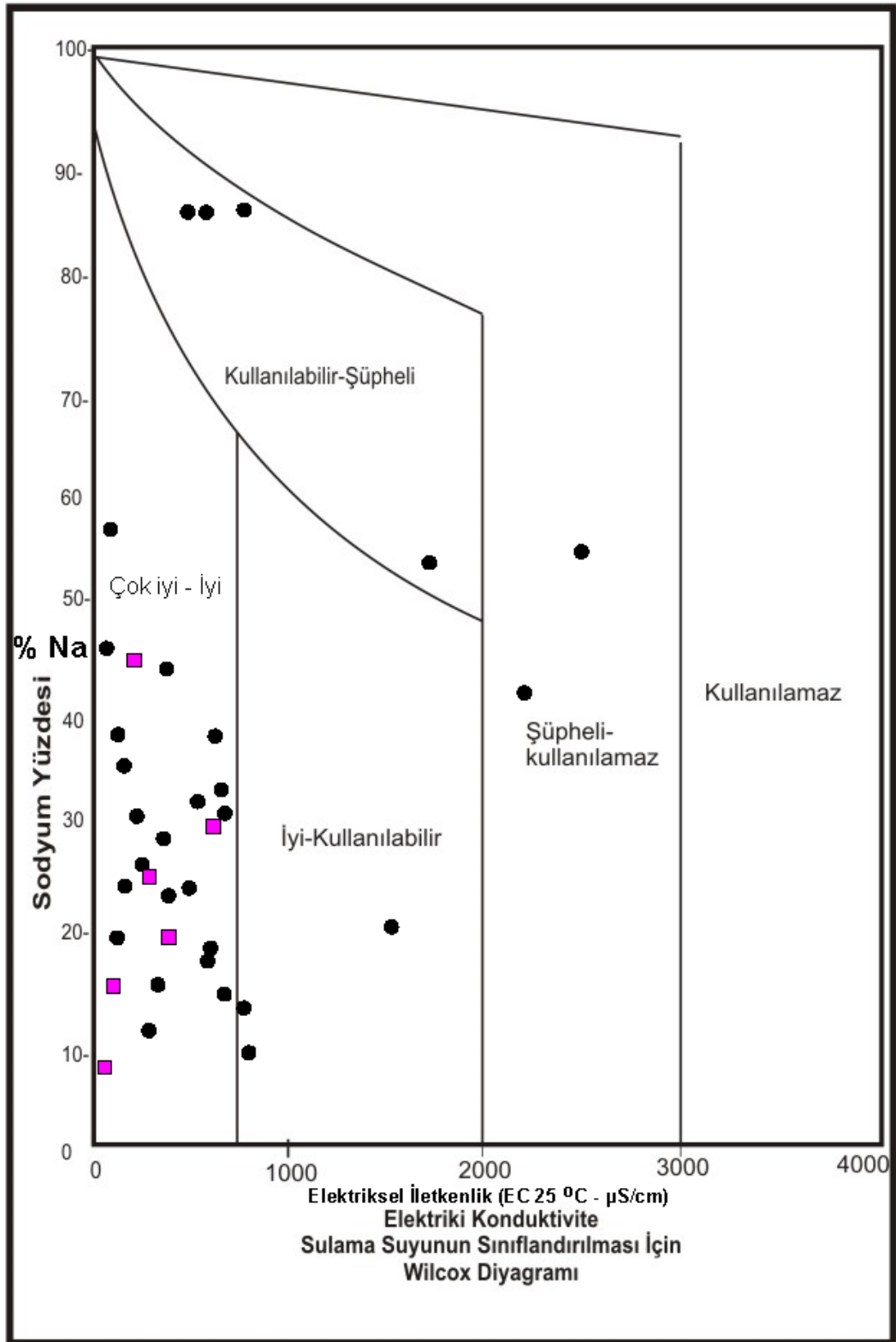
Zilan havzasındaki soğuk su kaynaklarında en düşük % Na değerine sahip lokasyon, 7.26 sodyum yüzdesi ile Erciş ilçesi Keklikırtı Köyü'ndeki 6 nolu soğuk su kaynağıdır. En

yüksek % Na değerine sahip lokasyon ise 25.28 sodyum yüzdesi ile Erciş ilçesi Yukarıışıklı Köyü'ndeki 1 nolu soğuk su kaynağıdır.

Bendimahı havzasındaki soğuk su kaynakları ve kuyu sularında ise en düşük % Na değerine sahip lokasyon, 9.42 sodyum yüzdesi ile Çaldıran ilçesi Yaykılıç Köyü'ndeki 121 nolu kuyu suyu iken; en yüksek % Na değerine sahip lokasyon ise; 85.99 sodyum yüzdesi ile Çaldıran ilçesi Yağıbasan Köyü'ndeki 17 nolu soğuk su kaynağıdır.

Şekil 4.87'deki Wilcox diyagramına göre, Zilan havzasında yer alan tüm soğuk su kaynakları kullanım özelliği bakımından "Çok İyi - İyi" sular sınıfında yer almaktadır.

Bendimahı havzasındaki 126 nolu Çaldıran - Aşağıkuyucak Köyü'ndeki kuyu suyu, 17 nolu Çaldıran - Yağıbasan Köyü, 18 nolu Çaldıran - Altıyol Köyü ve 27 nolu Çaldıran - Hanköy'deki soğuk su kaynakları, Wilcox diyagramına göre kullanım özelliği bakımından "Kullanılabilir - Şüpheli" sular sınıfında yer almaktadır. Çaldıran - Koçovası Köyü'ndeki 123 nolu kuyu suyu ile Çaldıran - Hanköy'deki 125 nolu kuyu suyu Wilcox diyagramına göre kullanım özelliği bakımından "Şüpheli - Kullanılamaz" sular sınıfında yer almaktadır. 116 nolu kuyu suyu, 121 nolu kuyu suyu ve 19 nolu soğuk su kaynağı "İyi - Kullanılabilir" sular sınıfındadır. Kalan diğer tüm kaynak ve kuyular ise "Çok iyi - İyi" sular sınıfında yer almaktadır.



Şekil 4.87: Zilan ve Bendimahi havzalarından alınan soğuk su ve kuyu sularına ait Wilcox diyagramı (Wilcox, 1948).

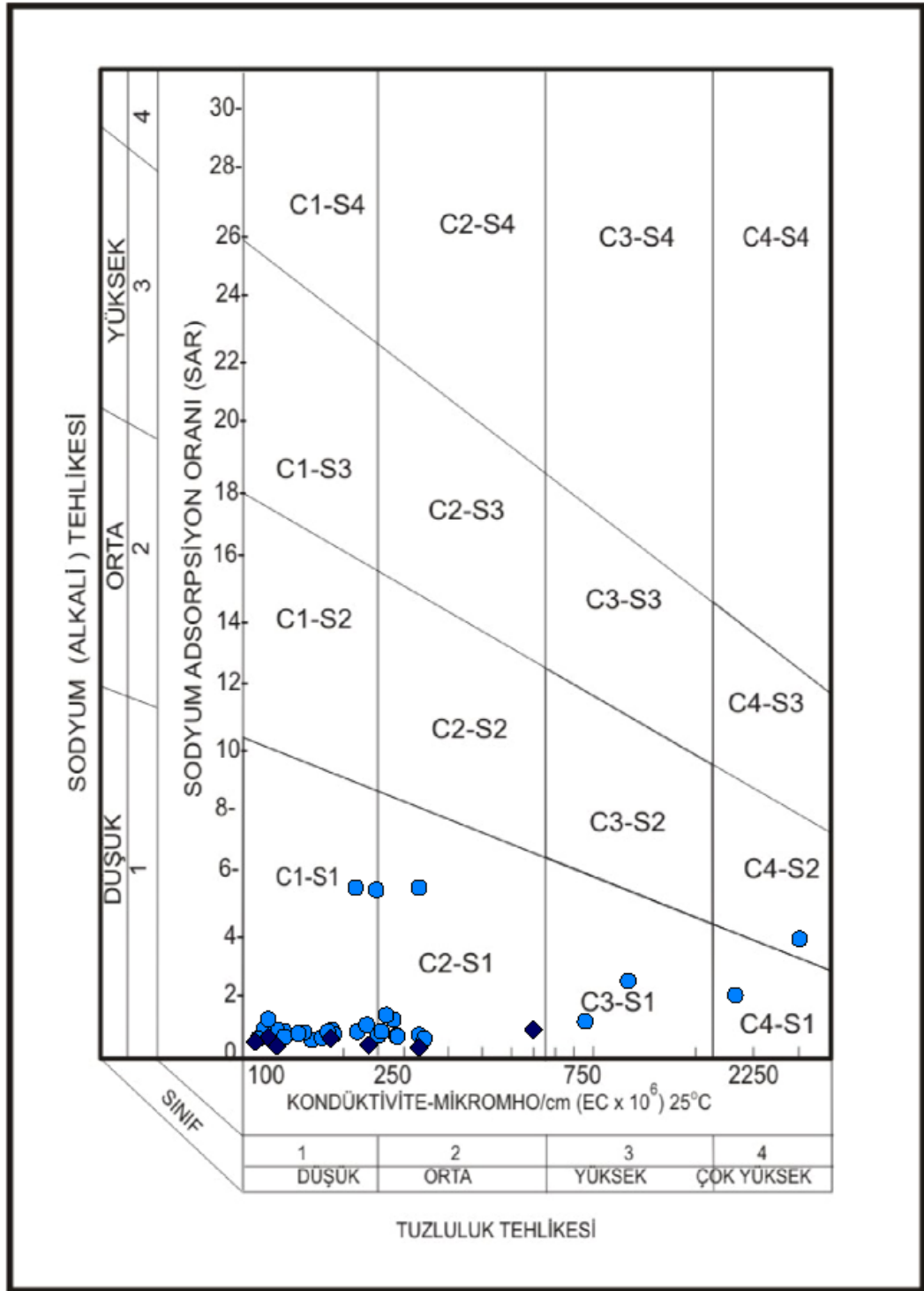
* Pembe renkli kareler Zilan havzasındaki soğuk su kaynaklarını, siyah renkli daireler ise Bendimahi havzasındaki soğuk su kaynakları ve kuyu sularını temsil etmektedir.

Tuzluluk Tehlikesi - Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR)

Sudaki yüksek elektriksel iletkenlik, düşük geçirgenliğe sahip ve sert dokulu tuzlu bir toprak oluşturur. EC (elektriksel iletkenlik) değerlerine bağlı olarak sulama suyu; düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere, dört tuzluluk tehlike bölgesine ayrılmaktadır. Sodyum adsorbsiyon oranı hesaplanırken iyonlar meq/l cinsinden hesaplanmaktadır (Şahinci, 1991b). Sodyum tehlikesi ve tuzluluk tehlikesi arasındaki ilişkide SAR (Sodyum Adsorbsiyon Oranı) aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$SAR = Na / \sqrt{[(Ca + Mg) / 2]} \quad (4.17)$$

Zilan havzasındaki soğuk su kaynakları, Şekil 4.91'de Tuzluluk - Sodyum tehlikesi grafiğinde değerlendirilmiştir. Zilan havzasındaki soğuk su kaynaklarında en küçük SAR değerine sahip lokasyon, 0.12 sodyum adsorbsiyon oranı ile Erciş ilçesi Keklikırtı Köyü'ndeki 6 nolu soğuk su kaynağı iken; en yüksek SAR değerine sahip lokasyon ise 0.61 sodyum adsorbsiyon oranı ile Erciş ilçesi Taşkapı Köyü'ndeki 2 nolu soğuk su kaynağıdır.



Şekil 4.88: Zilan ve Bendimahi havzasından alınan soğuk su ve kuyu sularının tuzluluk ve sodyum tehlikesine göre derecelendirmesi (ABD Tuzluluk Laboratuvarı, 1954).

*Açık mavi renkli daireler Bendimahi havzasındaki soğuk su kaynakları ve kuyu sularını, lacivert renkli eşkenar dörtgen simgesi ise Zilan havzasındaki soğuk su kaynaklarını temsil eder.

Söz konusu sular, Şekil 4.88'deki Tuzluluk - Sodyum tehlikesi grafiğine göre; düşük sodyum tehlikesi ve orta tuzluluk tehlikesi bölgesinde yer almakta olup, C2S1 su sınıfındadır. Zilan havzasındaki diğer sular ise; düşük sodyum tehlikesi ve düşük tuzluluk tehlikesi bölgesinde yer almakta olup, C1S1 su sınıfında yer almaktadır.

Bendimahı havzasındaki soğuk su kaynakları ve kuyular da, Şekil 4.88'de Tuzluluk - Sodyum tehlikesi grafiğinde değerlendirilmiştir. Bendimahı havzasındaki suların büyük bir kısmı, düşük sodyum tehlikesi ve düşük tuzluluk tehlikesi bölgesinde yer almakta olup, C1S1 su sınıfındadır. 7 lokasyonda, düşük sodyum tehlikesi ve orta tuzluluk tehlikesi bölgesinde yer almakta olup, C2S1 su sınıfındadır. Muradiye ilçesi Ovapınar Köyü'ndeki 116 nolu kuyu suyu ile Çaldıran ilçesi Aşağıkuyucak Köyü'ndeki 126 nolu kuyu suyu, düşük sodyum tehlikesi ve yüksek tuzluluk tehlikesi bölgesinde yer almakta olup, C3S1 su sınıfındadır. Çaldıran ilçesi Koçovası Köyü'ndeki 123 nolu kuyu suyu, düşük sodyum tehlikesi ve çok yüksek tuzluluk bölgesinde yer almakta olup, C4S1 su sınıfındadır. Çaldıran ilçesi Hanköy'deki 125 nolu kuyu suyu, orta sodyum tehlikesi ve çok yüksek tuzluluk bölgesinde yer almakta olup, C4S2 su sınıfındadır.

Karbonat ve Bikarbonat Tehlikesi - Residual Sodyum Karbonat (RSC)

Sulama amaçlı kullanılan yeraltısularında karbonat ve bikarbonatın zararlı etkilerini belirlemek için residual sodyum bikarbonat (RSC) hesaplanmıştır. Artık karbonat (residual) konsantrasyonu çok yüksek olduğunda, karbonat bir skala oluşturmak için Ca ve Mg ile birleşerek suya bağlanır (Patel ve diğ., 2016). Sudaki RSC'nin yüksek bir değere sahip olması, topraktaki sodyum adsorbsiyonunda (SAR) artışa neden olur (Eaton, 1950). Eaton (1950)'ye göre; RSC değerinin 2.5 meq/l'den yüksek olması, söz konusu suların sulama için uygun olmadığını göstermektedir. Ayrıca; Eaton (1950), RSC değerinin 1.25 meq/l'den düşük olması veya 1.25 meq/l ile 2.5 meq/l arasında olması durumunda sulama için güvenli olabileceğini belirtmektedir. RSC değeri, aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır:

$$RSC = (CO_3 + HCO_3) - (Ca + Mg) \quad (4.18)$$

İnceleme alanı için karbonat ve bikarbonat tehlikesi bakımından RSC değerleri hesaplanmıştır. Zilan havzası için hesaplanan RSC değerleri -1.12 meq/l ile 0.14 meq/l arasında değişiklik göstermektedir. Örneklerin tümünde RSC değeri, 2.5 meq/l'nin

altındadır. Dolayısıyla bölgedeki sular, karbonat ve bikarbonat tehlikesi bakımından sulama amaçlı kullanılabilir.

Bendimahı havzası için yapılan değerlendirmede ise; RSC değerlerinin -4.04 ile 5.38 meq/l arasında değiştiği görülmektedir. Örneklerin % 13'ünde (4 örnek) RSC değeri 2.5 meq/l'nin üzerindedir. RSC değerinin 2.5 meq/l üzerinde olduğu örnekler; Çaldıran ilçesi Yağlıbasan Köyü'ndeki 17 nolu örnek, Çaldıran ilçesi Altıyol Köyü'ndeki 18 nolu örnek, Çaldıran ilçesi Hanköy'deki 27 ve 125 nolu örneklerdir. Söz konusu örnekler karbonat ve bikarbonat tehlikesi bakımından sulamaya uygun değildir. Bendimahı havzasındaki örneklerin % 87'sinde ise RSC değeri 2.5 meq/l'nin altında değerler olup, karbonat ve bikarbonat tehlikesi bakımından sulama amacıyla kullanılabileceği sonucu ortaya çıkmaktadır.

Permeabilite (Geçirimsilik) İndeksi (PI)

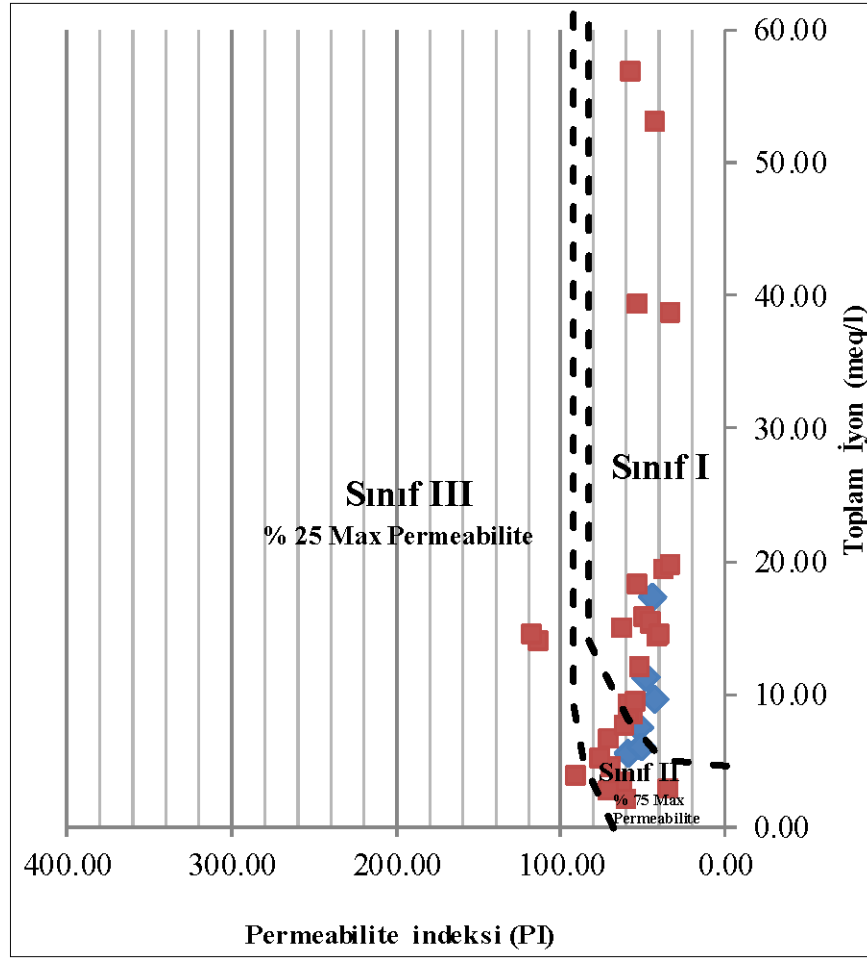
WHO, sulama için kullanılacak suların uygunluğunun değerlendirilmesinde bir kriter olarak geçirimsilik indeksini kullanmaktadır. Geçirimsilik indeksi (PI) aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$PI = [Na + \sqrt{(HCO_3) / Ca + Mg + Na}] \times 100 \quad (4.19)$$

Doneen (1964), orta geçirimsilikteki topraklar için sulama amaçlı kullanılacak suları sınıflamak için bir diyagram geliştirmiştir. Bu diyagramda, maksimum permeabiliteye sahip suları Sınıf I, % 75 permeabiliteye sahip suları Sınıf II, % 25 permeabiliteye sahip suları ise; Sınıf III olarak tanımlamıştır (Şekil 4.89). Sulama için kullanılabilecek en uygun sular Sınıf I sularıdır.

Zilan havzası için hesaplanan PI değerleri 42.75 meq/l ile 59.56 meq/l arasında değişmektedir. Zilan havzasındaki suların % 66'si Sınıf I kapsamına girmektedir. Yani sulama için uygun sulardır. % 34'lük kısmı ise (1 ve 7 nolu örnekler); Sınıf II kapsamındadır. Dolayısıyla Zilan havzasındaki suların büyük bir kısmı geçirimsilik indeksi bakımından tarımsal sulamaya uygun sulardır.

Bendimahı havzası için hesaplanan PI değerleri 33.04 meq/l ile 116.28 meq/l arasında değişmektedir. Bendimahı havzasındaki suların % 10'u (3 örnek) Sınıf III, % 90'ı (27 örnek) ise Sınıf I ve Sınıf II kapsamına girmektedir.



Şekil 4.89: İnceleme alanındaki soğuk su kaynakları ve kuyu sularına ait Doneen permeabilite indeksi diyagramı.

* Mavi renkli simgeler Zilan havzasındaki soğuk su kaynaklarını, kırmızı renkli simgeler ise Bendimahi havzasındaki soğuk su kaynakları ve kuyu sularını temsil etmektedir.

Dolayısıyla Bendimahi havzasındaki soğuk su kaynakları ve kuyu sularının büyük bir kısmı PI indeksine göre tarımsal sulama için uygun sulardır. Sınıf III kapsamına giren sular; 24 nolu Çaldıran ilçesi Salhane Köyü'ndeki soğuk su kaynağı, 27 nolu Çaldıran ilçesi Hanköy'deki soğuk su kaynağı ve 17 nolu Çaldıran ilçesi Yağıbasan Köyü'ndeki soğuk su kaynağıdır. Söz konusu sular ise PI indeksi açısından yapılan değerlendirme sonucunda sulama amaçlı kullanımı uygun olmayan sulardır. İnceleme alanındaki suların PI indeksi ve toplam iyon konsantrasyonunu gösteren Doneen permeabilite indeksi diyagramı Şekil 89'deki gibidir.

Kelly Oranı (KR)

Kelly (1940) ve Paliwall (1967), suların sulama amaçlı kullanılabilirliği ile ilgili kalsiyum ve magnezyuma karşı, sodyumu hesaplayarak "Kelly oranı" adını verdikleri bir hesaplama yapmışlardır. Kelly oranının 1'den büyük olması, sudaki sodyumun fazlalığını ve söz konusu suyun sulama için uygun olmadığını, 1'den küçük olması ise suların sulama amaçlı kullanılabileceğini belirtir (Patel ve diğ., 2016).

Kelly oranı, aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır (Patel ve diğ., 2016) :

$$KR = Na / (Ca + Mg) \quad (4.20)$$

Zilan havzasındaki soğuk su kaynakları için hesaplanan Kelly oranı, 0.04 meq/l ile 0.18 meq/l arasında değişmektedir. Dolayısıyla Kelly oranı kriterine göre, Zilan havzasındaki tüm sular 1'den küçük olduğu için sulama için kullanılabilir.

Bendimahı havzasındaki soğuk su kaynakları ve kuyu suları için hesaplanan Kelly oranı, 0.06 meq/l ile 3.69 meq/l arasında değişmektedir. 17 nolu Çaldıran ilçesi Yağıbasan Köyü'ndeki soğuk su kaynağı, 18 nolu Çaldıran ilçesi Altıyol Köyü'ndeki soğuk su kaynağı, 27 nolu Çaldıran ilçesi Hanköy'deki soğuk su kaynağı ve 122 nolu Çaldıran ilçesi Kilimli Köyü'ndeki kuyu suyunda Kelly oranının 1'den büyük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla Kelly oranına göre, söz konusu kaynaklar sulamaya uygun olmadığı görülmektedir.

Magnezyum Tehlikesi (MH)

Szabolcs ve Darab (1964), suların tarımsal sulama için uygunluğunu belirlemek amacıyla bir magnezyum tehlikesi eşitliği önermişlerdir. Magnezyum tehlikesi eşitliği aşağıdaki gibidir:

$$MH = (Mg / Ca + Mg) \times 100 \quad (4.21)$$

Normalde sulanan topraklardaki yüksek seviyedeki magnezyum, magnezyum ve sodyum arasındaki iyon değişiminden kaynaklanmaktadır. Toprakta, kalsiyuma nispeten artan magnezyum oranı topraktaki kil parçalarının dağılmasına neden olur ve bu durum toprağın yapısına zarar verir ve Mg'nin Na gibi davranmasıyla da toprağın göreceli hidrolik iletkenliğini azaltır (Rasouli ve diğ., 2012). Bu nedenle yüksek magnezyumlu su ile sulanan toprakta verimliliğin düşük olduğu görülür. Özellikle toprak suyundaki Mg/Ca

oranının 1'den büyük olması; arpa, buğday, mısır ve şeker pancarı gibi ürünlerin verimini önemli derecede azaltmaktadır. Sudaki magnezyum tehlikesi (MH) değerinin 50'den büyük olması, sulama için uygun olmadığını ve tarım ürünlerini olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir.

Zilan havzasındaki soğuk su kaynaklarında MH değerleri, 2.50 meq/l ile 53.64 meq/l arasında değişmektedir. Zilan havzasında sadece Erciş ilçesi Yukarışıklı Köyü'ndeki 1 nolu soğuk su kaynağında MH değerinin 50'den büyük olduğu (53.64 meq/l) olduğu görülmektedir. Diğer kaynaklarda MH değeri 50'den küçüktür. Dolayısıyla magnezyum tehlikesi için yapılan değerlendirmede, sadece 1 nolu soğuk su kaynağının sulama için uygun olmadığı, diğer soğuk su kaynaklarının sulamaya uygun olduğu görülmektedir.

Bendimahı havzasındaki soğuk su kaynakları ve kuyu sularındaki MH değerleri ise 5.36 meq/l ile 73.84 meq/l arasında değişmektedir. Bendimahı havzasında; 17 nolu Çaldıran ilçesi Yağlıbasan Köyü'ndeki soğuk su kaynağı, 18 nolu Çaldıran ilçesi Altıyol Köyü'ndeki soğuk su kaynağı, 26 nolu Çaldıran ilçesi Evciler Köyü'ndeki soğuk su kaynağı, 27 nolu Çaldıran ilçesi Hanköy'deki soğuk su kaynağı, Muradiye ilçesi Kocasaban Köyü'ndeki 117 nolu kuyu suyu, Çaldıran ilçesi Yaykılıç Köyü'ndeki 121 nolu kuyu suyu, 123 nolu Koçovası Köyü'ndeki kuyu suyu, 125 nolu Hanköy'deki kuyu suyu ve 126 nolu Aşağıkuyucak Köyü'ndeki kuyu suyunda MH değerleri 50 meq/l'nin üzerinde görülmektedir. Dolayısıyla söz konusu soğuk su kaynakları ve kuyu sularının magnezyum tehlikesi bakımından tarımsal sulamaya uygun olmadığı görülür.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

İnceleme alanı olarak seçilen Erciş - Çaldıran - Muradiye (Van) bölgesi, Türkiye'nin doğusunda yer alan Van Gölü'nün kuzeydoğusunda konumlanmıştır. İnceleme alanı; Zılan Çayı, Deliçay ve Bendimahı Çayı'na ait 3 havzayı içine alan 3782 km²'lik bir alandan oluşmaktadır. Havza içerisinde vatandaşlar ve çeşitli kurumlar tarafından açılan çok sayıda sondaj kuyusu ve soğuk su kaynağı bulunmaktadır. Ayrıca, Erciş ilçesinde ve Çaldıran ilçesinde toplam 5 önemli jeotermal kaynak yer almaktadır.

“Erciş - Çaldıran - Muradiye (Van) Bölgesinin Hidrojeolojik ve Jeotermal İncelenmesi” konulu tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

5.1. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ İLE İLGİLİ SONUÇLAR

İnceleme alanı öncelikle jeolojik özellikleri bakımından araştırılmıştır. İnceleme alanının jeolojik özellikleri değerlendirilirken, söz konusu alan “inceleme alanının batısı” ve “inceleme alanının doğusu” olmak üzere 2 bölüm şeklinde değerlendirilmiştir. İnceleme alanının batısı, Zılan (Erciş) havzası ve Deliçay nehrinin batısını kapsamakta olup, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimlerden oluşmaktadır. Mesozoyik yaşlı birimler, Üst Kretase yaşlı bir granitoid kütle (Mehmetkaya Granitoidi) ile Üst Kretase yaşlı bir ofiyolitik melanjdan (Gergili ofiyolitik melanji) oluşmaktadır. Senozoyik yaşlı kayalar ise; Tersiyer yaşlı karbonatlı sedimanter kayalar, Tersiyer yaşlı volkanitler (Aladağ ve Ağırkaya volkanitleri), Kuvaterner yaşlı volkanitler (Girekol ve Meydan volkanitleri) ve alüvyondan meydana gelmektedir. İnceleme alanının doğusunu kapsayan bölümde ise; Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimler görülmektedir. Paleozoyik yaşlı birimler, metamorfik (Tepedam Metamorfikleri) ve sedimanter kayalardan (Kazlıgöl ve Yamanyurt Formasyonları) oluşmaktadır. Mesozoyik yaşlı birimler, Üst Kretase yaşlı ofiyolitik melanjdan (Yüksekova Karmaşığı) ibarettir. Senozoyik yaşlı birimler ise tabandan tavana doğru sırasıyla; Tersiyer yaşlı karbonatlı sedimanter kayalar, Tersiyer yaşlı volkanitler (Muradiye plato bazaltları ve Köseadağ, Etrüsk, Argıt volkanitleri), Tersiyer yaşlı kırıntılı sedimanter kayalar, Pliyo-Kuvaterner yaşlı karbonatlı sedimanter kayalar, Pliyo-Kuvaterner yaşlı kırıntılı sedimanter kayalar, Pliyo-Kuvaterner yaşlı volkanitler, Kuvaterner yaşlı volkanitler (Tendürek volkanitleri ve Bendimahı bazanit-tefrit birimi) ve Kuvaterner alüvyondan meydana gelmektedir. Özetle, inceleme alanının

batısında tabanı Üst kretase yaşlı granitoyid kütlesi ve ofiyolitik melanj oluştururken, üzerini yer yer kırıntılı ve karbonatlı kayaların ve bu kayaların üzerini de sıkça volkanik kayaların örttüğü görülmektedir. İnceleme alanının batısında volkanik kayaların egemen olduğu görülmektedir. İnceleme alanının doğusunda ise; tabanda Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar görülürken, üzerine Doğu Anadolu yığılma karmaşığı'nın bir parçası olan okyanusal kabuk malzemesinin geldiği ve yer yer kırıntılı ve karbonatlı Sedimanter kayalar ile örtüldükten sonra, en üstte volkanik kayaların tümünü örttüğü görülmektedir.

İnceleme alanı yapısal özellikleri bakımından incelendiğinde başlıca 2 önemli aktif fay olduğu görülmektedir. İnceleme alanının batısında birçok segmente sahip 20 km uzunluğundaki sağ yönlü doğrultu atımlı Erciş Fayı, inceleme alanının doğusunda ise 60 km uzunluğundaki sağ yönlü doğrultu atımlı Çaldıran Fayı görülmektedir. Alan kendi içinde çok sayıda mostra ölçeğinde fay da içermektedir. Çalışma kapsamında, bölgenin jeolojisini ayrıntılı olarak görebilmek amacıyla inceleme alanına ait 1/250.000 ölçekli jeoloji haritası ve jeolojik kesitler oluşturulmuştur.

5.2. İNCELEME ALANININ HİDROLOJİSİ İLE İLGİLİ SONUÇLAR

İnceleme alanının hidrolojik özellikleri bakımından yapılan değerlendirmede, alanda yer alan kuyular, soğuk su kaynakları ve sıcak su kaynakları belirlenmiştir. İnceleme alanında sulama ve kullanım amaçlı açılmış 27'si DSİ'ye ve 11'i şahıslara ait olmak üzere toplam 38 sondaj kuyusu bulunmaktadır. DSİ tarafından açılmış kuyuların büyük bir kısmı sürekli kullanılan kuyular olmadığından, bu çalışma kapsamında sadece vatandaşlar tarafından kullanılan kuyular değerlendirilmiştir. Vatandaşlar tarafından açılan kuyular genellikle sığ kuyular olup, derinlikleri 2 m ile 7 m arasında değişmektedir. Derinliği en fazla olan kuyu ise 35 m'dir. DSİ tarafından açılmış kuyuların derinlikleri ise 18 m ile 161 m arasında değişmektedir. Kuyuların debileri 0.5 ile 43.45 l/s arasında değişmektedir. DSİ tarafından debi ölçümü yapılmış 83 soğuk su kaynağı bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında ise en önemli noktalarda bulunan 25 soğuk su kaynağı değerlendirilmiştir. Soğuk su kaynaklarının debileri, 0.5 l/s ile 918 l/s arasında değişmektedir. İnceleme alanındaki soğuk sular, 6.8 ile 9 arasında değişen pH değerlerine sahip olup, Çaldıran ilçesi Evciler Köyü'ndeki 26 nolu kaynak suyu 6.8 pH değeri ile asidik karakterli bir sudur. Bunun dışındaki soğuk su kaynakları ve kuyu sularının bazik karakterli ve bazik sular olduğu görülmektedir. Soğuk sular için elektriksel iletkenlik değerleri (EC), 55 ile

1979 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. DSİ tarafından debi ölçümü yapılmış 10 adet sıcak su kaynağı bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında ise Hasanabdal (Erciş), Taşkapı (Erciş), Ayrancılar (Çaldıran), Buğulukaynak (Çaldıran), Koçovası (Çaldıran) olmak üzere 5 önemli sıcak su kaynağı incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında, sıcaklık değerleri $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerinde olan sular "sıcak su", 25 ve $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altında olan sular ise "soğuk su" olarak kabul edilmiştir. İnceleme alanında yapılan yerinde ölçümler sonucunda sıcak su kaynaklarının yüzey koşullarında ölçülen sıcaklıkları $25.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $53.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir. Sıcak su kaynaklarında ölçülen pH değerleri 7.29 ile 8.53 arasında değişirken, EC değerleri ise $1155\text{ }(\mu\text{S}/\text{cm})$ ile $4620\text{ }(\mu\text{S}/\text{cm})$ arasında değişmektedir.

Hidrolojik değerlendirmeler kapsamında, inceleme alanındaki meteorolojik veriler 1960-2012 yıllarını kapsayan 53 yıl zaman aralığında derlenerek, su bütçesi oluşturulmuştur. Su bütçesi hesaplamalarında yağış, sıcaklık, akım ve buharlaşma miktarları hesaplanmıştır. Çalışma alanı ve yakın çevresine ait yağış miktarının belirlenebilmesi amacıyla inceleme alanı ve yakın çevresinde bulunan 15 meteorolojik gözlem istasyonundan elde edilen uzun yıllar aylık toplam yağış değerleri kullanılmıştır. 1960 - 2012 (53 yıl) zaman aralığında uzun yıllar ortalama yağış miktarının hesaplanması hedeflenmiştir. Ancak, bazı meteorolojik gözlem istasyonlarında yağış verilerinin eksik olması nedeniyle, eksik yağış verilerinin tamamlanması yöntemine başvurulmuştur. Eksik yağış verileri tamamlandıktan sonra eş yağış eğrisi yöntemi kullanılarak inceleme alanı ve yakın çevresi için alansal yağış miktarları hesaplanmış ve yağışlar eklenik sapma grafikleri ile değerlendirilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda Zilan havzası, Deliçay havzası ve Bendimahı havzası için ortalama yıllık toplam yağış miktarı sırasıyla; 537.5 , 525 ve 450 mm 'dir. Akım miktarı hesaplanırken de, yağışta olduğu gibi 1960 - 2012 (53 yıl) zaman aralığında inceleme alanındaki 3 havza için ayrı ayrı olmak üzere uzun yıllar ortalama toplam akım miktarının hesaplanması hedeflenmiştir. Ancak söz konusu akım gözlem istasyonlarında gözlenen akım değerleri 1960-2012 zaman aralığını kapsamamaktadır. Akım gözlem istasyonlarında akım verilerinin eksik olduğu ve akım gözlem istasyonlarının konumları nedeniyle tüm havzayı temsil etmediği görülmektedir. Bu nedenle inceleme alanındaki uzun yıllar ortalama toplam akım miktarının hesaplanırken; öncelikle eksik akım verileri tamamlanarak akım gözlem istasyonlarının temsil ettiği drenaj alanlarındaki akım miktarı hesaplanmıştır. Daha sonra akım - drenaj

alanı ilişkisi ortaya koyularak akış katsayısı hesaplanmış ve akış katsayısı kullanılarak her havza için akım gözlem istasyonunun temsil etmediği alana ait akımlar hesaplanmıştır. Son aşamada ise her havza için akım gözlem istasyonunun temsil ettiği alanda hesaplanan akım miktarı ile istasyonun temsil etmediği kalan alan için hesaplanan akım miktarı toplanarak havzadaki toplam akım miktarı elde edilmiştir. Zilan Çayı'nda 1960-2012 zaman aralığında gözlenen en küçük uzun yıllar ortalama akım değeri 1961 yılında 8.245 m³/s iken, en yüksek akım değeri 33.860 m³/s ile 1963 yılında görülmekte ve ortalama akım değeri ise 33.860 m³/s olarak hesaplanmıştır. Deliçay'da 1960-2012 zaman aralığında gözlenen en küçük uzun yıllar ortalama akım değeri 2000 yılında 6.522 olarak gözlenirken, en yüksek akım değeri 2007 yılında 21.570 m³/s olarak hesaplanmıştır. Bendimahı deresinde ise, 1960-2012 zaman aralığındaki en düşük akım değeri 2001 yılında 5.860 m³/s olarak hesaplanırken, en yüksek akım değeri 1968 yılında 21.942 m³/s şeklinde hesaplanmıştır. İnceleme alanında 1960-2012 zaman aralığındaki sıcaklık miktarı hesaplanırken de eş sıcaklık eğrisi yöntemi kullanılmıştır. Eş sıcaklık eğrisi yöntemiyle inceleme alanı genelindeki sıcaklık değeri 7.25 oC olarak hesaplanmıştır. Ayrıca sıcaklık değerleri her havza için ayrı su bütçesi hesaplaması yapılacağından havzalar için ayrı ayrı sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda Zilan havzası, Deliçay havzası ve Bendimahı havzası için ortalama yıllık sıcaklık değerleri sırasıyla; 6.75, 7, 7.25 oC'dir. İnceleme alanında meydana gelen buharlaşma miktarının saptanması amacıyla inceleme alanında yer alan 2 meteoroloji gözlem istasyonunda (Erciş ve Muradiye) gözlenen yıllık toplam açık yüzey buharlaşma değerleri kullanılmıştır. İnceleme alanı ve yakın çevresinde buharlaşmanın ölçüldüğü az sayıda meteoroloji gözlem istasyonu (3 istasyon - Ağrı, Erciş ve Muradiye) bulunmaktadır ve söz konusu istasyonlarda donma olayları yaşandığından Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart ve Nisan aylarında buharlaşma miktarları ölçülememektedir. Bölgede sadece Muradiye istasyonunda Kasım ayında da buharlaşma ölçülebilmektedir. Söz konusu istasyonlardan yıllık toplam en düşük açık yüzey buharlaşma miktarı 691.1 mm ile Erciş istasyonunda gözlenirken, en yüksek açık yüzey buharlaşma miktarı ise 1198.8 mm ile Muradiye istasyonunda gözlenmektedir. Aynı istasyonlarda gözlenen yıllık toplam yağış miktarları ise, (Ağrı - 521.1 mm, Erciş - 442.8 mm ve Muradiye - 548.3 mm) olmak üzere yıllık toplam açık yüzey buharlaşma miktarının yıllık toplam yağış miktarının yaklaşık 2 katı olduğu görülmektedir. Bu durum, inceleme alanı ve yakın çevresine düşen yağışların

tamamının yeraltına süzülmeden buharlaşmış olabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla meteoroloji gözlem istasyonlarında gözlenen buharlaşma miktarının havza üzerine düşen yağış miktarının yaklaşık 2 katı olduğundan, gözlenen değerler inceleme alanında meydana gelen gerçek buharlaşma -terleme kayıplarını temsil etmemektedir. Bu nedenle inceleme alanında meydana gelen gerçek buharlaşma - terleme kayıplarının hesaplanması için Turc eşitliğinden faydalanılmıştır. Ayrıca su bütçesi hesaplamalarında kullanılmak üzere 1960-2012 zaman aralığındaki yıllık toplam açık yüzey buharlaşma değerlerine ihtiyaç vardır. Ancak buharlaşma verilerinin 1960-2012 zaman aralığındaki tüm verileri içermediği görülmüştür. Burada diğer meteorolojik verilerde olduğu gibi eksik buharlaşma verilerinin tamamlanmasına gerek duyulmamıştır. Bu durumun nedenlerinden biri, yetersiz sayıda istasyon oluşu ve eksik verileri tamamlayabilmek için uygun korelasyon katsayılarının elde edilemeyişidir. İkinci neden ise; buharlaşma - terleme hesabı için faydalanılacak olan Turc yönteminde kullanılan yağış ve sıcaklık verilerinin, zaten 1960-2012 zaman aralığını temsil eden veriler olduğudur. Dolayısıyla eksik verilerin tamamlanmasına ihtiyaç olmadan 1960-2012 zaman aralığında görülen buharlaşma-terleme kaybı görülebilmektedir. Turc yöntemi sonucu Erciş istasyonunda hesaplanan gerçek buharlaşma - terleme miktarı 360.880 mm/yıl iken, Muradiye istasyonu için hesaplanan buharlaşma - terleme miktarı ise 393.328 mm/yıl olarak elde edilmiştir. Turc eşitliğinin kullanılması sonucunda elde edilen gerçek buharlaşma - terleme değerlerinden itibaren isohyete yöntemi ile inceleme alanı için eş buharlaşma - terleme haritası oluşturulmuştur. İnceleme alanı geneli için hesaplanan gerçek buharlaşma terleme miktarı 372.5 mm/yıl'dır. Eş buharlaşma haritası kullanılarak inceleme alanındaki Zilan, Deliçay ve Bendimahi havzaları için ayrı olmak üzere gerçek buharlaşma terleme miktarı hesaplanmıştır. Zilan, Deliçay ve Bendimahi havzaları için hesaplanan gerçek buharlaşma - terleme miktarları sırasıyla; 362.5, 377.5 ve 387.5 mm/yıl'dır. Zilan, Deliçay ve Bendimahi havzalarında eş yağış eğrisi yöntemi kullanılarak elde edilen yağış miktarları ise sırasıyla; 537.5, 525 ve 450 mm idi. Dolayısıyla, Zilan havzasındaki yağışın % 67.44'ü, Deliçay havzasındaki yağışın % 71.90'ı ve Bendimahi havzasındaki yağışın ise % 86.11'i buharlaşmıştır. Meteorolojik veriler değerlendirildikten sonra 1960 – 2012 zaman aralığında (53 yıl) su bütçesi hesaplanmıştır. Zilan, Deliçay ve Bendimahi havzaları ile inceleme alanı geneli için elde edilen su bütçesi sonuçlarında tüm havzalarda ve inceleme alanı genelinde depolamadaki

değişim (ΔQ) değeri negatif çıkmıştır. Bu durum, sisteme girdinin, çıktılardan daha az olduğunu; yani sistemden yüzeysel drenaj alanı dışına bir çıkış olduğunu göstermektedir. Sistemdeki girdiyi alansal yağış miktarı oluşturmakta olup, sistemden çıktıyı ise akım ve buharlaşma-terleme kayıpları oluşturmaktadır. Yağış ve buharlaşma - terleme kayıpları arasındaki ilişkinin incelenmesi sonucunda; Zilan havzasındaki yağışın % 67.44'ü, Deliçay havzasındaki yağışın % 71.90'ı ve Bendimahı havzasındaki yağışın ise % 86.11'inin buharlaştığı görülmüştür. Zilan ve Deliçay havzalarındaki buharlaşma - terleme kaybının, Bendimahı havzasına göre daha az oluşu söz konusu havzalarda çok sayıda geçirimsiz kayacın bulunmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca tüm havzalarda geçirimsiz kayaçların çok sayıda olmasından dolayı, yağışın büyük bir kısmı yüzeysel akıma geçmektedir. Hem yüzeysel akıma geçen miktarın hem de buharlaşma-terleme kayıplarının yağışlardan fazla olması nedeniyle tüm havzalarda bütçe sonuçları negatif değerler almıştır. Başka bir ifadeyle, sistemde eksik su söz konusudur.

5.3. İNCELEME ALANININ HİDROJEOLOJİSİ İLE İLGİLİ SONUÇLAR

Öncelikle hidrojeolojik birimler, kayaçların litolojik ve yapısal özellikleri ile kaynak debileri esas alınarak değerlendirilmiştir. Litolojik özellikleri bakımından gevşek malzemeli alüvyon, çakıltası, kumtaşı ve kırıntılılar ile geçirgenliği yüksek olan kireçtaşları ve bol kırık ve çatlğa sahip ikincil gözeneklilik kazanmış ve debisi 10 l/s'nin üzerinde olan bazalt ve andezitler "geçirimli birimler", litolojik özellikleri bakımından geçirimli ve az geçirimli birimleri birlikte barından formasyonlar "yarı geçirimli birimler", soğuma çatlaklarına sahip bazaltlar ile debisi 0.5 - 10 l/s arasında olan çatlaklı bazalt ve andezitler "az geçirimli birimler", masif kırık ve çatlaksız volkanitler, ofiyolitik melanj ve su alınamayan metamorfik kayaçlar ise "geçirimsiz birimler" olarak kabul edilmiştir.

Daha sonra hidrojeolojik yapının ortaya konulması amacıyla litoloji - hidrojeoloji ilişkisi ve jeofizik – hidrojeoloji ilişkisi birlikte değerlendirilmiştir. İnceleme alanında değerlendirilen kuyular vatandaşların açmış olduğu sondaj kuyuları olduğundan, söz konusu kuyulara ait kuyu logları bulunmamaktadır. Bu nedenle, bölgedeki litoloji-hidrojeoloji ortaya koymak için DSİ tarafından açılmış kuyu logu bilgisi olan kuyular kullanılarak ilişki ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Yapılan incelemede öncelikle inceleme alanında DSİ tarafından belirlenen kaynakların hangi hidrojeolojik birimleri temsil ettiği

değerlendirilmiştir. Daha sonra inceleme alanı genelinde DSİ tarafından 6'sı Muradiye'de ve 21'i Erciş'te olmak üzere açılmış toplam 27 sondaj kuyusu kullanılarak litolojik yapı incelenmiş ve litoloji-hidrojeoloji ilişkisi ortaya çıkarılmıştır. Erciş'te açılmış 21 sondaj kuyusu esas alınarak yapılan değerlendirmede, Erciş'te güneyde tabanda yaklaşık 110 m kalınlığında bir kil tabakası ve düşey yönde yukarıya doğru çakıl, kil, çakıl, kil, çakıl, kil şeklinde devam eden bir ardalanma söz konusudur. Keza yatay yönde de bir devamlılık olmayıp, geçirimsiz kil biriminden sonra çatlaklı andezit, kil-kum-silt ve çatlaklı bazalt gibi birimler görülmektedir. Yatay ve düşey yöndeki geçirimli birimlerde bir devamlılığın olmaması, inceleme alanının heterojen bir yapıya sahip olduğu ve uzun vadeli su alınamayacak akiferlerin olduğuna işaret etmektedir. Erciş'teki 3911 - B nolu kuyu 9 m derinliğe kadar yeraltısuyunun kolaylıkla temin edilebildiği alüvyon ve çakıl birimlere sahip olup, 43.45 l/s debi ile Erciş'te açılmış en yüksek debili sondaj kuyusudur. Ayrıca Erciş'in Yukarıışıklı köyünde debisi 918 l/s olan İrşad kaynakları başta olmak üzere, Erciş'te yüksek debili çok sayıda kaynak bulunmaktadır. DSİ tarafından yapılan belirlemelere göre Erciş'teki kaynakların büyük bir kısmı Aladağ volkanitleri içerisinde bulunan kırıklı bazaltlar ve kırıklı andezitlerden boşalmaktadır. Erciş'te yapılan jeofiziksel çalışmalar da ilçedeki hidrojeolojik yapıyı kanıtlar niteliğe sahiptir. Bölgedeki jeofizik – hidrojeoloji ilişkisini ortaya koymak için ise DSİ tarafından yapılmış jeofizik çalışmalar kullanılmıştır. DSİ tarafından Erciş'te yapılan düşey elektriksel sondajlarla 71 noktada rezistivite ölçümü yapılmıştır. Erciş'te rezistivite ölçümü yapılan noktalarda kuzeyde daha yüksek rezistivite değerleri görülürken, güneyde düşük rezistivite değerlerine rastlanmaktadır. Örneğin; Erciş'te en yüksek debili kaynakların olduğu İrşad kaynakları, Bölüm 4.3'te yer alan düşey elektriksel sondajlar haritasında E-25 nolu rezistivite ölçüm noktasına karşılık gelmektedir. 918 l/s debiye sahip İrşad kaynaklarının olduğu bölgede ölçülen rezistivite değeri 1200 Ohm-m olarak ölçülmüş ve yeşil renkle temsil edilmiştir. Dolayısıyla kireçtaşlarından boşalan yüksek debili kaynakta, yüksek rezistivite değeri görülmüştür. Erciş'te en iyi su alınabilen birimleri, Adilcevaz kireçtaşları oluşturmaktadır. Muradiye'deki litoloji-hidrojeoloji ilişkisini ortaya koymak için Muradiye'de DSİ tarafından açılmış 6 sondaj kuyusu değerlendirilmiştir. Yapılan incelemede, Muradiye'nin doğusunda bazaltik tuf ve çatlaklı bazaltlara bol miktarda rastlanmaktadır. Muradiye'nin batısına gidildikçe çakıl ve çatlaklı bazaltlar çok miktarda görülmektedir. 5401 no'lu sondaj kuyusu Muradiye'de en yüksek debili kuyu olup, 22 l/s

debiye sahiptir. Kuyu kütüğü incelendiğinde, tabanda 27 m'lik bir çatlaklı bazaltın varlığı görülmektedir. Kırık ve çatlaklı bazaltlardan iyi derecede su alınabilmektedir. Fakat burada da yatay ve düşey yönde devamlılık yoktur ve heterojen bir yapı görülmektedir. Muradiye'de yapılmış bir jeofizik çalışma bulunmadığından jeofizik – hidrojeoloji ilişkisi incelenememiştir. Çaldıran'daki litoloji-hidrojeoloji ilişkisini belirlemek için ilçede su temini amaçlı DSİ tarafından açılmış kuyu kütüğüne sahip kuyular olmadığından, jeofizik inceleme amaçlı açılmış düşey elektriksel sondajlardaki kuyu kütükleri incelenerek değerlendirilmeler yapılmıştır. DSİ tarafından Çaldıran'da yapılan düşey elektriksel sondajlarla 75 noktada rezistivite ölçümü yapılmıştır. Rezistivite ölçümlerine göre, G ve GD'da kuzeye kıyasla daha düşük rezistivite değerlerine rastlanmakta ve alüvyonların daha fazla olduğu görülmektedir. Özellikle K, KD ve KB'da volkanik kayaçların fazla miktarda olması nedeniyle yüksek rezistivite değerleri görülmektedir. Söz konusu alanda bazalt, bazaltik tuf ve bazalt-tuf gibi litolojik birimler görülür. Bölüm 4.3'te yer alan Çaldıran jeofizik noktaları lokasyon haritalarında haritanın kuzeyindeki K-G doğrultulu kesitte CD - 105 ve CD - 209 nolu rezistivite ölçüm noktalarında 500 Ohm-m ve üzeri rezistivite değerleri ölçülürken, haritanın güneydoğusunda KD - GB doğrultulu kesitte C-97 nolu rezistivite ölçüm noktasında 0 - 200 Ohm-m aralığında bir rezistivite değeri ölçülmüştür. DSİ tarafından açılmış kuyular esas alınarak yapılan değerlendirmede, Erciş'teki ana akiferin kireçtaşları olduğu, Muradiye ve Çaldıran'daki ana akiferin ise çatlaklı bazaltlar olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Son olarak, inceleme alanına ait yeraltısuyu seviye haritası oluşturulmuştur. Yeraltısuyu seviye haritasında inceleme alanının doğusunda yer alan Bendimahi (Muradiye-Çaldıran) havzasında yeraltısuyu akım yönünün doğudan batıya ve kuzeyden güneye olduğu görülmektedir. İnceleme alanının ortasındaki Deliçay havzasında ise yeraltısuyu boşalımının fazla olduğu ve özellikle Deliçay havzası'nın kuzeyinde aşırı çekimin olduğu görülmektedir. İnceleme alanının batısındaki Zilan (Erciş) havzasında ise; akım yönünün batıdan doğuya ve kuzeyden güneye doğru olduğu görülmektedir. Zilan havzasının güneyinde Erciş ilçe merkezi ve yerleşim birimlerinin çok sayıda olmasından dolayı aşırı çekimin olduğu dikkat çekmektedir. İnceleme alanı genelinde yeraltısuyu seviye değerleri 1130 m ile 2048 m arasında değişiklik göstermektedir.

5.4. SU KİMYASI SONUÇLARI

Su kimyası ile ilgili yapılan değerlendirmelerde, öncelikle kimyasal analiz sonuçları meq/l (mili equivalent/litre)'ye çevrilmiş ve sonrasında analiz sonuçlarının güvenilirliğini test etmek amacıyla anyon - katyon dengesi kontrol edilmiştir. Anyon-katyon denge yüzdesinin % 5 güven aralığında olduğu görülmüştür. Sonuçların güvenilirliği test edildikten sonra her lokasyondaki anyon (HCO_3 , Cl, SO_4) ve katyonların (Na+K, Ca, Mg) iyon yüzdeleri hesaplanmıştır. Sonrasında ise toplam anyon ve katyon yüzdeleri ile Piper ve Schoeller diyagramları kullanılarak suların hidrojeokimyasal fasiyesleri belirlenmiştir.

Hidrojeokimyasal fasiyesler belirlenirken, Piper diyagramında Şahinci (1991b) tarafından ifade edilen bölgeler biraz daha basitleştirilmiş ve bu çalışma kapsamında (I, II, III ve IV nolu bölgeler) şeklinde ifade edilmiştir. Zilan havzasındaki sular, hidrojeokimyasal fasiyeslerine göre 2 grupta toplanmıştır. 1. grup sular, II bölgesinde yer alan karbonat sertliği %50'den fazla olan Ca- HCO_3 fasiyesindeki Ca- HCO_3 'lı sığ tatlı yeraltısulardır. 2. grup sular ise III bölgesinde yer alan karbonat olmayan, alkalinitesi %50'den fazla olan Na-Cl fasiyesindeki sıcak su kaynaklarıdır. Bendimahı havzasındaki sular ise; hidrojeokimyasal fasiyeslerine göre 3 grupta toplanmaktadır. 1. grup sular, II bölgesinde yer alan karbonat sertliği %50'den fazla olan Ca- HCO_3 fasiyesindeki Ca- HCO_3 'lı sığ tatlı yeraltısulardır. 2. grup sular, I bölgesinde yer alan (Ca + Mg) katyonlarının (Na + K) katyon miktarından fazla olduğu sulardır. 3. grup sular ise IV bölgesinde yer alan karbonat alkalileri % 50'den fazla ve Na- HCO_3 'lü sulardır. Bendimahı havzasındaki sıcak su kaynaklarından biri Na- HCO_3 -Cl tipi, diğer iki sıcak su kaynağı ise Mg-Ca-Na- HCO_3 tipi sulardır. Zilan ve Bendimahı havzalarındaki hidrojeokimyasal fasiyeslerin, havza genelindeki yayılımı yüzde olarak değerlendirilmiştir. Zilan havzasındaki hidrojeokimyasal fasiyeslerden % 75'i (6 örnek) II nolu fasiyes (Ca- HCO_3 'lı sular), % 25'inin (2 örnek) ise III nolu fasiyeste (Na-Cl'li sular) olduğu görülmüştür. Bendimahı havzasındaki hidrojeokimyasal fasiyeslerden % 70'inin (23 örnek) II nolu fasiyes (Ca- HCO_3 'lı sular), % 18'inin (6 örnek) I nolu fasiyeste ((Ca + Mg) katyonlarının (Na + K) katyon miktarından fazla olduğu) ve % 12'sinin (4 örnek) IV nolu fasiyeste (Na- HCO_3 'lü sular) olduğu görülmüştür.

Yeraltısuyunda Na^+ veya K^+ ile Mg^{+2} veya Ca^{+2} iyonları arasında bir değişim varsa kloroalkalin göstergelerinin (CAI-I ve CAI-II değerlerinin) her ikisinin de pozitif değerler aldığı bilinmektedir. Eğer yaygın olarak ters iyon değişimi varsa CAI-I ve CAI-II değerlerinin her ikisi de negatif bir değer alır. Zilan havzasındaki soğuk su kaynakları ve sıcak su kaynaklarının tamamında ve Bendimahı havzasında ise soğuk su kaynakları, sıcak su kaynakları ve kuyu sularından alınan örneklerin % 90'ında ters iyon değişimi olduğu görülmektedir. Dolayısıyla ters iyon değişimi, inceleme alanındaki yeraltısularını kontrol eden ana işlemdir.

Zilan havzasındaki tüm soğuk su kaynaklarında çözünmüş iyonlar arasındaki ilişkiler incelenmiş ve bazı sonuçlar elde edilmiştir. Zilan havzasındaki soğuk su kaynakları ve Bendimahı havzasındaki soğuk su kaynakları ve kuyu sularında $(\text{Ca}+\text{Mg})-(\text{HCO}_3+\text{SO}_4)$ arasındaki korelasyon ilişkisi incelenmiştir. Zilan havzasındaki soğuk su kaynaklarında korelasyon katsayısı ($R=0.99$) hesaplanmış olup, pozitif yönde iyi bir korelasyon ilişkisi sunmaktadır. Bu durum, kalsit, dolomit ve jips çözünürlüğünün baskın reaksiyon olduğunu gösterir. Zilan havzası soğuk kaynağı örneklerindeki Ca/Mg oranı, 0.86 ile 38.98 arasında değişmekte olup, ortalama değer 8.80'dir. Zilan havzası soğuk kaynağı örneklerinden 1 nolu örnekte Ca/Mg oranı 1'e yakın bir değer olup, dolomit ayrışması olabileceğini göstermektedir. 4 nolu örnekte Ca/Mg oranı 1 ile 2 arasında bir değerdir ve kalsit ayrışmasının egemen olduğunu gösterir. Geri kalan diğer örneklerde ise (tüm örneklerin % 66'sı) oran 2'den büyüktür ve silikat minerallerinin etkisini yansıtır. Zilan havzası soğuk kaynağı örneklerindeki Na/Ca oranı, 0.04 ile 0.39 arasında değişmekte olup, ortalama değer 0.17'dir. Örneklerin hiçbirinde Na/Ca oranı 1'den büyük değildir. Dolayısıyla Ca eksikliği söz konusu değildir. Zilan havzası soğuk su kaynağı örneklerindeki K/Cl oranı, 0.13 ile 5.62 arasında değişmekte olup, ortalama değer 2.84'tür. Örneklerin % 83'ünde K/Cl oranı 0.2'den büyük, dolayısıyla potasyum feldispat ayrışması bulunmaktadır. Örneklerden sadece 2 nolu örnekte (% 17) ise K/Cl oranı 0.2'den küçüktür. Bu durum, 2 nolu örnekte potasyumun zenginleşmesinde silikat ayrışmasının önemli bir rol oynamadığını gösterir. Zilan havzası soğuk su kaynaklarında, örneklerin çoğunda Mg/Ca oranı 0.8'in altında olduğundan, yeraltısuyunun kalsit ve dolomitte eş zamanlı olarak dengede olabileceği düşünülmektedir. Zilan havzası soğuk kaynağı örneklerinin tamamında Na/Cl oranı, 1'in üzerindedir. Dolayısıyla sodyum, silikat ayrışmasından kaynaklanmaktadır. Na-Cl arasındaki korelasyon ilişkisinde ise

pozitif korelasyon ve iyi bir doğrusallık ilişkisi ($R = 0.97$) bulunmaktadır ve bu durum yeraltısuyundaki Na ve Cl'nin klorit tuzlarının ayrışmasından kaynaklanabileceğine işaretler. Ca-Cl arasındaki korelasyon ilişkisinde, pozitif bir korelasyon ve iyi bir doğrusallık ilişkisinin ($R = 0.66$) görülmesi, yeraltısuyundaki Ca ve Cl iyonlarının sağlanmasında CaCl_2 minerallerinin varlığını göstermektedir. Mg ve Na arasındaki korelasyon ilişkisinde pozitif bir ilişki ve iyi bir doğrusallık ilişkisinin olması ($R = 0.67$), iki iyonun da yeraltısuyundaki silikat ayrışma sürecinden kaynaklanabileceğini gösterir.

Zilan havzasında 2 sıcak su kaynağı olup, 111 nolu Hasanabdal ve 112 nolu Taşkapı kaynaklarının ikisinde de Ca/Mg oranlarının 1 ile 2 arasında olduğu görülmüştür. Dolayısıyla söz konusu kaynaklarda kalsit ayrışmasının egemen olduğu görülmektedir. Zilan havzasındaki 111 nolu Hasanabdal ve 112 nolu Taşkapı kaynaklarının ikisinde de Na/Ca oranı 1'den büyüktür. Na/Ca oranının 1'den büyük olması, CaCO_3 çökelişi ya da iyon değişim süreçlerinden dolayı Ca'nın eksik olduğunu gösterir. Zilan havzasındaki 111 nolu Hasanabdal ve 112 nolu Taşkapı kaynaklarının ikisinde de Na/Cl oranı, 1'in üzerindedir. Dolayısıyla sodyum, silikat ayrışmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca sıcak suların ikisinde de K/Cl oranı 0.2'den küçüktür. K/Cl oranının 0.2'den küçük olması ise potasyumun elde edilmesinde silikat ayrışmasının önemli bir rol oynamadığını gösterir. Cl iyonu diğer anyonlara göre daha yüksektir. Cl iyonunun çok yüksek olması, söz konusu suların yeraltında kalış süresinin; yani su-kayaç etkileşim süresinin daha fazla veya söz konusu suların derin dolaşıma sahip sular olduğunu göstergesidir. Zilan havzası sıcak su kaynaklarında $\text{HCO}_3^- / (\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ oranı 0.5'ten küçüktür, dolayısıyla proton üretimini sağlayan asıl şey karbonik asit ayrışması değildir. Zilan havzası sıcak su kaynaklarının ikisinde de, Mg/Ca oranı 0.8'in altında olduğundan, yeraltısuyunun kalsit ve dolomitte eş zamanlı olarak dengede olabileceği belirtilebilir.

Bendimahı havzasındaki soğuk su kaynakları ve kuyu suları için hazırlanan (Ca+Mg)-($\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$) grafiğinde örnek noktaları 1:1 doğrusuna yakındır. Bu durum, kalsit, dolomit ve jips çözünürlüğünün baskın reaksiyon olduğunu gösterir. Korelasyon katsayısı ($R = 0.92$) hesaplanmış olup, pozitif yönde iyi bir korelasyon ilişkisi sunmaktadır. Dolayısıyla Zilan havzasında olduğu gibi burada da kalsit, dolomit ve jips çözünürlüğünün

baskın reaksiyon olduğu ve iyon alışverişi ve ayrışma süreçlerinin baskın olduğunu göstermektedir.

Bendimahı havzası soğuk su kaynakları ve kuyu suları için hesaplanan Ca/Mg oranına bakıldığında; Ca/Mg oranının 0.35 ile 17.66 arasında olduğu, ortalama değerin ise 2.48 olduğu görülmektedir. Bendimahı havzasındaki soğuk su kaynakları ve kuyu sularından oluşan örneklerin % 6'sı 1 veya 1'e yakın oranda olup, dolomit ayrışmasının olabileceğini gösterir. Söz konusu örneklerin % 26'sı 1 ve 2 arasında orana sahip olup, kalsit ayrışmasının egemen olduğu göstermektedir. % 43'ünde Ca/Mg oranı 2'den büyüktür, Ca ve Mg iyon katkısında silikat ayrışmasının egemen olduğunu göstermektedir. Geri kalan % 25'inde ise Ca/Mg oranı 1'in altında bir değere sahiptir. Ayrıca, Bendimahı havzası soğuk kaynağı ve kuyu sularında, Ca-Mg arasındaki korelasyon ilişkisine bakılmış ve Ca ve Mg arasında pozitif korelasyon ($R = 0.73$) ve iyi bir doğrusallık ilişkisi görülmüştür. Bu durum, yeraltısuyundaki Ca ve Mg'nin dolomitten kaynaklandığını göstermektedir. Bendimahı havzası soğuk su kaynakları ve kuyu suları için hesaplanan Na/Ca oranına bakıldığında; Na/Ca oranının 0.11 ile 9.33 arasında değiştiği ve ortalamanın 1.40 olduğu görülmektedir. Örneklerin % 80'inde Na/Ca oranı 1'den küçüktür. Bu durum Ca eksikliğinin olmadığını gösterir. Kalan % 20 örnekte ise; Na/Ca oranı 1'den büyüktür. Dolayısıyla örneklerin % 20'sinde CaCO_3 çökelişi ya da iyon değişim süreçlerinden dolayı Ca'nın eksik olduğu görülür. Bendimahı havzası soğuk su kaynakları ve kuyu suları için hesaplanan K/Cl oranına bakıldığında; 0.02 ile 5.17 arasında değiştiği görülmekte olup, ortalama değer 1.40'tır. Örneklerin % 80'inde K/Cl oranı 0.2'den büyük, dolayısıyla potasyumu sağlayan faktörün potasyum feldispat ayrışması olduğu görülmektedir. Örneklerin % 20'sinde ise; K/Cl oranı 0.2'den küçüktür. Dolayısıyla, söz konusu örneklerdeki potasyumun elde edilmesinde silikat ayrışmasının önemli bir rol oynamadığını gösterir. Bendimahı havzası soğuk su kaynakları ve kuyu suları için hesaplanan Na/Cl oranına bakıldığında; Na/Cl oranının 0.39 ile 49.21 arasında değiştiği görülmekte olup, ortalama değer 15.40'tır. Örneklerin % 83'ünde Na/Cl oranı 1'den büyüktür ve sodyum, silikat ayrışmasından kaynaklanmaktadır. Örneklerin kalan % 17'sinde ise Na/Cl oranı 1'den küçüktür ve bu örneklerde sodyum, silikat ayrışmasından kaynaklanmamaktadır. Na - Cl arasındaki korelasyon ilişkisinde ise; pozitif korelasyon ve iyi bir doğrusallık ilişkisi ($R = 0.63$) bulunmaktadır. Bendimahı havzası soğuk su kaynakları ve kuyu sularının % 73'ünde, $\text{HCO}_3^- / (\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ oranı 0.5'ten büyüktür ve

proton üretimini sağlayan asıl şey karbonik asit ayrışmasıdır. Ca-Cl ve Mg-Cl arasındaki korelasyon ilişkisinde, pozitif bir korelasyon ve iyi bir doğrusallık ilişkisinin görülmesi ($R = 0.68$ ve $R = 0.91$), yeraltısuyundaki Ca ve Cl iyonlarının sağlanmasında CaCl_2 minerallerinin, Mg ve Cl iyonlarının sağlanmasında da MgCl_2 minerallerinin varlığını göstermektedir. Mg ve Na arasındaki korelasyon ilişkisinde pozitif korelasyon ve iyi bir doğrusallık bir ilişkinin olması ($R = 0.70$), iki iyonun da yeraltısuyundaki silikat ayrışma sürecinden kaynaklanabileceğini gösterir. Bendimahi havzası soğuk su kaynakları ve kuyu sularında Cl+SO₄ ile Na+K arasındaki korelasyon ilişkisinde, pozitif yönde iyi bir doğrusallık ilişkisi ($R = 0.71$) görülmüş ve bu durum suda çözünmüş iyonların büyük bir kısmının aynı kökenden geldiğini göstermiştir. Fakat benzer köken tüm örneklerde görülmeyip, 116, 123, 125 ve 126 nolu kuyu sularının grafikte ayrımlandığı görülmüştür. Ayrıca Bendimahi soğuk su kaynaklarında Br ve Cl arasında pozitif yönde iyi bir doğrusallık ilişkisinin görülmesi ($R = 0.83$), tuzlu fasiyesten bir karışım olabileceğine işaretler. Bendimahi havzası soğuk su kaynakları ve kuyu sularında, örneklerin % 33'ünde (10 örnek) Mg/Ca oranı 0.8'in üstünde iken, % 67'sinde (20 örnek) ise Mg/Ca oranı 0.8'in altındadır. Örneklerin büyük bir kısmında Mg/Ca oranı 0.8'in altında olduğundan, söz konusu örneklerde yeraltısuyunun kalsit ve dolomitte eş zamanlı olarak dengede olabileceği belirtilebilir.

Bendimahi havzasında 3 sıcak su kaynağı olup, bunlardan 113 nolu Ayrancılar kaynağında Ca/Mg oranı 2'nin üzerindedir ve silikat ayrışmasının egemen olduğunu göstermektedir. 114 nolu Koçovası ve 115 nolu Buğulukaynak sıcak su kaynaklarında Ca/Mg oranı 1'e yakın değerler almıştır. Dolayısıyla dolomit ayrışmasının olabileceğini gösterir. Bendimahi havzasındaki 113 nolu Ayrancılar kaynağında Na/Ca oranı 1'den büyük, 114 nolu Koçovası ve 115 nolu Buğulukaynak sıcak su kaynaklarında ise 1'den küçüktür. Dolayısıyla 113 nolu sıcak su kaynağında CaCO_3 çökelişi ya da iyon değişim süreçlerinden dolayı Ca eksiktir. 114 nolu Koçovası ve 115 nolu Buğulukaynak sıcak su kaynaklarında ise Ca eksikliği olmadığı sonucuna varılmıştır. Bendimahi havzasındaki sıcak su kaynakları için de K/Cl oranı belirlenmiştir. 113 nolu Ayrancılar sıcak su kaynağı, 114 nolu Koçovası ve 115 nolu Buğulukaynak sıcak su kaynaklarında K/Cl oranı 0.2'den büyüktür. Yani, potasyumu sağlayan faktör potasyum feldispat ayrışmasıdır. Bendimahi havzası sıcak su kaynaklarında, 113 nolu örnekte Mg/Ca oranı

0.8'in altında olduğundan, yeraltısuyunun kalsit ve dolomitte eş zamanlı olarak dengede olabileceği belirtilebilir. 114 ve 115 nolu örneklerde, Mg/Ca oranı 0.8'in üstündedir ve bu örneklerde yeraltısuyuna dolomit katkısı olabileceği görülmektedir. Bendimahi havzasındaki sıcak su kaynakları için elde edilen Na/Cl oranları ise; 113 nolu Ayrancılar, 114 nolu Koçovası ve 115 nolu Buğulukaynak sıcak su kaynaklarında 1'den büyüktür. Dolayısıyla söz konusu sıcak su kaynaklarındaki sodyum, silikat ayrışmasından kaynaklanmaktadır. Bendimahi havzası sıcak su kaynaklarının üçünde de, $\text{HCO}_3^-/(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ oranı 0.5'ten büyüktür ve proton üretimini sağlayan asıl şey karbonik asit ayrışmasıdır. Bendimahi havzası sıcak su kaynaklarında Na ve HCO_3^- arasında pozitif korelasyon ve iyi bir doğrusallık ilişkisi ($R = 0.86$) bulunmaktadır. Bu durum, HCO_3^- 'ün büyük bir kısmının karbonatlı kayalardan geldiğini göstermektedir. Dolayısıyla termal suların uzun süre akifer kayalarla etkileşimde olabileceğinin göstergesidir. Ayrıca Bendimahi havzası sıcak su kaynaklarında F ile Li arasında pozitif yönde iyi bir doğrusallık ilişkisi ($R = 0.97$) görülmektedir. Bu durum F ve Li'nin birlikte hareket ettiklerini göstermektedir. Florür iyonunun, elektronegativitesi çok yüksek olduğu için, özellikle Br ve Li gibi iyonlarla çok kolay hareket edebilen bir iyondur. Sıcak sularda Florür'ün nadir toprak elementlerini taşınması da çok kolaydır. Bu nedenle, florür ile nadir toprak elementleri arasındaki korelasyon ilişkileri de incelenmek istenmiş fakat, nadir toprak elementlerinin çok yüksek miktarlarda bulunması nedeniyle ölçülemediği görülmüştür.

İnceleme alanında 2'si Zilan havzasında ve 3'ü Bendimahi havzasında olmak üzere 5 sıcak su kaynağı bulunmakta olup, bu kaynakların hazne kaya sıcaklıkları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Zilan Havzası ve Bendimahi havzasında yer alan sıcak su kaynaklarının akifer (hazne) sıcaklıklarını bulmak amacıyla çeşitli kimyasal jeotermometre uygulamaları ve karışım modelleri ile birleşik (kombine) jeotermometre uygulamaları kullanılmıştır. Zilan havzasındaki 111 nolu Hasanabdal ve 112 nolu Taşkapı sıcak su kaynaklarına ait rezervuar sıcaklığı Giggenbach (1988)'in Na-K-Mg birleşik jeotermometresi kullanılarak yaklaşık 217 °C olarak tahmin edilmiştir. Söz konusu kaynaklarda silis ölçümü yapılamadığından silis jeotermometreleri uygulanamamış olup, Na-K-Mg birleşik jeotermometresinde 111 ve 112 nolu sıcak su kaynaklarının kayalarla kimyasal etkileşimini tamamlamamış olan “ham su” bölgesinde

yer alması katyon jeotermometrelerinin kullanımının güvenilir olmadığı sonucunu ortaya koymuştur. Bendimahı havzasındaki 113 nolu Ayrancılar sıcak su kaynağında MTA (2003) tarafından Çaldıran ilçesi Ayrancılar mevkiinde 573 m derinlikte açılan sondaj kuyusunda üretim artezyen ile sağlanmış ve akışkan sıcaklığı 83 °C ve debisi 15 l/s olarak ölçülmüştür. Bu çalışma kapsamında 113 nolu sıcak su kaynağında silisyum ölçülemediğinden, silis jeotermometresi uygulanamamış olup, sadece Na-K, Na-K-Ca ve K-Mg katyon jeotermometreleri uygulanabilmiştir. Giggenbach (1988)'in Na-K-Mg üçgen diyagramına göre 113 nolu sıcak su kaynağının da diğer soğuk ve sıcak sular gibi olgunlaşmamış (denge durumunda olmayan, ham su) bölgede yer alması, bu kaynaktaki rezervuar sıcaklığı tahmininde de katyon jeotermometresinin kullanımının güvenilir olmayacağını göstermiştir. Bu nedenle 113 nolu Ayrancılar sıcak su kaynağının rezervuar sıcaklığı tahmin edilirken, silis ölçümü yapılabilmemiş 114 ve 115 nolu sıcak su kaynakları ile bunlarla kısmen anomali vermiş kısmen yüksek sıcaklıklı 26 nolu soğuk su kaynağı (19.1 °C) silika – entalpi karışım modelinde değerlendirilmiştir. Ayrancılar sıcak su kaynağının rezervuar sıcaklığı da herhangi bir soğuk su karışımı olmaksızın yaklaşık 207 °C olarak tahmin edilmiştir. Fakat MTA (2003) tarafından ölçülen akışkan sıcaklığının 83 °C olması, tahmin edilen 207 °C sıcaklık ile 83 °C arasındaki büyük fark nedeniyle, 113 nolu Ayrancılar sıcak su kaynağının da soğuk su karışım süreçlerinden etkilenmiş olabileceğini göstermiştir. 114 nolu Koçovası sıcak su kaynağında, yüzeyde ölçülen sıcaklık 25.8 °C iken, amorf silis jeotermometre sonucu yüzeyde ölçülenden düşük (16.84 °C) çıkmıştır. 114 nolu Koçovası sıcak su kaynağında atmosferde ölçülen sıcaklık değerinin akifer sıcaklığından daha yüksek olması, suyun iletimle soğuma (suyun ısıyı ileterek soğuması) şeklinde bir soğuma süreci geçirdiğini göstermekte ve amorf silis jeotermometresi ile hesaplanan rezervuar sıcaklığının yüzeyde ölçülenden düşük olması ise rezervuardaki silis çözünürlüğünün kalsedon gibi daha duraylı bir faz ile denetlendiğini göstermektedir. Dolayısıyla Koçovası sıcak su kaynağının rezervuar sıcaklığı, kalsedon jeotermometresi kullanılarak hesaplandığında geçirmiş olduğu soğuma süreci nedeniyle 110.39 °C olarak tahmin edilirken, silika-entalpi karışım modeli ve Na-K-Mg birleşik jeotermometresine göre herhangi bir soğuma gerçekleşmeksizin elde edilecek orijinal rezervuar sıcaklığı 207 ile 217 °C arasında tahmin edilmektedir. 115 nolu Buğulukaynak sıcak su kaynağında ise yüzeyde ölçülen sıcaklık 33.5 °C iken, amorf silis jeotermometre sonucu 49.54 °C ile yüzeyde ölçülen sıcaklığa yakın bir değer olup, tüm

jeotermomtere sonuçlarına genel olarak bakıldığında biribiri ile uyumlu olmayan çok geniş bir aralıkta seyreden sıcaklıkların hesaplandığı görülmektedir. Bu durum, 115 nolu sıcak su kaynağının soğuk sular ile karışmış olabileceğini göstermektedir. Ayrıca 114 ve 115 nolu sıcak su kaynaklarındaki yüksek Mg içeriği de bu suların soğuk yeraltı suları ile karışmış olabileceğine işaret eder. Burada da 114 nolu Koçovası kaynağında olduğu gibi silis jeotermometrelerinden kalsedon jeotermometresinin sıcaklık tahmininde kullanımının daha uygun olduğu düşünülmekte ve kalsedon jeotermometresine göre 114 nolu sıcak su kaynağının hazne sıcaklığı 150.62 °C olarak tahmin edilmektedir. 115 nolu Buğulukaynak sıcak su kaynağında herhangi bir karışım olmaksızın tahmin edilen hazne sıcaklığı ise silis-entalpi karışım modeli ve Na-K-Mg birleşik jeotermometresine göre 207 ile 217 °C arasında tahmin edilmektedir. 180 °C'nin üzerinde hesaplanan rezervuar sıcaklıkları, söz konusu sıcak suların elektrik üretimi başta olmak üzere birçok önemli amaç (balık çiftliklerinde, yüzme havuzları, fermentasyonlar ve damıtmada, toprak ısıtmada, mantar yetiştirme ve balneolojik hamamlarda, sera, ahır ve kümes ısıtmacılığında, balık kurutma ve deniz yosunu, çimen ve sebze gibi organik maddeleri kurutma, yün yıkama ve kurutma gibi işler) için kullanılabileceğini göstermektedir.

Ayrıca sıcak sularda Na/K oranının 15'e yakın ve küçük olması akışkanın yeryüzüne çıkış hızının yüksek olduğunu gösterdiğinden Zilan ve Bendimahı havzasındaki Na/K oranları da değerlendirilmiştir. Na/K oranlarına bakıldığında, Zilan havzasındaki Hasanabdal ve Taşkapı sıcak su kaynaklarında Na/K oranları sırasıyla; 17.49 ve 16.12 meq/l şeklindedir. Na/K oranının 15'e yakın ve küçük olması akışkanın yeryüzüne çıkış hızının yüksek olduğunu gösterir. Bendimahı havzasındaki Ayrancılar, Koçovası ve Buğulukaynak sıcak su kaynaklarında ise Na/K oranları sırasıyla; 6.31, 5.90 ve 6.29 meq/l'dir. Na/K oranları 15'e yakın değerler olmayıp, 20/1 ile 8/1 arasında olmadığından anlamlı değildir. Bu durum söz konusu sıcak su kaynaklarının, akışkanın yeryüzüne çıkış hızının yüksek olduğu bölgede olmadığına işaret eder. Buna ilaveten, Zilan havzasındaki sıcak su kaynaklarının aynı kökenden gelen ve Na-Cl su tipindeki sular olduğu, Bendimahı havzasındaki Ayrancılar sıcak su kaynağının (Na - HCO₃ - Cl su tipi) ise, diğer iki sıcak su kaynağından (Koçovası ve Buğulukaynak) farklı bir kökene (Mg-Ca-Na-HCO₃ su tipi) sahip olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

İnceleme alanındaki su kimyası çalışmaları kapsamında litoloji - su kimyası ilişkileri aşağıdaki gibi özetlenmiştir. Şahinci (1991b) tarafından anyon-kasyon sıralaması esas alınarak yapılan tanımlamalar kullanılmıştır. Soğuk ve sıcak su kaynakları ile kuyu sularının litoloji - su kimyası ilişkileri incelenirken, iyonların bolluk sıralaması meq/l cinsinden hesaplandıktan sonra, anyon ve kasyon sıralamasına bakılmıştır. Şahinci (1991b) tarafından anyon-kasyon sıralaması esas alınarak yapılan tanımlamalar, Zilan havzasındaki litostratigrafik birimler ile kıyaslanarak soğuk ve sıcak su kaynaklarının hangi litolojik birimden gelebileceği tahmin edilmiştir. Söz konusu tanımlamalar esas alınarak yapılan değerlendirmelerde Zilan havzasındaki 7 soğuk su kaynağından, 5'inin kökeninin Adilcevaz kireçtaşları olduğu sonucuna varılmıştır. 6 nolu soğuk su kaynağının ise, Aladağ andezitlerinin kırık ve çatlaklarından boşaldığı görülmektedir. Zilan havzasında yer alan 111 nolu Hasanabdal ve 112 nolu Taşkapı sıcak su kaynakları ise aynı kökene sahip olup, kökeninin Kızıldere Formasyonu içerisindeki marnlar olduğu sonucuna varılmıştır. Erciş ilçesi genelinde yapılan su kimyası analizleri sonucunda, ilçedeki ana akiferi Erciş ilçesinin içme suyu ihtiyacını karşılayan kireçtaşı akiferinin oluşturduğu görülmektedir.

Şahinci (1991b) tarafından yapılan tanımlamalar esas alınarak yapılan değerlendirmede, Bendimahı havzasında Muradiye ilçesindeki kaynakların büyük bir kısmının kökeninin kireçtaşları olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Muradiye ilçesinde soğuk su kaynaklarından 8, 10 ve 12 nolu soğuk su kaynaklarının kökeni Van Formasyonu içerisindeki karbonatlardan, 9 nolu soğuk su kaynağı kökeni Yüksekova Karmaşığı bünyesindeki Bakışık melanjı ve olistrostomu içerisinde yer alan kireçtaşlarından, 11 nolu soğuk su kaynağı kökenini Muradiye plato bazaltlarının kırık ve çatlaklarından, 13 nolu kaynak kökenini Adilcevaz kireçtaşlarından ve 14 nolu soğuk su kaynağı ise kökenini Bayramlı Formasyonu içerisindeki kireçtaşlarından almaktadır. Muradiye ilçesindeki kuyu sularında yapılan değerlendirmede ise 116 nolu kuyu suyunun kökenini Muradiye plato bazaltlarından aldığı, 117 nolu kuyu suyu Yüksekova Karmaşığı bünyesindeki Bakışık melanjı ve olistrostomu içerisinde yer alan dolomitlerden, 118 nolu kuyu sularının kökenini Van Formasyonu içerisindeki karbonatlardan, 119 nolu kuyu suyunun ise kökenini Etrüsk volkanitleri içerisindeki çatlaklı andezitlerden aldığı sonucuna varılmıştır. Muradiye ilçesi genelinde yapılan su kimyası analizleri ve DSİ tarafından

ilçede açılmış kuyu loglarının birlikte değerlendirilmesi sonucunda, ilçedeki ana akiferin çatlaklı bazaltlar ve karbonatlı birimlerden oluştuğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Çaldıran ilçesindeki soğuk su kaynaklarında yapılan değerlendirmede, 15 nolu soğuk su kaynağının kökenini Köseadağ volkanitleri içerisindeki çatlaklı andezitlerden, 16 ve 21 nolu soğuk su kaynaklarının kökenini Eşengöl flışı içerisindeki mikritik kireçtaşlarından, 17 ve 18 nolu soğuk su kaynaklarının kökenini Yüksekova Karmaşığı içerisindeki granit sokulumlarından, 19 nolu soğuk su kaynağının kökenini Yüksekova Karmaşığı bünyesindeki radyolarit-çört üyesi içinde yer alan pelajik kireçtaşlarından, 20 nolu soğuk su kaynağının kökenini Saray Formasyonu içerisindeki kumtaşından, 22 nolu soğuk su kaynağının kökenini Eşengöl flışı içerisindeki kumtaşından, 24 ve 25 nolu soğuk su kaynaklarının kökenini Adilcevaz kireçtaşlarından, 26 nolu soğuk su kaynaklarının kökenini Yüksekova Karmaşığı bünyesindeki Mehmetalan peridotitlerinden, 27 nolu soğuk su kaynağının kökenini Köseadağ volkanitleri içerisindeki riyolitlerden aldığı sonucuna ulaşılmıştır. Çaldıran ilçesindeki sıcak su kaynaklarında yapılan değerlendirmede; 113 nolu Ayrancılar sıcak su kaynağının kökeninin Köseadağ volkanitleri içerisindeki riyolitler, 114 ve 115 nolu Koçovası ve Buğulukaynak sıcak su kaynaklarının kökeninin ise Yüksekova Karmaşığı bünyesindeki Bakışık melanji ve olistrostromu içerisindeki dolomitler olduğu sonucuna varılmıştır. Çaldıran ilçesindeki kuyu sularında yapılan değerlendirmede; 120 nolu kuyu suyunun kökeninin Eşengöl Flişi içerisindeki mikritik kireçtaşları, 121 ve 123 nolu kuyu sularının kökeninin Yüksekova Karmaşığı bünyesindeki Mehmetalan peridotitleri, 122 nolu kuyu suyunun kökeninin Yüksekova Karmaşığı içerisindeki granitler, 124 nolu kuyu suyunun kökeninin Bendimahı bazaltlarından, 125 ve 126 nolu kuyu sularının kökeninin Yüksekova Karmaşığı bünyesindeki Bakışık melanji ve olistrostromu içerisindeki serpantinit olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çaldıran ilçesi genelinde yapılan su kimyası analizleri sonucunda, ilçedeki ana akiferin magmatik kayalar olduğu görülmektedir. Bölgedeki suların büyük bir bölümünün bazalt, andezit, riyolit, serpantinit, granit ve peridotitlerin kırık ve çatlaklarından boşaldığı sonucuna varılmıştır. Magmatik kayaları, karbonatlı kayalar takip etmektedir. İkinci sırada akifer oluşturabilecek birimler, karbonatlı birimlerdir.

Su kimyası çalışmaları kapsamında inceleme alanındaki suların içilebilirliği ve kullanımı ile ilgili elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir. İnceleme alanındaki suların içilebilirliği ile ilgili değerlendirme yapılırken, TSE 266 (2013) - Türk Standartları

Enstitüsü, WHO (2011) - Dünya Sağlık Örgütü ve US EPA (2016) - Amerika Çevre Koruma Ajansı tarafından belirlenen içme suyu standartları esas alınmıştır. Zilan (Erciş) ve Bendimahi (Muradiye-Çaldıran) havzaları için ayrı olmak üzere ağır metaller, iz elementler ve kirlilik parametreleri belirlenmiştir. Öncelikle Zilan havzası soğuk su kaynaklarının içilebilirliği ile ilgili bir değerlendirme yapılmış ve TSE 266 (2013) - Türk Standartları Enstitüsü, WHO (2011) - Dünya Sağlık Örgütü ve US EPA (2016) - Amerika Çevre Koruma Ajansı standartlarının birlikte değerlendirilmesi sonucunda; 4 nolu soğuk su kaynağında florür ve 5 nolu soğuk su kaynağında arsenik değerinin limit değerlerin üzerinde olduğu görülmüştür. Zilan havzasındaki sular 7.76 ile 9 arasında pH aralığına sahip olup, Şahinci (1991b)'e göre bazik karakterli ve bazik sular sınıfındadır. Zilan havzasındaki sular hem pH, hem de kimyasal özellikleri bakımından içilebilir nitelikte sular olduğu görülmektedir. Limit değer üzerinde çıkan 4 ve 5 nolu kaynaklar, Hasanabdal sıcak su kaynağına yakın bir mesafeden alındığı için florür gibi elektronegativitesi yüksek bir iyon ve arsenik gibi bir ağır metal fazlası olduğu görülmektedir. 4 ve 5 nolu Hasanabdal Köyü'ndeki suların içerdikleri yüksek florür ve arsenik nedeniyle insan sağlığı açısından kullanımı uygun olmadığı görülmekte ve içme suyu olarak kullanılmaması önerilmektedir.

Bendimahi havzasındaki soğuk su kaynakları ve kuyu sularının da içme suyu amaçlı kullanımı değerlendirilmiştir. pH içeriği bakımından büyük bir kısmının bazik karakterli sular (7 ile 8.5 arasında), 5 lokasyonda (20, 21, 22 ve 24 nolu soğuk su kaynakları ile 121 ve 126 nolu kuyu suları) bazik karakterli sular (8.5'in üzerinde) ve sadece Çaldıran Evciler köyünde asit karakterli su görülmektedir. Bendimahi Havzası'ndaki içme sularında; F, As, Al, Cr, Mn, Ni ve NO₃ parametrelerinin bazı lokasyonlarda TSE 266 (2013), WHO (2011) ve US EPA (2016) içme suyu standartlarına göre limit değerlerin üzerindedir. Muradiye'de 116 nolu kuyu suyunda (Ovapınar Köyü - 1.58 mg/l) florür, Tendürek volkanına yakın olan Çaldıran ilçesinde ise; bölgeden alınan örneklerin % 30'unda florürün limit değerlerin üzerinde olduğu görülür. Çaldıran'daki en yüksek florür değeri, (Çaldıran- Yağlıbasan Köyü, 4.34 mg/l)'dir. Erciş'ten alınan örneklerin % 14'ünde, Muradiye'den alınan örneklerin % 27'sinde, Çaldıran'dan alınan örneklerin ise % 5'inde limit değerlerin üzerinde arseniğe rastlanmıştır. Arseniğin en yüksek görüldüğü yer ise; Muradiye ilçesi Beydağı köyündeki kaynak suyudur.

Muradiye'den alınan örneklerde alüminyum görülmemiş olup, Çaldıran'dan alınan örneklerin ise % 20'sinde limit değerlerin üzerinde alüminyum tespit edilmiştir. Çaldıran'da alüminyumun en yüksek görüldüğü yer, 614 µg/l ile Çaldıran - Yağbasan köyüdür. Muradiye'den alınan örneklerin % 27'sinde, Çaldıran'dan alınan örneklerin ise % 10'unda limit değerlerin üzerinde Cr tespit edilmiştir. Muradiye'den alınan su örneklerinde Mn'ye rastlanmamış olup, Çaldıran'dan alınan örneklerin ise % 15'inde limit değerlerin üzerinde Mn tespit edilmiştir. Muradiye'den alınan su örneklerinde Ni'ye rastlanmamış olup, Çaldıran'dan alınan örneklerin ise % 5'inde limit değerlerin üzerinde Ni tespit edilmiştir. Muradiye'den alınan su örneklerinde sadece 1 noktada (116 nolu kuyu, Ovapınar Köyü - 17.1 mg/l) nitratın limit değerlerin üzerinde olduğu görülmüştür. Çaldıran'da ise; alınan su örneklerinin % 25'inde nitratın limit değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir. Nitratın en yüksek olduğu lokasyon ise, Çaldıran Koçovası köyündeki 123 nolu kuyu suyudur (21.8 mg/l).

Sonuç olarak; Muradiye ilçesi Köşkköy'deki 9 nolu soğuk su kaynağında ve Kocasaban köyündeki 117 nolu kuyu suyunda krom, limit değerlerin üzerinde olup, suyun içme suyu olarak kullanımı uygun değildir. Kromun yarattığı en önemli problem, deride alerji yapmasıdır. Muradiye ilçesi Topuzarpa köyündeki 10 nolu soğuk su kaynağı ve Beydağı köyündeki 12 nolu soğuk su kaynağında arsenik limit değerin üzerindedir. Arsenik, kanser başta olmak üzere, birçok sağlık problemine neden olmakta ve söz konusu suyun kullanımı önerilmemektedir. Muradiye Ovapınar köyündeki 116 nolu kuyu suyunda, florür, arsenik, krom ve nitratın limit değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir. Florid alımının aşılması, iskelet sisteminde ciddi zararlara neden olmaktadır. 0.5 mg ile 1.5 mg arasında florür diş sağlığı için önemli iken, 1.5 mg'ın üzerinde florür, dişlerde sararmalara ve florozis hastalığına (kemik yapısında olumsuz değişiklikler) neden olmaktadır. Ayrıca Ovapınar köyündeki 116 nolu kuyu suyunda kirlilik parametrelerinden nitratın da fazla olduğu görülmektedir. Nitrat, tarımsal faaliyetlerin fazla olduğu bölgelerde görülmektedir ve azotlu inorganik gübrelerin fazla kullanımından kaynaklanır. İçme suyunda kirliliğe neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, 116 nolu kuyu suyunun içilmesi de önerilmemektedir.

Çaldıran içme sularının değerlendirilmesi sonucunda da, Çaldıran'da 6 soğuk su kaynağı ve 3 kuyu suyunun içme suyu olarak kullanımı uygun bulunmamıştır. Çaldıran ilçesi

Ayrancılar köyündeki 15 nolu soğuk su kaynağı florür içeriği bakımından limit değerlerin üzerinde görülmüş ve içerdiği florür nedeniyle kullanımı uygun bulunmamıştır. Çaldıran ilçesi Yağıbasan köyündeki 17 nolu soğuk su kaynağı, florür ve alüminyum içeriği limit değerlerin üzerinde olup, içme suyu olarak kullanımı önerilmemektedir. Çaldıran ilçesi Altıyol köyündeki 18 nolu soğuk su kaynağı; florür, alüminyum ve nitrat içeriği bakımından limit değerlerin üzerinde olup, kullanımı uygun bulunmamıştır. 20 nolu Alikelle köyünde nitrat kirliliği bulunmaktadır. Çaldıran ilçesi Evciler köyündeki 26 nolu soğuk su kaynağı, krom, mangan, nikel ve nitrat içeriği bakımından limit değerlerin üzerinde olup, kullanımı uygun görülmemektedir. Ayrıca Evciler köyündeki suyun pH değeri 6.8 olup, asit karakterli bir sudur. Bu nedenle de ekşi bir tada sahip olduğu görülmüştür. Asit karakterli bir suyun böbrekler ve diğer birçok organa zarar verebileceği de göz önünde bulundurularak söz konusu suyun içilmemesi tavsiye edilmektedir. Çaldıran ilçesi Hanköy'deki 27 nolu soğuk su kaynağında da florür, alüminyum ve nitratın limit değerler üzerinde olduğu görülmekte ve içme suyu olarak kullanımı uygun bulunmamaktadır. Çaldıran Koçovası köyündeki 123 nolu kuyu suyu bor, krom, mangan ve nitrat içeriği bakımından limit değerlerin üzerinde görülmüştür. Mangan, suda yüksek düzeylerde uzun süre alındığında da nörolojik sorunlara yol açacağından kullanımı uygun değildir. Söz konusu kuyu sığı bir kuyu olduğundan, tarımsal faaliyetlerden de etkilendiği ve nitrat kirliliğinin de olduğu görülmektedir. Ayrıca, Koçovası sıcak su kaynağına yakın bir yerde konumlandığı için sıcak sularda fazla miktarda bulunan bordan, bu kuyu da etkilenmiştir. Çaldıran Hanköy'deki 125 nolu kuyu suyunda da florür, arsenik ve bor içeriğinin limit değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir. Kuyu suyunun içme suyu olarak kullanılması önerilmemektedir. Çaldıran Aşağıkuyucak köyündeki 126 nolu kuyu suyunda florür ve mangan içeriği limit değerlerin üzerindedir. Bu kuyu suyunun içme suyu amaçlı kullanımı önerilmemektedir.

İnceleme alanındaki suların tarımsal sulama amaçlı kullanımı ile ilgili sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir. İnceleme alanındaki suların tarımsal sulama için uygunluğunun belirlenmesinde, % Na, SAR, RSC, permeabilite indeksi (PI), Kelly indeksi (KR) ve magnezyum tehlikesi (MH) gibi hidrokimyasal parametreler incelenmiştir.

Suların sodyum yüzdesi ile 25 oC'deki elektriksel iletkenlikleri arasındaki ilişki Wilcox diyagramı kullanılarak incelenmiş ve sodyum yüzdesi bakımından kullanım özellikleri

ortaya koyulmuştur. Wilcox diyagramına göre, Zilan havzasında yer alan tüm soğuk su kaynakları kullanım özelliği bakımından "Çok İyi - İyi" sular sınıfında yer almaktadır. Bendimahı havzasındaki 126 nolu Çaldıran - Aşağıkuyucak Köyü'ndeki kuyu suyu, 17 nolu Çaldıran - Yağlıbasan Köyü, 18 nolu Çaldıran - Altıyol Köyü ve 27 nolu Çaldıran - Hanköy'deki soğuk su kaynakları, Wilcox diyagramına göre kullanım özelliği bakımından "Kullanılabilir - Şüpheli" sular sınıfında yer almaktadır. Çaldıran - Koçovası Köyü'ndeki 123 nolu kuyu suyu ile Çaldıran - Hanköy'deki 125 nolu kuyu suyu Wilcox diyagramına göre kullanım özelliği bakımından "Şüpheli - Kullanılamaz" sular sınıfında yer almaktadır. 116 nolu kuyu suyu, 121 nolu kuyu suyu ve 19 nolu soğuk su kaynağı "İyi - Kullanılabilir" sular sınıfındadır. Kalan diğer tüm kaynak ve kuyular ise "Çok iyi - İyi" sular sınıfında yer almaktadır.

Suların tarımsal sulamada kullanımı ile ilgili sodyum adsorbsiyon oranına (SAR) bakılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Zilan havzasındaki soğuk su kaynakları, tuzluluk - sodyum tehlikesi grafiğinde değerlendirilmiştir. Zilan havzasındaki soğuk su kaynaklarında en küçük SAR değerine sahip lokasyon, 0.12 sodyum adsorbsiyon oranı ile Erciş ilçesi Keklikırtı Köyü'ndeki 6 nolu soğuk su kaynağı iken; en yüksek SAR değerine sahip lokasyon ise 0.61 sodyum adsorbsiyon oranı ile Erciş ilçesi Taşkapı Köyü'ndeki 2 nolu soğuk su kaynağıdır. Söz konusu sular, tuzluluk - sodyum tehlikesi grafiğine göre; düşük sodyum tehlikesi ve orta tuzluluk tehlikesi bölgesinde yer almakta olup, C2S1 su sınıfındadır. Zilan havzasındaki diğer sular ise; düşük sodyum tehlikesi ve düşük tuzluluk tehlikesi bölgesinde yer almakta olup, C1S1 su sınıfında yer almaktadır. Bendimahı havzasındaki soğuk su kaynakları ve kuyular da, tuzluluk - sodyum tehlikesi grafiğinde değerlendirilmiştir. Bendimahı havzasındaki suların büyük bir kısmı, düşük sodyum tehlikesi ve düşük tuzluluk tehlikesi bölgesinde yer almakta olup, C1S1 su sınıfındadır. 7 lokasyonda, düşük sodyum tehlikesi ve orta tuzluluk tehlikesi bölgesinde yer almakta olup, C2S1 su sınıfındadır. Muradiye ilçesi Ovacınar Köyü'ndeki 116 nolu kuyu suyu ile Çaldıran ilçesi Aşağıkuyucak Köyü'ndeki 126 nolu kuyu suyu, düşük sodyum tehlikesi ve yüksek tuzluluk tehlikesi bölgesinde yer almakta olup, C3S1 su sınıfındadır. Çaldıran ilçesi Koçovası Köyü'ndeki 123 nolu kuyu suyu, düşük sodyum tehlikesi ve çok yüksek tuzluluk bölgesinde yer almakta olup, C4S1 su sınıfındadır. Çaldıran ilçesi Hanköy'deki 125 nolu kuyu suyu, orta sodyum tehlikesi ve çok yüksek tuzluluk bölgesinde yer almakta olup, C4S2 su sınıfındadır.

İnceleme alanı için suların tarımsal sulamada kullanımı ile ilgili karbonat ve bikarbonat tehlikesi bakımından RSC (residual sodyum karbonat) değerleri hesaplanmıştır. Zilan havzası için hesaplanan RSC değerleri -1.12 meq/l ile 0.14 meq/l arasında değişiklik göstermektedir. Örneklerin tümünde RSC değeri, 2.5 meq/l'nin altındadır. Dolayısıyla bölgedeki sular, karbonat ve bikarbonat tehlikesi bakımından sulama amaçlı kullanılabilir. Bendimahı havzası için yapılan değerlendirmede ise; RSC değerlerinin -4.04 ile 5.38 meq/l arasında değiştiği görülmektedir. Örneklerin % 13'ünde (4 örnek) RSC değeri 2.5 meq/l'nin üzerindedir. RSC değerinin 2.5 meq/l üzerinde olduğu örnekler; Çaldıran ilçesi Yağlıbasan Köyü'ndeki 17 nolu örnek, Çaldıran ilçesi Altıyol Köyü'ndeki 18 nolu örnek, Çaldıran ilçesi Hanköy'deki 27 ve 125 nolu örneklerdir. Söz konusu örnekler karbonat ve bikarbonat tehlikesi bakımından sulamaya uygun değildir. Bendimahı havzasındaki örneklerin % 87'sinde ise RSC değeri 2.5 meq/l'nin altında değerler olup, karbonat ve bikarbonat tehlikesi bakımından sulama amacıyla kullanılabileceği sonucu ortaya çıkmaktadır.

Sulama için kullanılacak suların uygunluğunun değerlendirilmesinde bir kriter olarak geçirimsilik indeksi (PI) değerleri de hesaplanmıştır. Zilan havzası için hesaplanan PI değerleri 42.75 meq/l ile 59.56 meq/l arasında değişmektedir. Zilan havzasındaki suların % 66'si Sınıf I kapsamına girmektedir. Yani sulama için uygun sulardır. % 34'lük kısmı ise (1 ve 7 nolu örnekler); Sınıf II kapsamındadır. Dolayısıyla Zilan havzasındaki suların büyük bir kısmı geçirimsilik indeksi bakımından tarımsal sulamaya uygun sulardır. Bendimahı havzası için hesaplanan PI değerleri 33.04 meq/l ile 116.28 meq/l arasında değişmektedir. Bendimahı havzasındaki suların % 10'u (3 örnek) Sınıf III, % 90'ı (27 örnek) ise Sınıf I ve Sınıf II kapsamına girmektedir. Dolayısıyla Bendimahı havzasındaki soğuk su kaynakları ve kuyu sularının büyük bir kısmı PI indeksine göre tarımsal sulama için uygun sulardır. Sınıf III kapsamına giren sular; 24 nolu Çaldıran ilçesi Salhane Köyü'ndeki soğuk su kaynağı, 27 nolu Çaldıran ilçesi Hanköy'deki soğuk su kaynağı ve 17 nolu Çaldıran ilçesi Yağlıbasan Köyü'ndeki soğuk su kaynağıdır. Söz konusu sular ise PI indeksi açısından yapılan değerlendirme sonucunda sulama amaçlı kullanımı uygun olmayan sulardır.

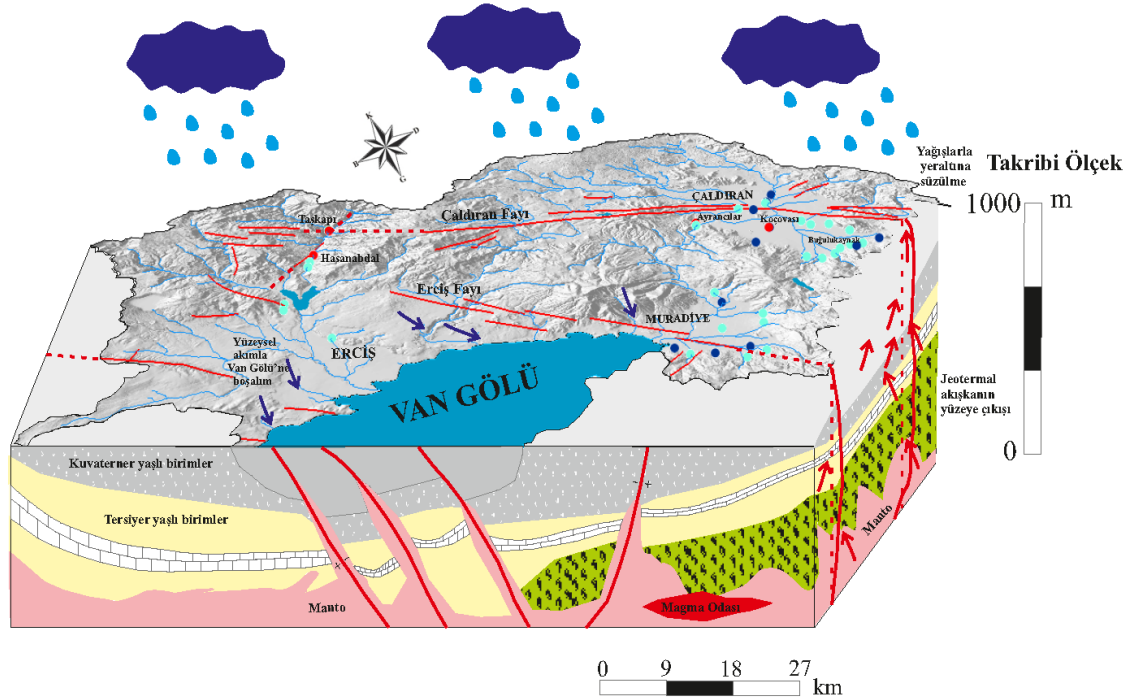
Suların sulama amaçlı kullanılabilirliği ile ilgili kalsiyum ve magnezyuma karşı, sodyumu hesaplayarak "Kelly oranı" adı verilen bir hesaplama da kullanılmaktadır. Kelly

oranının 1'den büyük olması, sudaki sodyumun fazlalığını ve söz konusu suyun sulama için uygun olmadığını, 1'den küçük olması ise suların sulama amaçlı kullanılabileceğini belirtmektedir. Zilan havzasındaki soğuk su kaynakları için hesaplanan Kelly oranı, 0.04 meq/l ile 0.18 meq/l arasında değişmektedir. Dolayısıyla Kelly oranı kriterine göre, Zilan havzasındaki tüm sular 1'den küçük olduğu için sulama için kullanılabilir. Bendimahi havzasındaki soğuk su kaynakları ve kuyu suları için hesaplanan Kelly oranı, 0.06 meq/l ile 3.69 meq/l arasında değişmektedir. 17 nolu Çaldıran ilçesi Yağıbasan Köyü'ndeki soğuk su kaynağı, 18 nolu Çaldıran ilçesi Altıyol Köyü'ndeki soğuk su kaynağı, 27 nolu Çaldıran ilçesi Hanköy'deki soğuk su kaynağı ve 122 nolu Çaldıran ilçesi Kilimli Köyü'ndeki kuyu suyunda Kelly oranının 1'den büyük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla Kelly oranına göre, söz konusu kaynaklar sulamaya uygun olmadığı görülmektedir. Diğer geri kalan sularda Kelly oranı 1'den küçük olduğundan sulama için kullanılabilir sulardır.

Suların tarımsal sulamada kullanılabilirliğini belirlemek için magnezyum tehlikesi hesaplaması da yapılmıştır. Sudaki magnezyum tehlikesi (MH) değerinin 50'den büyük olması, sulama için uygun olmadığını ve tarım ürünlerini olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir. Zilan havzasındaki soğuk su kaynaklarında MH değerleri, 2.50 meq/l ile 53.64 meq/l arasında değişmektedir. Zilan havzasında sadece Erciş ilçesi Yukarıışıklı Köyü'ndeki 1 nolu soğuk su kaynağında MH değerinin 50'den büyük olduğu (53.64 meq/l) olduğu görülmektedir. Diğer kaynaklarda MH değeri 50'den küçüktür. Dolayısıyla magnezyum tehlikesi için yapılan değerlendirmede, sadece 1 nolu soğuk su kaynağının sulama için uygun olmadığı, diğer soğuk su kaynaklarının sulamaya uygun olduğu görülmektedir. Bendimahi havzasındaki soğuk su kaynakları ve kuyu sularındaki MH değerleri ise 5.36 meq/l ile 73.84 meq/l arasında değişmektedir. Bendimahi havzasında; 17 nolu Çaldıran ilçesi Yağıbasan Köyü'ndeki soğuk su kaynağı, 18 nolu Çaldıran ilçesi Altıyol Köyü'ndeki soğuk su kaynağı, 26 nolu Çaldıran ilçesi Evciler Köyü'ndeki soğuk su kaynağı, 27 nolu Çaldıran ilçesi Hanköy'deki soğuk su kaynağı, Muradiye ilçesi Kocasaban Köyü'ndeki 117 nolu kuyu suyu, Çaldıran ilçesi Yaykılıç Köyü'ndeki 121 nolu kuyu suyu, 123 nolu Koçovası Köyü'ndeki kuyu suyu, 125 nolu Hanköy'deki kuyu suyu ve 126 nolu Aşağıkuyucak Köyü'ndeki kuyu suyunda MH değerleri 50 meq/l'nin üzerinde görülmektedir. Dolayısıyla söz konusu soğuk su kaynakları ve kuyu sularının magnezyum tehlikesi bakımından tarımsal sulamaya uygun olmadığı görülür.

5.5. SONUÇLARIN GENEL DEĞERLENDİRMESİ VE TARTIŞMA

Özetle; inceleme alanında, iki farklı fay sistemi (Erciş ve Çaldıran Fayı) ve çok sayıda soğuk ve sıcak su birlikte bulunmaktadır. İnceleme alanı, volkanik kayaların ve tektonik süreçlerin yoğun olduğu bir bölgede konumlanmış olması nedeniyle kompleks bir hidrojeolojik yapı kazanmıştır. İnceleme alanının hidrolojik, hidrojeolojik ve jeotermal özelliklerinin daha iyi anlaşılması için hazırlanan hidrojeolojik kavramsal model Şekil 5.1'deki gibidir.



Şekil 5.1: İnceleme alanına ait hidrojeolojik kavramsal model (Düsey ölçek takribi ölçektir).

Zilan havzasında, Zilan vadisi boyunca görülen KD-GB doğrultulu faylar Zilan (Erciş) havzasındaki jeotermal sistemin ana unsurlarını oluşturmaktadır. Bölgede Hasanabdal ve Taşkapı jeotermal kaynakları elektrik üretebilecek potansiyele sahip kaynaklardır. Bölgenin hem ekonomik anlamda kalkınması, hem de termal turizmin gelişmesi açısından bu kaynakların değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Zilan havzasındaki 111 nolu Hasanabdal ve 112 nolu Taşkapı sıcak su kaynaklarına ait rezervuar sıcaklığı Giggenbach (1988)'in Na-K-Mg birleşik jeotermometresi kullanılarak yaklaşık 217 °C olarak tahmin edilmiştir. Söz konusu kaynaklarda silis ölçümü yapılamadığından silis

jeotermometreleri uygulanamamış olup, Na-K-Mg birleşik jeotermometresinde 111 ve 112 nolu sıcak su kaynakları ham su bölgesinde yer aldığından katyon jeotermometrelerinin kullanımı uygun bulunmamıştır.

Zilan havzası Erciş ilçesi genelinde yapılan su kimyası analizleri sonucunda, ilçedeki ana akiferi Erciş ilçesinin içme suyu ihtiyacını karşılayan ve Adilceviz kireçtaşlarından boşalan kireçtaşı akiferinin oluşturduğu görülmektedir. Zilan havzası içme suyu özellikleri; pH ve ağır metal içeriği incelendiğinde bazik karakterli içilebilir sular olduğu görülmektedir. Zilan havzasındaki suların sulama suyu amaçlı kullanımı değerlendirildiğinde; sodyum yüzdesi (% Na) bakımından “Çok İyi – İyi” kullanılabilir sular sınıfında, sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) bakımından “düşük sodyum tehlikesi ve düşük tuzluluk tehlikesi” bölgesinde yer almakta olup, C1S1 su sınıfında yer almaktadır. Zilan havzasındaki sular, karbonat ve bikarbonat tehlikesi bakımından RSC (residual sodyum karbonat) 2.5 meq/l’nin altında bir değere sahip olup, sulama için uygun sular olduğu, geçirimsizlik indeksi (PI) değerleri bakımından, Zilan havzasındaki suların % 66’si Sınıf I kapsamına girdiği ve sulama için uygun sular olduğu, kalsiyum ve magnezyuma karşı, sodyumu hesaplayarak elde edilen Kelly oranına göre Zilan havzasındaki tüm sulardaki Kelly oranının 1’den küçük olması nedeniyle sulama için kullanılabilir olduğu, sudaki magnezyum tehlikesi (MH) bakımından yapılan değerlendirmede MH değerinin suların birçoğunda 50’den küçük olması nedeniyle sulamaya uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Bendimahî havzasında ise KD-GB doğrultulu Çaldıran Fayı önemli bir yer sahiptir. Özellikle faya paralel konumlanmış 3 jeotermal kaynak bulunmaktadır. Bunlardan Ayrancılar jeotermal kaynağı, Koçovası ve Buğulukaynak jeotermal kaynaklarına nazaran daha yüksek sıcaklıklara sahip ve köken olarak diğer iki kaynaktan farklıdır. Ayrancılar jeotermal kaynağının yüksek sıcaklıklı bir rezervuarı temsil ettiği (207 °C) fakat Ayrancılar mevkiinde MTA (2003) tarafından 573 m derinlikte açılmış sondajda 83 °C akışkan sıcaklığı ölçülmesi ve 83 ile 207 arasında büyük bir sıcaklık farkı olduğundan soğuk sularla karışmış olabileceği düşünülmektedir. Koçovası jeotermal kaynağında yüzeyde ölçülen sıcaklık 25.8 °C iken, amorf silis jeotermometre sonucu yüzeyde ölçülenden düşük (16.84 °C) çıkmıştır. 114 nolu Koçovası sıcak su kaynağında

atmosferde ölçülen sıcaklık değerinin akifer sıcaklığından daha yüksek olması, suyun iletimle soğuma (suyun ısıyı ileterek soğuması) şeklinde bir soğuma süreci geçirdiğini göstermekte ve kalsedon jeotermometresine göre 110.39 °C olarak tahmin edilirken, silika-entalpi karışım modeli ve Na-K-Mg birleşik jeotermometresine göre herhangi bir soğuma gerçekleşmeksizin elde edilecek orijinal rezervuar sıcaklığı 207 ile 217 °C arasında tahmin edilmektedir. Buğulukaynak sıcak su kaynağında ise yüzeyde ölçülen sıcaklık 33.5 °C iken, amorf silis jeotermometre sonucu 49.54 °C ile yüzeyde ölçülen sıcaklığa yakın bir değer olup, tüm jeotermometre sonuçlarına genel olarak bakıldığında birbirini ile uyumlu olmayan çok geniş bir aralıkta seyreden sıcaklıkların hesaplandığı görülmektedir. Bu durum, 115 nolu sıcak su kaynağının soğuk sular ile karışmış olabileceğini göstermektedir. Ayrıca 114 ve 115 nolu sıcak su kaynaklarındaki yüksek Mg içeriği de bu suların soğuk yeraltı suları ile karışmış olabileceğine işaret eder. Burada da 114 nolu Koçovası kaynağında olduğu gibi silis jeotermometrelerinden kalsedon jeotermometresinin sıcaklık tahmininde kullanımının daha uygun olduğu düşünülmekte ve kalsedon jeotermometresine göre hazne sıcaklığı 150.62 °C olarak tahmin edilmektedir. 115 nolu Buğulukaynak sıcak su kaynağında herhangi bir karışım olmaksızın tahmin edilen hazne sıcaklığı ise silis-entalpi karışım modeli ve Na-K-Mg birleşik jeotermometresine göre 207 ile 217 °C arasındadır. Söz konusu sıcak su kaynaklarının balık çiftliklerinde, yüzme havuzları, fermantasyonlar ve damıtmada, toprak ısıtmada, mantar yetiştirme ve balneolojik hamamlarda, sera, ahır ve kümes ısıtmacılığında, balık kurutma ve deniz yosunu, çimen ve sebze gibi organik maddeleri kurutma, yün yıkama ve kurutma gibi işlerde kullanılabilecek sular olduğundan, bu işlerde kullanılması önerilmektedir. Muradiye ilçesi genelinde yapılan su kimyası analizleri ve DSİ tarafından ilçede açılmış kuyu loglarının birlikte değerlendirilmesi sonucunda, ilçedeki ana akiferin çatlaklı bazaltlar ve karbonatlı birimlerden oluştuğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Çaldıran ilçesi genelinde yapılan su kimyası analizleri sonucunda, ilçedeki ana akiferin magmatik kayalar olduğu görülmektedir. Bölgedeki suların büyük bir bölümünün bazalt, andezit, riyolit, serpantinit, granit ve peridotitlerin kırık ve çatlaklarından boşaldığı sonucuna varılmıştır. Çaldıran ilçesindeki magmatik kayaları, karbonatlı kayalar takip etmektedir. İkinci sırada akifer oluşturabilecek birimler, karbonatlı birimlerdir. Bendimahi havzasındaki içme sularında bazı lokasyonlarda krom, arsenik, alüminyum, nikel ve mangan gibi ağır metaller ile florür ve nitrat gibi kirlilik

parametreleri mevcuttur. Söz konusu kaynak ve kuyu sularının yaratacağı sağlık sorunları nedeniyle kullanılmaması tavsiye edilmektedir. Bendimahi havzasındaki suların sulama suyu amaçlı kullanımı değerlendirildiğinde; sodyum yüzdesi (% Na) bakımından "Çok iyi - İyi" ve "İyi - Kullanılabilir" sular sınıfında, sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) bakımından düşük sodyum tehlikesi ve düşük tuzluluk tehlikesi bölgesinde yer almakta olup, C1S1 su sınıfındadır. Bendimahi havzasındaki suların büyük bir kısmı, karbonat ve bikarbonat tehlikesi bakımından RSC (residual sodyum karbonat) 2.5 meq/l'nin altında bir değere sahip olup ve sulama için uygun olduğu, geçirimlilik indeksi (PI) değeri bakımından, Bendimahi havzasındaki suların % 90'ının Sınıf I kapsamına girdiği ve sulama için uygun sular olduğu, kalsiyum ve magnezyuma karşı, sodyumu hesaplayarak elde edilen Kelly oranına göre Bendimahi havzasındaki suların büyük bir kısmında Kelly oranının 1'den küçük olması nedeniyle sulama için kullanılabilir olduğu, sudaki magnezyum tehlikesi (MH) bakımından yapılan değerlendirmede MH değeri suların birçoğunda (% 70'inde) 50'den küçük olması nedeniyle sulamaya uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- ABD Tuzluluk Laboratuvarı, 1954, *Tuzun tanı ve gelişimi ve alkali topraklar, Tarımsal el kitabı*, No:60.
- Acarlar, M., Türkecan, A., 1986, *Başkale (Van) batı ve kuzeybatısının jeolojisi*, MTA Genel Müdürlüğü Raporu, No: 7913.
- Acarlar, M., Bilgin, Z. A., Erkal, T., Güner, E., Şen, A.M., Umut, M., Elibol, E., Gedik, İ., Hakyemez, Y., Uğuz, M.F., 1991, *Van Gölü doğu ve kuzeyinin jeolojisi*, M.T.A. Raporu, No: 9469.
- AFAD, 2011a. *23 Ekim 2011 Van Depremi Raporu*, <http://www.deprem.gov.tr> [Ziyaret Tarihi: 30 Nisan 2017].
- AFAD, 2011b. *Afet Bilgi Sistemi Komisyonu Raporu*, <http://www.deprem.gov.tr> [Ziyaret Tarihi: 30 Nisan 2017].
- AFAD, 2012. Deprem Araştırma Dairesi, <http://deprem.gov.tr/tr/kategori/deprem-bolgeleri-haritasi-28841> [Ziyaret Tarihi: 30 Nisan 2017].
- AFAD, 2016, *Deprem kataloğu*, <http://www.deprem.gov.tr>, [Ziyaret Tarihi: 30 Nisan 2017].
- Ağaoğlu, S., Ekici, K., Alemdar, S., Dede, S., 1999, Van ve yöresi kaynak sularının mikrobiyolojik, fiziksel ve kimyasal kaliteleri üzerine araştırmalar, *Van Tıp Dergisi*, 6 (2), 30-33.
- Ağaoğlu, S., Alişarlı, M., Dede, S., Alemdar, S., 2005, *Van bölgesi sularının (içme-kullanma, kaynak, kuyu ve akarsu) bazı niteliklerinin halk sağlığı açısından değerlendirilmesi*, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Proje No: 101Y096.
- Ağaoğlu, S., Alemdar, S., Alişarlı, M., Dede, S., 2007, Van bölgesi su kaynaklarının fizikokimyasal kalitesi, *Veterinerlik Bilimleri Dergisi*, 21 (2), 25-39.
- Akdemir, S., 1996, *Van merkez ve çevresinin hidrojeoloji incelemesi*, Tez (MSc), Fırat Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Elazığ.
- Akdoğan, N., Kılıç, H., 1987, Nemrut ve Meydan kalderalarının gravite araştırmaları, *Hidrojeoloji Sempozyumu Bildiri Özetleri Kitabı*, Ankara, 23.
- Akın, M., Özvan, A., Akın, M.K., Topal, T., 2013, Evaluation of liquefaction in Karasu River floodplain after the October 23, 2011, Van (Turkey) earthquake, *Nat Hazards*, 69, 1551-1575.

- Aksoy, E., 1988, *Van'ın doğu ve kuzeydoğu kesiminin stratigrafi ve tektoniği*, Tez (PhD) Fırat Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Elazığ.
- Ambraseys, N.N., Finkel, C.F., 1995, *The seismicity of Turkey and adjacent Areas: A historical review*, Eren publishing & booktrade, İstanbul.
- Appelo, C.A.J., Postma D., 1996, *Geochemistry, groundwater and pollution*, Balkema, Rotterdam.
- APHA, AWWA, WPCF, 1989, *Standart Methods for the Estimation of Water and Waste Water (17th Edition)*, American Public Health Association, Washington, USA.
- Aydan, Ö., Ulusay, R., Kumsar, H., 2014, Seismic, ground motion and geotechnical characteristics of the 2011 Van-Ercis, and Van-Edremit earthquakes of Turkey, and assessment of geotechnical damages, *Bull Eng Geol Environ*, 73, 643-666.
- Aydın, H., Ekmekçi, M., Tezcan, L., Dişli, E., Aksoy, N., Yalçın, M.P., Özcan, G., 2009a, *Gürpınar karst su kaynaklarının potansiyelinin belirlenmesi ve sürdürülebilir yönetim açısından değerlendirilmesi*, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Proje No: 106Y040.
- Aydın H., Dişli E., Ekmekçi M. , Tezcan L. , Aksoy N., Yalçın M.P., 2009b, Şamran karst kaynağının (Gürpınar-Van) bazı hidrojeolojik özellikleri, *62. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 13-17 Nisan 2009, Ankara, 138-139.
- Aydın, H., Mutlu, H., Kazancı, A., 2013, Çaldıran (Van) jeotermal sahasının hidrojeokimyasal özellikleri, *11. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi*, 17-20 Nisan 2013, İzmir, 71-90.
- Aydın, H., 2015, *Muş ve çevresi hidrolojik kuraklık analizi*, Kalkınma Yolunda Doğal Afetler Raporu, Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı.
- Babayiğit, S., 2011, *Muradiye (Van) ovasındaki yüzey deformasyonlarının SAR interferometrisi yöntemiyle araştırılması*, Tez (MSc), Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Bahadır, M., 2011, Kızılırmak nehri akım değişimlerinin istatistiksel analizi, *International Periodical For The Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 6 (3), 1339-1356.
- Balkaş, Ö., 1980, *Başkale, Gürpınar, Çatak ve Van alanının jeolojisi ve petrol olanakları raporu*, TPAO Raporu, Rapor No: 1455.
- Bhattacharyya, R., Chatterjee, D., Nath, B., Jana, J., Jacks, G., Vahter, M., 2003, High arsenic groundwater: mobilization, metabolism and mitigation—an overview in the bengal delta plain, *Molecular and cellular biochem*, 253, 347-355.
- Bigazzi, G., Yeğingil, Z., Ercan, T., Oddone, M., Özdoğan, M., 1997, Doğu Anadolu'daki obsidiyen içeren volkaniklerin "Fizyon Track" yöntemiyle yaş tayini, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 40 (2), 57-72.

- Bilgin, A., Polat, S., Bilgin, N., Arslan, S., 2012, Erciş obsidyenlerinin mineralojik-petrografik, jeokimyasal özellikleri ve süs taşı olarak değerlendirilmesi üzerinde ön çalışma, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2 (2), 85-92.
- Blumenthal, M.M., Van der Kaaden, G., Vlodavetz, V.I., 1964, *Caucasus*, Catalogue of the active volcanoes and solfatar fields of Turkey, In: Blumenthal, M.M. (ed.), International Association of Volcanology, Rome, 23.
- Bozdağ, A., 2010, *Cihanbeyli (Konya) ve çevresinin hidrojeolojik, hidrokimyasal ve izotopik özelliklerinin incelenmesi*, Tez (PhD), Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Bozkurt, E., 2001, Neotectonics of Turkey a synthesis, *Geodinamica Acta*, 14, 3-30.
- Cerling, T.E., Pederson, B.L., Damm, K.L.V., 1989, Sodium calcium ionexchange in weathering of shale; implication for global weathering, *Budget*, 17, 552-554.
- Çağlan, D., Alan, H., Dirik, K., Bozkurt, E., Topal, T., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., 2011, *Van (Tabanlı-Edremit) depremleri raporu*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Raporu.
- Çakır, Y., 1995, *Çaldıran Fayı ve Dolayının Jeolojik İncelenmesi*, Tez (PhD), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Çamtepe, Y., 2006, Kolonkaya kuyusunda arsenik, *Akşam Gazetesi*, Uşak.
- Çolak, M., Gemici, U., Tarcan, G., 2003, The effects of colemanite deposits on the arsenic concentration of soil and groundwater in Igdekoy-Emet, Kutahya, Turkey, *Water, Air, and Soil Pollution*, 149, 127-143.
- Çolakoğlu, A.R., 2009, *Çaldıran - Karadulda (Van) lateritik Fe cevherleşmesinin kökeninin araştırılması*, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Proje No: 107Y339.
- Çolakoğlu, A.R., Arehart, G.B., 2010, The petrogenesis of Sarıçimen (Çaldıran-Van) quartz monzodiorite: Implication for initiation of magmatism (Late Medial Miocene) in the east Anatolian collision zone, Turkey, *Lithos*, 119, 607-620.
- Çöl, M., Çöl, C., 2004, Arsenic concentrations in the surface, well, and drinking waters of the Hisarcık, Turkey Area, 10, 461-465.
- Çömlekçi, N., 1989, *Temel İstatistik İlke ve Teknikleri*, Bilim Teknik Yayınevi, Eskişehir.
- Datta, P.S., Tyagi, S.K., 1996, Major ion chemistry of groundwater in Delhi Area: chemical weathering processes and groundwater flow regime, *Journal of Geological Society India*, 47, 179-188.
- Davraz, A., Ünver, Ö., 2014, İnegöl havzası (Bursa) hidrojeolojisi ve yeraltısularının kalite değerlendirilmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18 (2), 7-21.

- Degens, E.T., Wong, H.K., Kempe, S., Kurtman, F., 1984, A geological study of Lake Van, eastern Turkey, *Geologische Rundschau*, 73 (2), 701–734.
- Demirtaşlı, E., Pisoni, C., 1965, Ahlat ve Adilcevaz bölgesinin jeolojisi (Van Gölü'nün kuzeyi), *MTA Dergisi*, 64, 22-36.
- Deniz, O., 2010, *Çanakkale Çan çevresindeki jeotermal sistemlerin hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelenmesi*, Tez (PhD), Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- 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, *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 19, 3-37.
- Doneen L.D., 1964, *Notes on water quality in agriculture*, Published as a water science and engineering paper 4001, Department of Water Sciences and Engineering, University of California.
- DSİ, 1974, *Van-Erciş Ovası Jeofizik Etüt Raporu*, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, DSİ VIII. Bölge Müdürlüğü, Erzurum.
- DSİ, 1977, *Van-Erciş Ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu*, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- DSİ, 1981, *Muradiye-Çaldıran Ovaları Planlama Kademesinde Jeofizik Etüt Raporu*, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, DSİ XVII. Bölge Müdürlüğü, Van.
- DSİ, 2013, *Van Kapalı Havzası Hidrojeoloji Raporu*, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Kasım 2013, Ankara.
- Düzen, H., 2011, *Van Gölü Su Seviye Değişimlerine Hidrojeolojik Yaklaşım*, Tez (MSc), Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Eaton F.M., 1950, Significance of carbonate in irrigation waters, *Soil Sci*, 69 (2), 123–133.
- Efe, T., 2011, *Edremit travertenleri ve Van Gölü kuzeyinde yüzeylenen pomzaların çimento sektöründe kullanılabilirliğinin araştırılması*, Tez (MSc), Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Elmastaş, N., 2004, Hasanabdal Kaplıcası, *I. Van Gölü Havzası Sempozyumu*, 8-10 Eylül, Van, 73-96.
- EPA (Environmental Protection Agency), 2016, <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/table-regulated-drinking-water-contaminants>, United States, [Ziyaret tarihi: 20 Aralık 2016].
- Ercan, T., Fujitani, T., Matsuda, J.I., Notsu, K., Tokel, S., Ui, T., 1990, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Neojen–Kuvaterner volkaniklerine ilişkin yeni jeokimyasal, radyometrik ve izotopik verilerin yorumu, *MTA Dergisi*, 110, 143–164.

- Erdol, S., Ceylan, S., 1997, Bursa yöresinde içme ve kullanma sularında arsenikle kirlenmenin araştırılması, *Uludağ Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 16, 119–127.
- Eren, Z., 1970, *Van Ovası yeraltısuyu rezerv raporu*, DSİ Raporu.
- Ergin, K., Güçlü, U., Uz, Z., 1967, *Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu (MS. 11-1964)*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi Arz Fiziği Enstitüsü yayınları, İstanbul, No 28.
- Erik, O., 2012, *Van Gölü kuzeyindeki asidik pomza ve skoryanın betonda katkı olarak kullanılabilirliği*, Tez (MSc), Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Erkanol, D., Avşar, M., Aslan, Ö., Burçak, M., Kurtman, T., Şener, S., Çakır, Y., Kocaman, H., 1991, *Çaldıran-Muradiye (Van)-Doğubayazıt (Ağrı) İran sınırı arasında kalan alanın genel jeolojisi*, MTA Rap. No: 9733 (yayımlanmamış), Ankara.
- Farias, S.S., Casa, V.A., Vazquez, C., Ferpozzi, L., Pucci, G.N., Cohen, I.M., 2003, Natural contamination with arsenic and other trace elements in groundwaters of Argentina Pampean Plain, *Sci. Tot. Env.*, 309, 187-199.
- Fisher, R.S., Mullican, F.W., 1997, Hydrochemical Evolution of Sodium-Sulfate and Sodium-Chloride Groundwater Beneath the Northern Chihuahuan Desert, *Hydrogeology Journal*, 10 (4), 455–474.
- Fournier, R.O., 1979, A revised equation for the Na-K geothermometer, *Geothermal Res. Council Trans.*, 3, 221-224.
- Fournier, R.O., 1981, *Application of water geochemistry to geothermal exploration and reservoir engineering*, In : L. Rybach and L.J.P. Muffler, eds., *Geothermal Systems, Principles and Case Histories*, Wiley, New York, 109-143.
- Fournier, R.O., 1990, Interpretation of Na-K-Mg relations in geothermal waters, *Transactions - Geothermal Resources Council*, 14, 1421-1425.
- Fournier, R.O., Truesdell, A.H., 1973, An Empirical Na-K-Ca Geothermometer for Natural Waters, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37, 1255-1275.
- Gelati, R., 1975, Miocene marine sequence from the Lake Van Area, eastern Turkey, *Riv. Ital. Paleont.*, 81 (4), 477- 490.
- Gemici, Ü., Tarcan, G., Helvacı, C., Somay, A.M., 2008, High arsenic and boron concentrations in groundwaters related to mining activity in the Bigadiç Borate Deposits (Western Turkey), *App. Geochemistry*, 23, 2462-2476.
- Giggenbach, W. F. ,1988, Geothermal Solute Equilibria, Derivation of Na-K-Mg- Ca Geoindicators, *Geochim. et Cosmochim Acta*, 52, 2749-2765.

- Giggenbach, W. F., 1991, *Applications of geochemistry in geothermal reservoir development* Chemical techniques in geothermal exploration, In: F. D'Amore (ed.), UNITAR/UNDP Publ., 119-142.
- Giggenbach, W. F., Gonantini, R., Jangi, B. L., Truesdell, A. H., 1983, Isotopic and Chemical Composition of Parbati Valley Geothermal Discharges, NW Himalaya, Indiana, *Geothermics*, 12, 199-222.
- Gregor, J., 2001, Arsenic removal during conventional aluminium-based drinking water Treatment, *Wat. Res.*, 35, 1659-1664.
- Guidoboni, E., Comastri, A., Triana, G., 1994, *Catalogue of ancient earthquakes in the Mediterranean area up to the 10th Century*, Istituto Nazionale di Geofisica, Italy.
- Gülkan, P., Gürpınar, A., Celebi, M., Arpat E., Gencoğlu, 1978, Engineering report on the Muradiye-Çaldıran, Turkey, earthquake of 24 November 1976, *National Academies*, 5-25.
- Gülkan P., Koçyiğit A., Yüçemen M.S., Doyuran V., Başöz N., 1993, *En son verilere göre hazırlanan Türkiye deprem bölgeleri haritası*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğüne 92-03-03-18 No.lu Proje Sonuç Raporu, Rapor No: 93-01 Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi.
- Gündoğdu O., 2009, Van ve çevresinin deprem tehlikesi, *Van Kent Sempozyumu*, 1-3 Ekim 2009, TMMOB Van İl Koordinasyon Kurulu, Van, 97-116.
- Han, B., Runnells, T., Zimbron, J., Wickramasinghe, R., 2002, Arsenic removal from drinking water by flocculation and microfiltration, *Desalination*, 145, 293-298.
- Han G, Liu C.Q., 2004, Water geochemistry controlled by carbonate dissolution: a study of the river waters draining Karst-dominated terrain, Guizhou province, China, *Chem Geol*, 204, 1-21.
- Harvey, C.F., Ashfaq, K.N., Yu, W., Badruzzaman, A.B.M., Ali, M.A., Oates, P.M., Michael, H.A., Neumann, R.B., Beckie, R., Islam, S., Ahmed, M.F., 2006, Groundwater dynamics and arsenic contamination in Bangladesh, *Chem. Geo.*, 228, 112-136.
- Hempton M.R., 1987, Constraints on Arabian plate motion and extensional history of the Red sea, *Tectonics*, 6, 687-705.
- İltir, S., 2011, *Erciş fayının incelemesi ve genel özellikleri*, Tez (MSc), Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- İMO, 2016, Meteorolojik veriler. <http://www.irimo.ir/english/statistics/climn/index.asp>. İran Meteoroloji Organizasyonu (İMO) resmi internet sayfası, İran. [Ziyaret tarihi: 12.11.2016].
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Radicati, F., 1976, Evolution of the volcanism in the area of interaction between the Arabian, Anatolian and Iranian plates (Lake

- Van, Eastern Turkey), *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1, 103-112.
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Serri, G., Villari, L., 1980, Geology of the volcanic are north of Lake Van (Turkey), *Geol.Rdsch.*, 69 (1), 292-323.
- Karamanderesi, İ. H., Can, A. R., Coşkun, B., Güner, A., Çağlar, F., Polat, Z., Tarakçıoğlu, H., Yıldırım, T., 1984, *Zilan deresi (Van- Erciş) jeolojisi ve Jeotermal enerji olanakları*, M. T. A. Raporu, No: 7793 (yayımlanmamış) Ankara.
- Kelly, W.P., 1940, Permissible composition and concentration of irrigated waters, *Proceeding of the ASCF*, 66, 607.
- Keskin M., Pearce J.A., and Mitchell J.G., 1998, Volcano-stratigraphy and geochemistry of collision-related volcanism on the Erzurum–Kars Plateau, northeastern Turkey, *Journal of Volcanology Geothermal Research*, 85, 355–404.
- Ketin, İ., 1977, Van Gölü ile İran Sınırı Arasındaki Bölgede Yapılan Jeoloji Gözlemlerinin Sonuçları Hakkında Kısa bir Açıklama, *T. J. K. Bülteni*, 20 (2), 79-85.
- Kharaka, Y. K., Mariner, R. H., 1989, *Chemical Geothermometers and their Application to formation waters from sedimentary basins*, Thermal History of Sedimentary Basins; Methods and Case Histories, In: Näser, N. D., McCulloh T.H. (ed.), Springer Verlag, 99-117.
- 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, Neotectonics of East Anotolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: implication for transition from thrusting to strike-slip faulting, *Geodinamica Acta*, 14, 177-195.
- 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.
- Köse, O., Özkaymak, Ç., 2002, Van Şehri Kuzeyi Genç Göl Çökellerinde Aktif Tektonik Bulgular, *ATAG-6 (Aktif Tektonik Araştırma Grubu) Altıncı Toplantısı Bildiri Özleri Kitabı*, 21-22 Kasım 2002, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 64-65.
- Kumar, M., Ramanathan, A.L., Rao, M.S., Kumar, B., 2006, Identification and evaluation of hydrogeochemical processes in the groundwater environment of Delhi, India, *J Environ. Geol.*, 50, 1025–1039.
- Kurtman, F., Akkuş, M.F., Gedik, A., 1978, *The geology and oil potential of the Muş-Van region*, The Geology of Lake Van, In: Degens, E.T., Kurtman, F. (ed.), The Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA) Publication, No.169, 124-133.

- Lebedev, V.A., Sharkov, E.V., Keskin, M., Oyan, V., 2010, Geochronology of Late Cenezoic volcanism in the area of Lake Van, Turkey: An example of developmental dynamics for magmatic processes, *Doklady Earth Science*, 433, 1031-1037.
- Levendoğlu, E., 1977, *Van merkez ve civarının hidrojeolojik etüdü*, DSİ Raporu.
- Litt, T., Krastel, S., Sturm, M., Kipfer, R., Örçen, S., Çağatay, M.N., 2009, Van Gölü Sondaj Projesi 'PALEOVAN', Uluslararası Bilimsel Kıta Sondaj Programı (ICDP): Yaklaşan derin sondaj seferi ve bilimsel hedefler, 62. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri*, Ankara, 718-719.
- Mengi, H., Erkanol, D., 1985, *Van L50 b3-b4 paftasının jeolojisi*, MTA Genel Müdürlüğü Raporu, No: 8193, Ankara.
- Meyback, M., 1987, Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved loads, *Am J Sci*, 287, 401-428.
- Mondal, P., Majumder, C.B., Mohanty, B., 2006, Laboratory based approaches for arsenic remediation from contaminated Water: Recent Developments, *J. Haz. Mat.*, 137, 464-479.
- MTA, 2003, *Van Çaldıran-Ayrancılar sahası jeotermal enerji aramaları jeofizik etüdü gravite, elektrik raporu*, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Jeofizik Etütleri Dairesi, Van.
- Nagao, K., Matsuda, J.I., Kita, I., Ercan, T., 1989, Noble gas and carbon isotopic composition in Quaternary volcanic area in Turkey, *Jeomorfoloji Dergisi*, 17, 101-110.
- Nieva, D., Nieva, R., 1987, Development in geothermal energy in Mexico, part 12-Acationic composition geothermometer for prospection of geothermal resources, *Heat recovery systems and CHP*, 7, 243-258.
- Ohta, Y., Goto N., Satoh K., Ergünnay O., Tabban A., 1980, An engineering seismological study on the 1976 Çaldıran earthquake in Turkey, *Proceedings of the seventh world conference on Earthquake Engineering*, Istanbul, Turkey, 399-406.
- Orhunbilge, N., 1996, *Uygulamalı Regresyon ve Korelasyon Analizi*, İ. Ü. İşletme Fakültesi, No: 267, İstanbul.
- Oruç, N., Alpman, N., Karamanderesi, İ.H., 1976, Tendürek volkanı çevresindeki yüksek florür içerikli kaynak sularının hidrojeolojisi, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 19, 1-8.
- Oruç, N., 2004, Emet-Kütahya içme sularında arsenik düzeyi, önemi ve bor yatakları ile ilişkisi, *II. Uluslararası Bor Sempozyumu*, Eskişehir.
- Oyan, V., 2011, *Etrüsk Volkanı ve çevresinin (Van Gölü Kuzeyi) volkanostratigrafisi, petrolojisi ve magmatik evrimi*, Tez (PhD), Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van.

- Oyan, V., Keskin, M., Lebedev, V.A., Chugaev, A.V., Sharkov, E.V., 2016, Magmatic evolution of the Early Pliocene Etrüsk stratovolcano, Eastern Anatolian Collision Zone, Turkey, *Lithos*, 256 (257), 88-108.
- Özdemir, Y., Oyan, V., Güleç, N., 2012, Süphan volkanik çığının jeolojik özellikleri, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17 (1), 1-5.
- Özen, T., Tarcan, G., 2009, Caferbey ve Sart-Çamur (Salihli) Jeotermal Alanlarının Hidrojeokimyasal İncelenmesi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 52 (3), 297- 323.
- Özgür N., 1993, Geomorphological features of the Zilan and Meydan calderas, *Jeom. Derg. (Bull. of Geomorphology)*, 20, 29-36.
- Özler, H.M., 2001, Active saltwater encroachment (from Lake Van) in the Van aquifer, East Turkey, *First International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers-Monitoring, Modeling and Management*. April 23-25 2001, Morocco.
- Özler, H.M., 2004, *Van akiferinin hidrojeolojisi ve tuzlanma nedenleri, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Proje No: 101Y097.*
- Özler, H.M., 2005, Gevaş-Gürpınar-Güzelsu (Van) havzasındaki karst kaynaklarının hidrojeolojik incelemesi, *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yer Bilimleri Dergisi*, 18 (1), 63-79.
- Özler, H.M., 2009, Zilan (Erciş) jeotermal alanının yapısal, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri, *Türkiye'nin jeotermal potansiyeli ve arama yöntemleri sempozyumu*, İstanbul, 14 - 15.
- Özvan, A., Akkaya, İ., Tapan, M., Şengül, M. A., 2010, Van Gölü Havzası Neojen Çökellerinin Jeoteknik Özelliklerine Bir Bakış: Erciş Yerleşkesi, *Ç.Ü. Yerbilimleri Dergisi (Geosound)*, 52, 297-310.
- Paliwal K.V., 1967, Effect of gypsum application on the quality of irrigation waters, *Madras Agric J*, 59, 646–647.
- Patel, P., Raju, N.J., Reddy, B.C.S.R., Suresh, U., Gossel, W., Wycisk, P., 2016, *Environmental Earth Science*, 75 (611).
- Perinçek, D., 1990, Hakkari ili ve dolayının stratigrafisi, GDA Türkiye, *TPJD Bülteni*, 2 (1), 21-68.
- Piper, A.M., 1944, A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses, *Trans Am Geophys Union*, 25, 914–923.
- Raju, N.J., Chaudhary, A., Nazneen, S., Singh, S., Goyal, A., 2015, *Hydrogeochemical investigation and quality assessment of groundwater for drinking and agricultural use in JNU, New Delhi, India*, Management of natural resources in a changing environment, In: Raju, N.J (ed.), Springer, Berlin, 3–27.

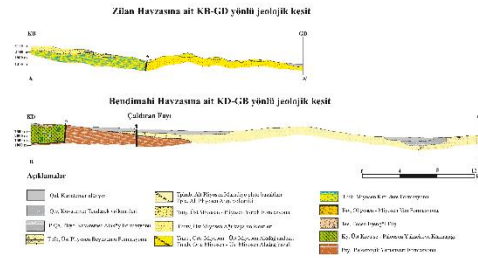
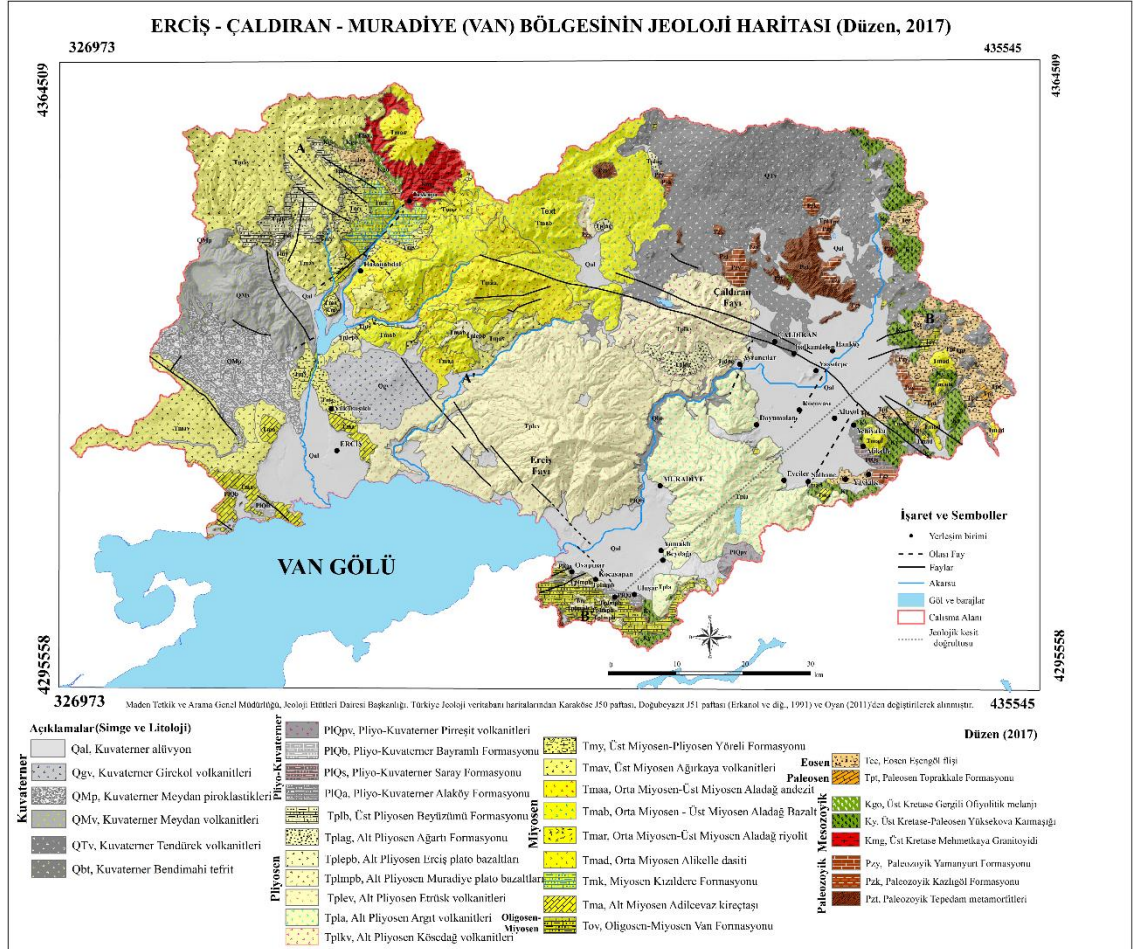
- Rasouli, F., Pouya, A.K., Cheraghi, S.A.M., 2012, Hydrogeochemistry and water quality assessment of the Kor-Sivand Basin, Fars province, Iran, *Environ Monit Assess*, 184, 4861–4877.
- Ricou, I. E., Argyriadis, I., Marcoux, J., 1975, L'axe calcaire du taurus, un alignement de fenetres araboafricaines sous des nappes radiolaritiques, ophiolitiques et metamorphiques, *Bull. Soc. Geol. France*, 17, 1024-10044.
- Sağlam, A., Örçen, S., 2002, Van Formasyonunun biyofasiyes özellikleri ve çökelme ortamları, 55. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara.
- Sami, K., 1992, Recharge mechanisms and geochemical processes in a semi-arid sedimentary basin, Eastern cape, South Africa, *J Hydrol*, 139, 27–48.
- Sancha, A.M., 2006, Review of coagulation technology for removal of arsenic: Case of Chile, *J. Health Popul. Nutr.*, 24, 267-272.
- Saydamer, M., 1976, *İran Sınırı Boyunca Yapılan Jeolojik Çalışmaların Nihai Raporu*, MTA Genel Müdürlüğü Raporu, No: 5622, Ankara.
- Schoeller, H., 1965, Hydrodynamique lars lekarts (ecoulemented emmagasinement), *Actes Colloques Doubronik*, I, AIHS et UNESCO, 3-20.
- Singh, K., Hundal, H.S., Singh, D., 2011, Geochemistry and assessment of hydrogeochemical processes in groundwater in the southern part of Bathinda District of Punjab, northwest India, *Environ Earth Sci*, 64, 1823–1833.
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D., Altınok, Y., 1981, *Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu (2100 B.C.–1900 A.D.)*, TÜBİTAK raporu, No. TBAG-341.
- Steinmaus, C.M., Yuan, Y., Smith, A.H., 2005, The temporal stability of arsenic concentrations in well water in Western Nevada, *Env. Res.*, 99, 164-168.
- Szabolcs, I., Darab, C., 1964, The influence of irrigation water of high sodium carbonate content of soils, *Proceedings of 8th international congress of ISSS, Trans II*, 803–812.
- Şahinci, A., 1991a, *Jeotermal sistemler ve jeokimyasal özellikleri*, Reform Matbaası, Beyler, İzmir, No.37/4.
- Şahinci, A., 1991b, *Doğal Suların Jeokimyası*, Reform Matbaası, İzmir.
- Şaroğlu, F., Güner, Y., 1981, Doğu Anadolu'nun jeomorfolojik gelişimine etki eden öğeler: jeomorfoloji, tektonik, volkanizma ilişkileri, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 24, 39-50.
- Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., 1986, *Doğu Anadolu'da neotektonik dönemdeki jeolojik evrim ve havza modelleri*, MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Şen, Z., 2002, *Su Bilimi (Hidroloji) Temel Konuları*, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.

- Şenel, M., Acarlar, M., Çakmakoğlu, A., Dağ, Z., Erkanol, D., Örcen, S., Taşkiran, M.A., Ulu, Ü., Ünal, M.F., Yıldırım, H., 1984, *Özalp (Van) – İran sınırı arasındaki alanın jeolojisi*, MTA Genel Müdürlüğü Raporu, Ankara, No: 7623.
- Şengör, A.M.C., 1980, *Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları*, TJK yayınları.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F., 1985, *Strike-Slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as case study*, Society for sedimentary geology, In: Biddle, K.T, Blick, N. C. (ed.), 37, 227-264.
- Şengör, A.M.C., Kidd, W.S.F., 1979, Post-collisional tectonics of the Turkish Iranian Plateau and a comparison with Tibet, *Tectonophysics*, 55, 361-376.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1981, Tethyan evolution of Turkey, a plate tectonic approach, *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1983, Türkiye’de Tetis’in evrimi: levha tektoniği açısından bir yaklaşım, *Türkiye Jeoloji Kurumu Yerbilimleri Özel Dizisi*, 1, İstanbul.
- Tan, O., Tapırdamaz, M.C., Yörük, A., 2008, The earthquakes catalogues for Turkey, *Turkish Journal of Earth Science*, 17, 405–418.
- Tapponnier, P., 1977, Evolution tectonique du système alpin en Méditerranée: poinçonnement et écrasement rigide-plastique [Tectonic Evolution of the Alpine system in the Mediterranean: punching and crushing rigid-plastic], *Bull. Soc. Géol.*, 7 (2), 437-460.
- Tarboton, D.G., 1997, A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models, *Water Resources Research*, 33(2), 309-319.
- Tarcan, G., 2003, *Jeotermal Su Kimyası*, Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar 11-21 Haziran 2002 Yaz Okulu Ders Kitabı, In: Tarcan, G. (ed.), Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 198-246.
- Tay, C.K., 2012, Hydrochemistry of groundwater in the Savelugu–Nanton District, northern Ghana, *Environ Earth Science*, 67, 2077–2087.
- Tolluoğlu, A.Ü., Eral, M., Aytaş, Ş., Yüksel, A., Akyıl, S., Işık, M.A., Köse, O., Aslani, M.A.A., Türközü, A., 2005, *Radyoaktivitenin Van Gölü havzası yüzey sularında jeokimyasal dağılımını belirleyerek halk sağlığı açısından incelenmesi*, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Proje No: 102Y096.
- Truesdell, A.H., 1991, *Effects of physical processes on geothermal fluids*, Applications of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development, In: F. D’Amore (ed.), 71-92.
- TÜİK, 2016, *Nüfus istatistikleri*, <http://www.tuik.gov.tr>, [Ziyaret Tarihi: 30 Nisan 2017].
- TSE 266 (Türk Standartları Enstitüsü - 266)., 2013, *İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği*, Türkiye Cumhuriyeti, Sağlık Bakanlığı, Ankara.

- 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.
- Wang, S., Mulligan, C.N., 2006, Occurrence of arsenic contamination in Canada: sources, behaviour and distribution, *Sci. Tot. Env.*, 366, 701- 721.
- WHO (World Health Organisation), 2011. Guidelines for Drinking Water Quality, Swtzerland.
- Wickramasinghe, S.R., Han, B., Zimbron, J., Shen, Z., Karim, M.N., 2004, Arsenic removal by coagulation and filtration: comparison of groundwaters from the United States and Bangladesh, *Desalination*, 169, 231-244.
- Wilcox, L.V., 1948, The quality of water for irrigation use, *US Department of Agriculture Technology Bulletin*, 40, 962.
- Wong, H.K., Finckh, P., 1978, *Shallow structures in Lake Van*, The Geology of Lake Van, In: Degens, E.T., Kurtman, F. (ed.), M.T.A. Press, Ankara, 158.
- Vaizoğlu, S.A., 2014, Suda aranan parametreler, anlamı, kaynağı ve sağlık Etkileri, Hacettepe Üniversitesi, Tıp Fakültesi, *Halk Sağlığı Anabilim Dalı Konferansları*, Nisan - Antalya.
- Yağmurlu, F., Şentürk, M., Dumlupınar, İ., 2011, 23 Ekim 2011 ve 9 Kasım 2011 tarihlerinde meydana gelen Van depremlerinin jeolojik Değerlendirmesi, *SDUGEO*, e-dergi, 3-9.
- Yeşilova, Ç., 2004, *Van Gölü kuzeyinde yüzeylenen Adilcevaz kireçtaşlarının mikrofasiyesleri*, Tez (MSc), Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Yılmaz, Y., Şaroğlu, F., Güner, Y., 1987, Initiation of the neomagmatism in East Anatolia, *Tectonophysics*, 134, 177-199.
- Yılmaz, Y., Güner, Y., Şaroğlu, F., 1998, Geology of the Quaternary volcanic centres of the East Anatolia, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 173-210.
- Yuan, T., Luo, Q., Hu, J., Ong, S., Ng, W., 2003, A study on arsenic removal from household drinking water, *J. Env. Sci. Health*, 38, 1731-1744.

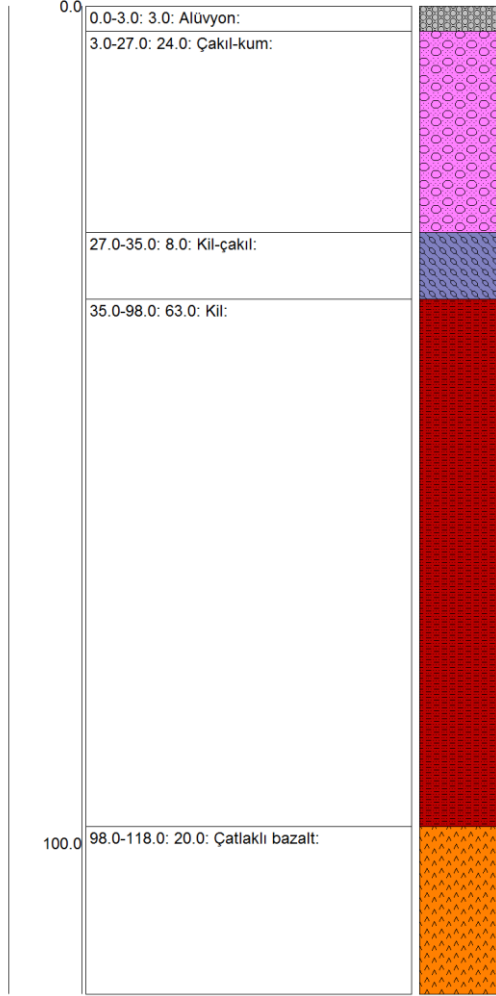
EKLER

EK 1. ERCİŞ-ÇALDIRAN-MURADIYE BÖLGESİNİN JEOLojİ HARİTASI VE JEOLojİK KESİTLER

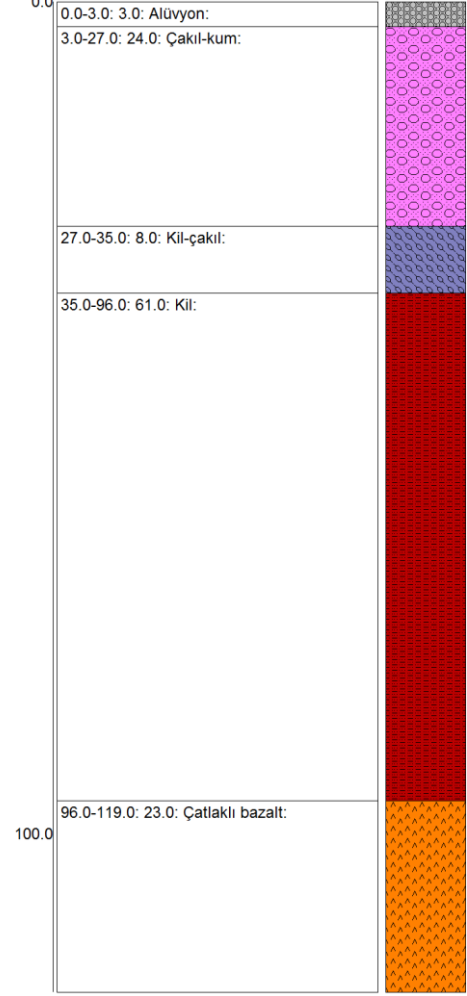


EK 2. İNCELEME ALANINDA DSİ TARAFINDAN AÇILMIŞ SONDAJ KUYUSU LOGLARI

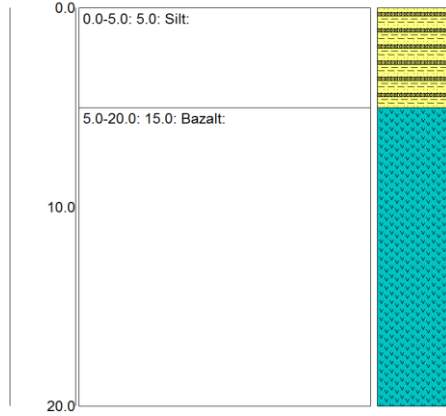
3908-A



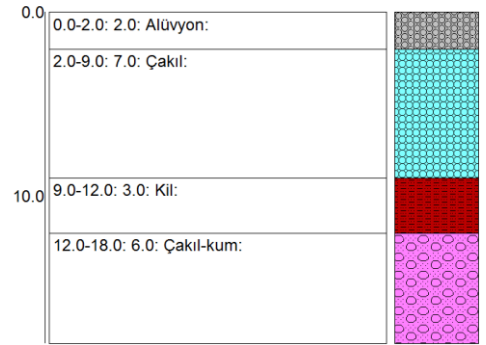
3908-B



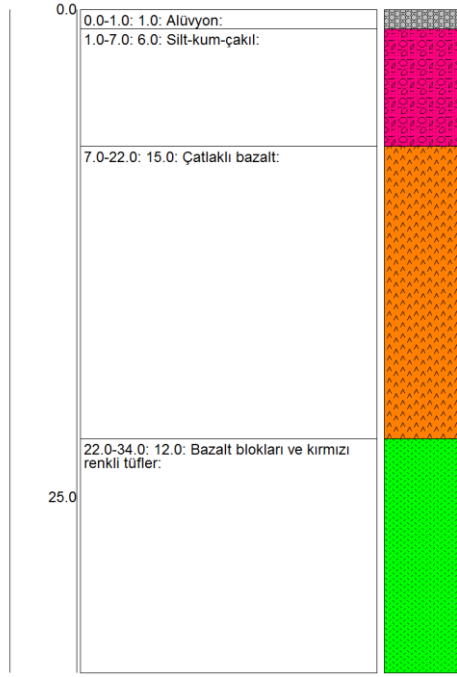
3910



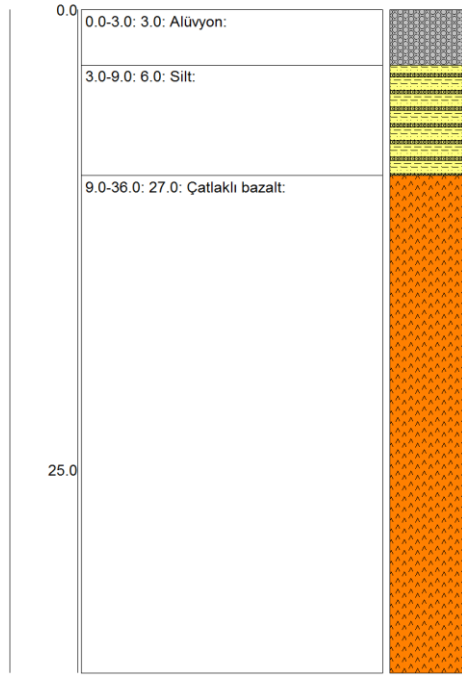
3911-A



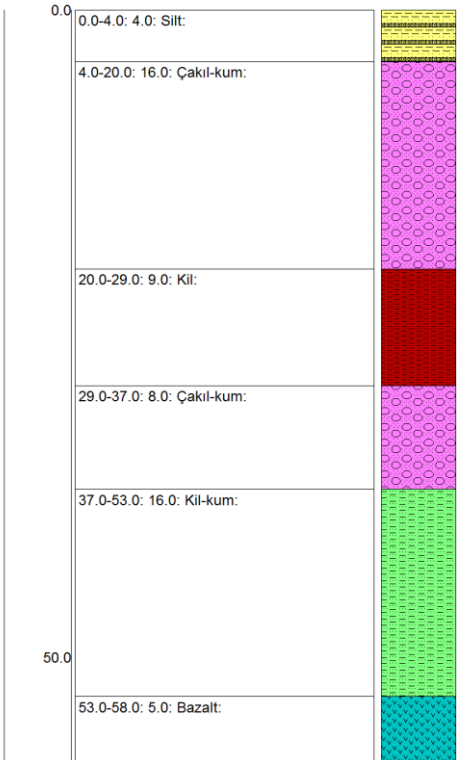
27095-B



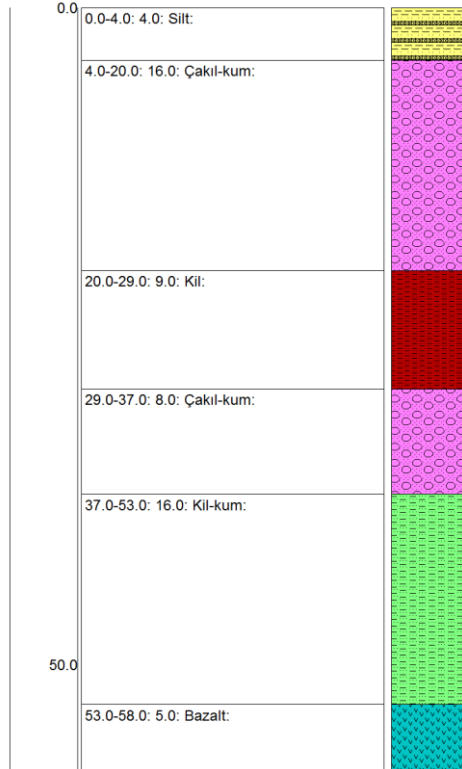
5401



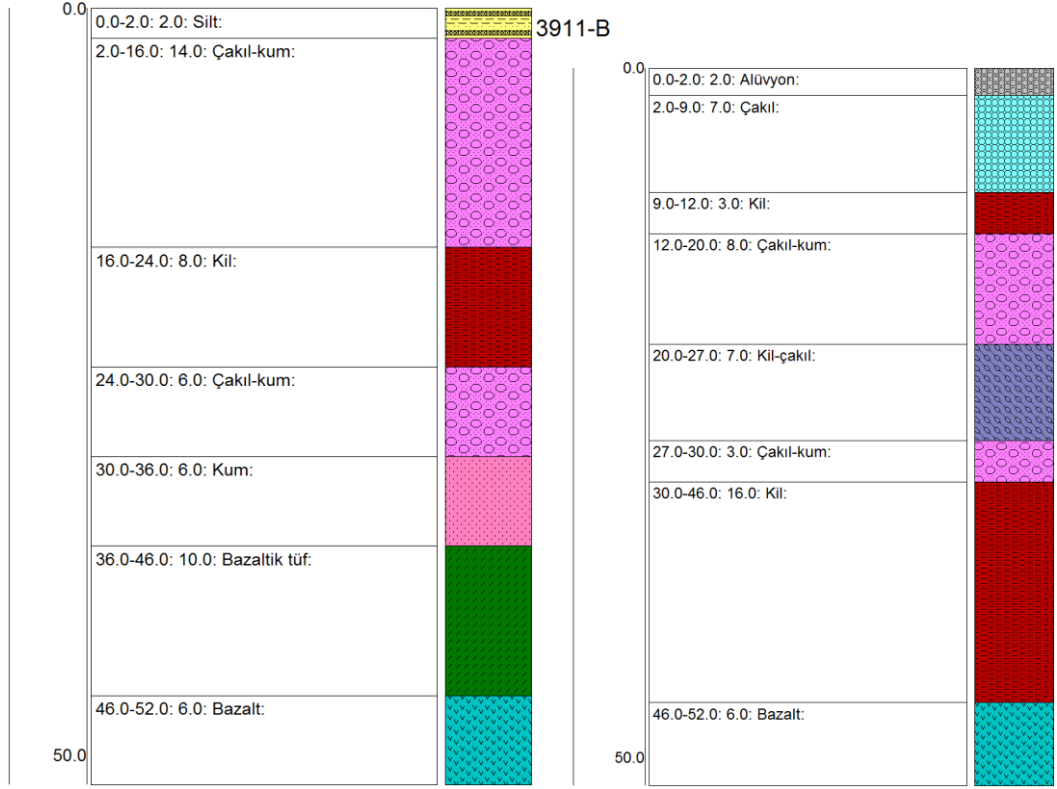
4056-B



4056-A

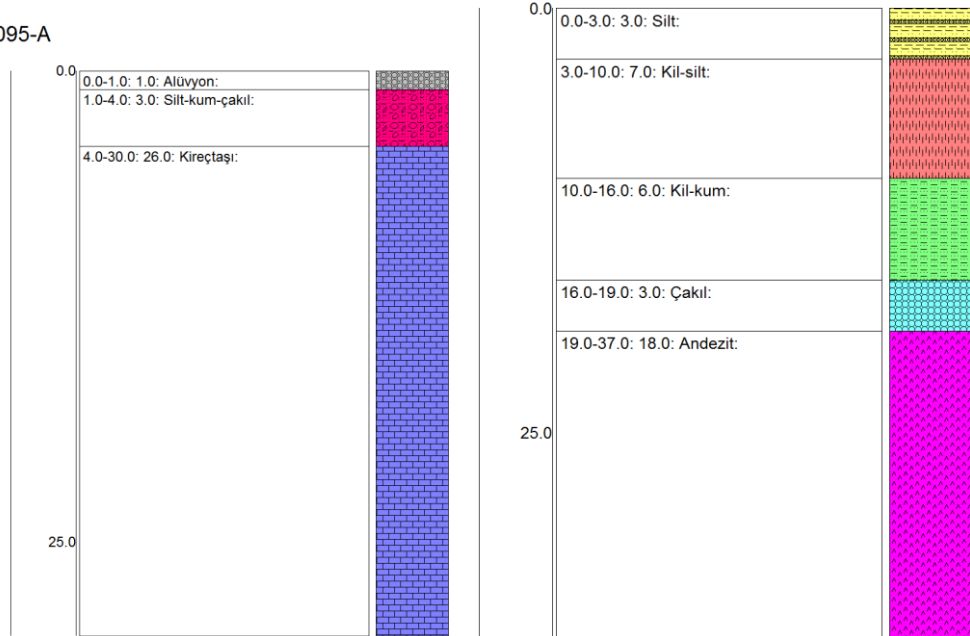


4055

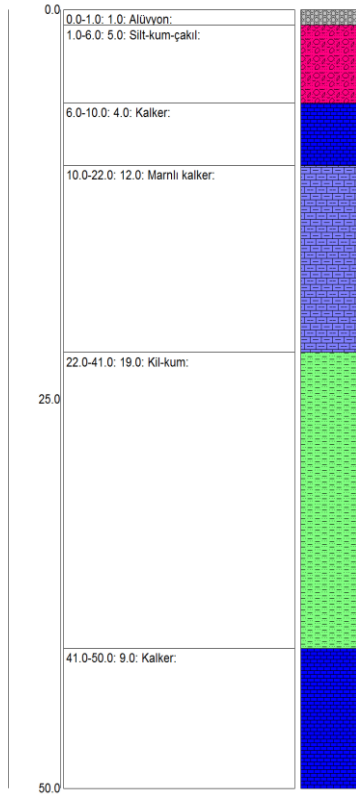


4504

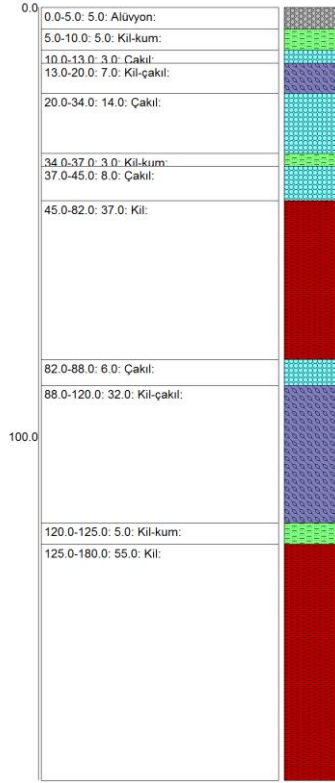
27095-A



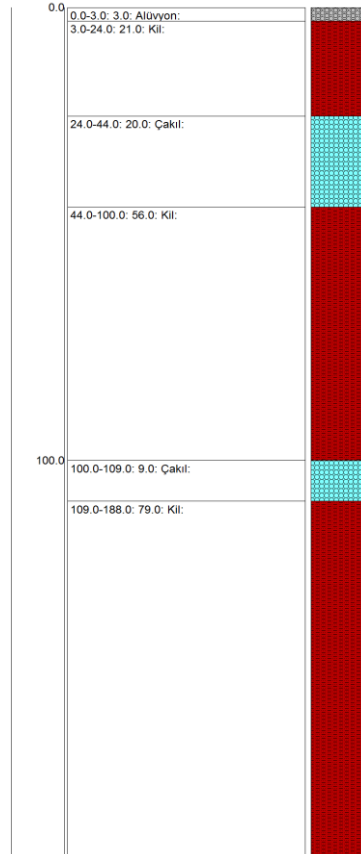
27096



3909

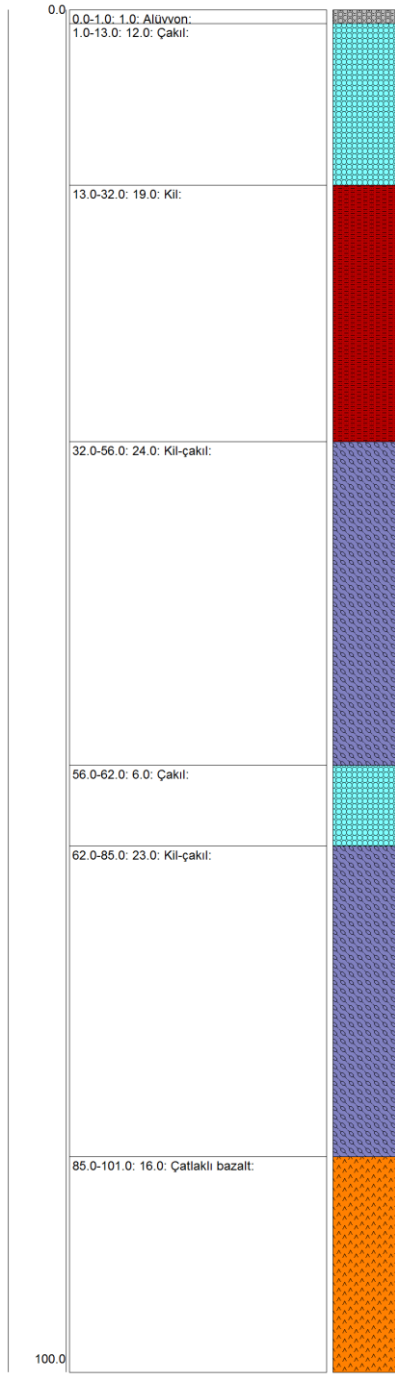


4170-A

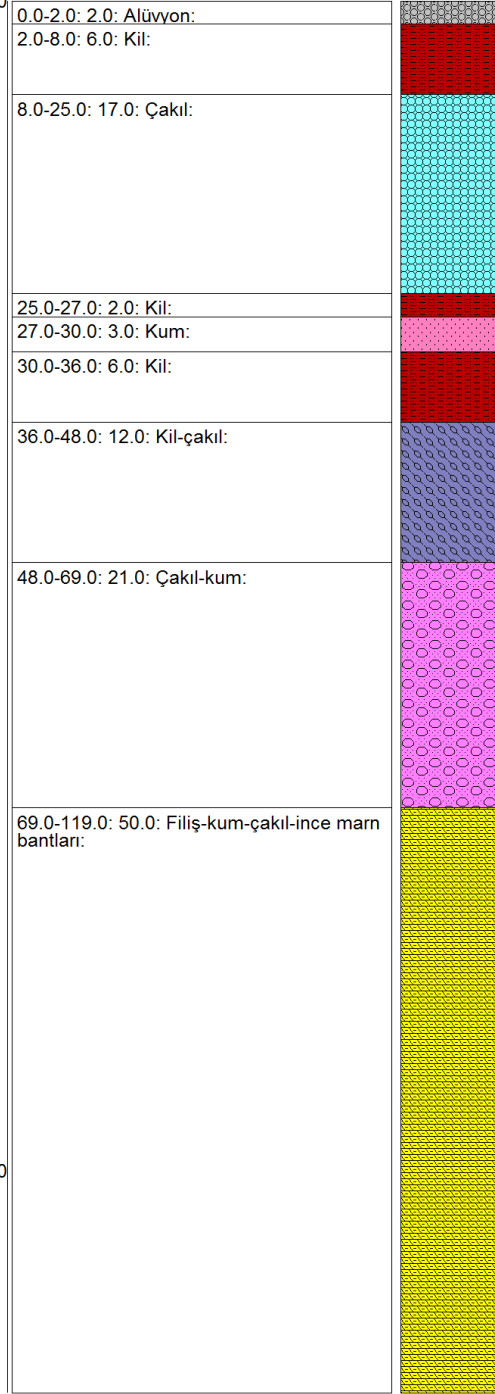


5368

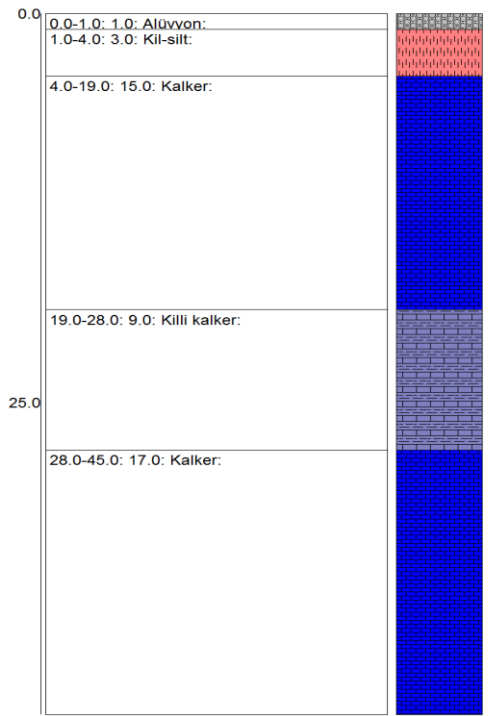
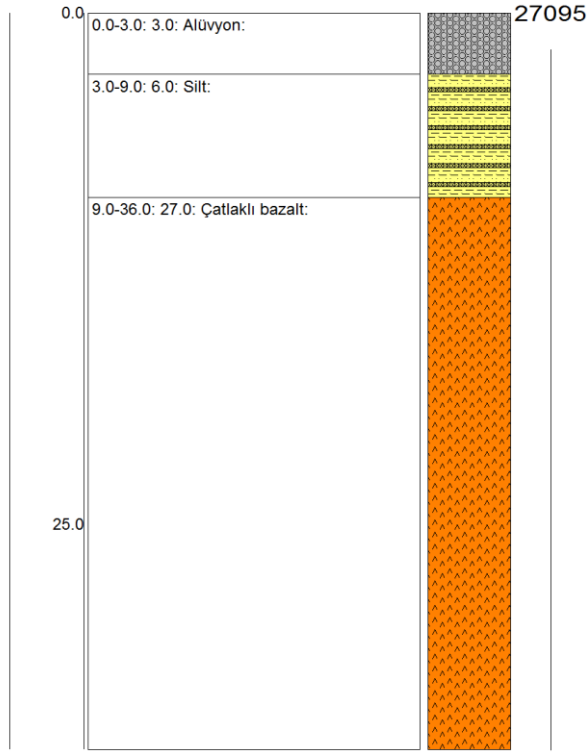
4434-C



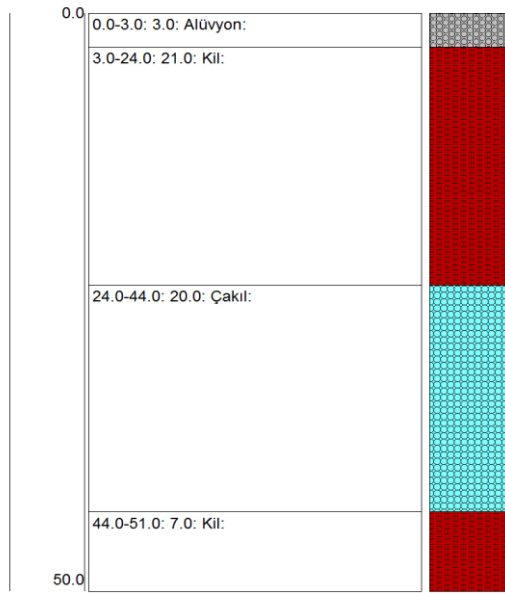
0.0



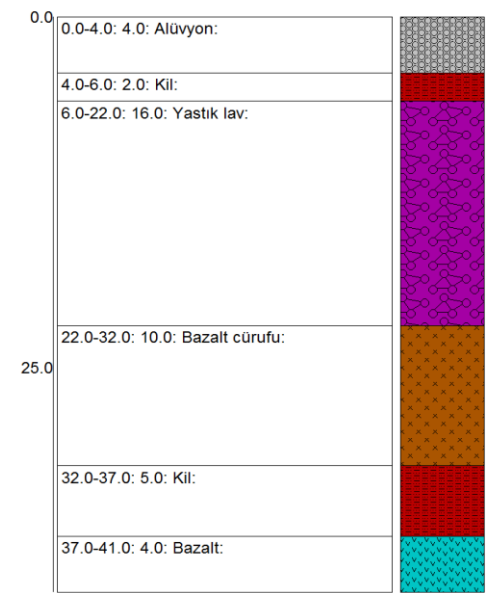
5401-B



4170-B



41983-A

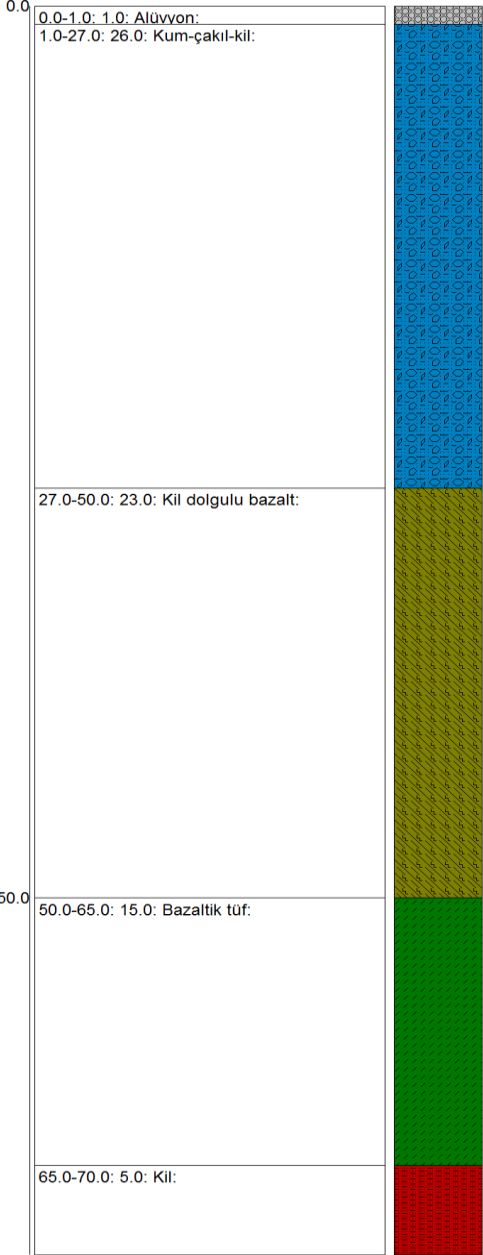
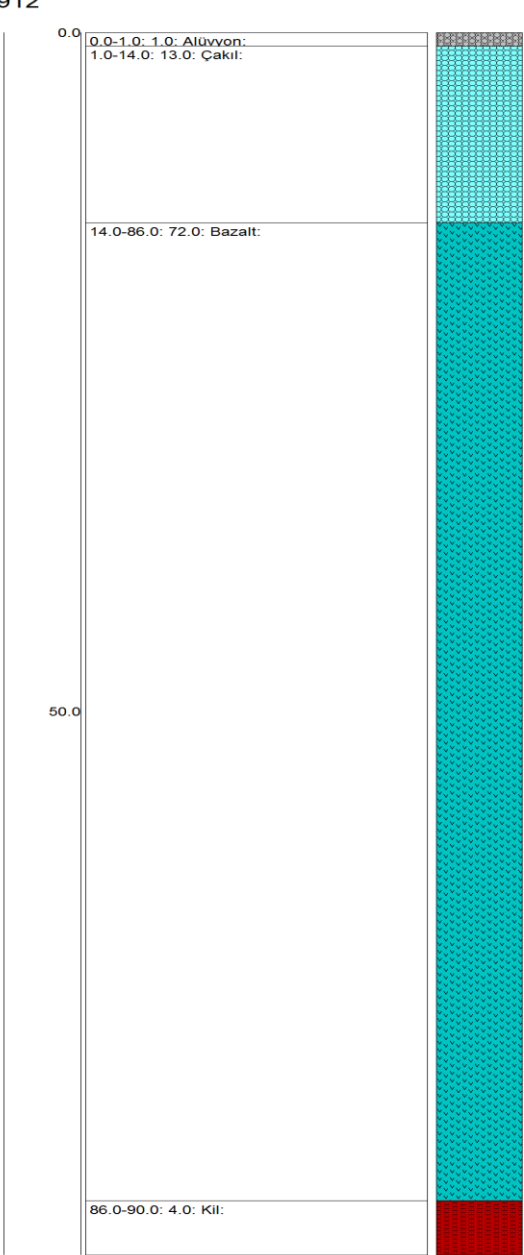


4169

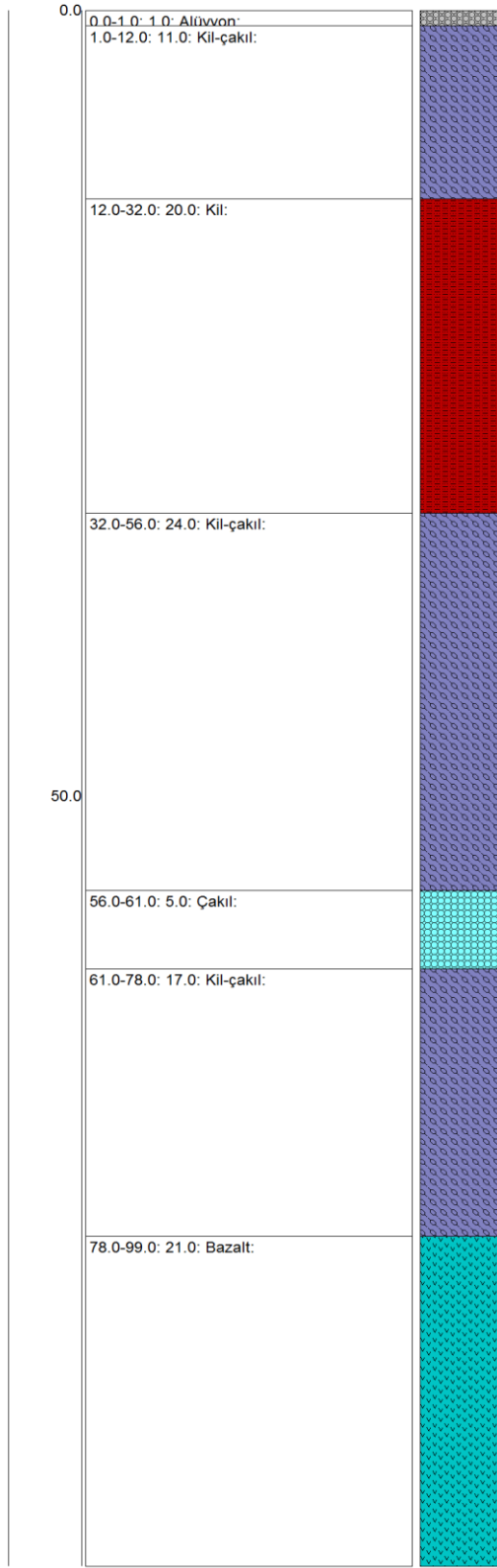


28657

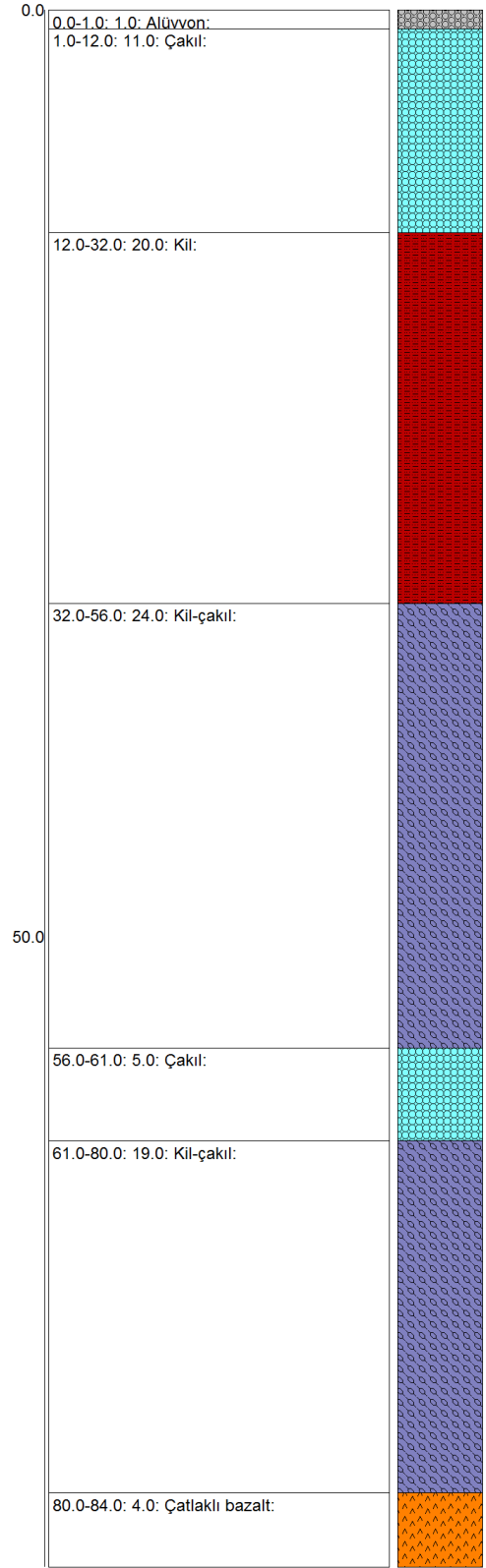
48912



4434-A



4434-B



EK 3. ERCİŞ VE ÇALDIRAN’DA DSİ TARAFINDAN GERÇEKLEŞTİRİLMİŞ DÜŞEY ELEKTRİKSEL SONDAJLARA AİT BİLGİLER

Hat No	Nokta No	Koordınat (UTM)		Yükseklik (m)	Derinlik (m)	Statik seviye (m)
		X	Y			
E-1	E-11	351000	4327000	1740	201	1539
	E-12	352500	4327000	1720	176	1544
	E-13	354000	4327000	1700	221	1479
	E-14	355300	4327000	1705	98	1607
E-2	E-21	351000	4325700	1705	114	1591
	E-22	352000	4325700	1717	167	1550
	E-23	354000	4325700	1681	199	1482
	E-24	355000	4325700	1688	213	1475
	E-25	356000	4325700	1689	123	1566
E-3	E-31	352900	4324375	1707	224	1483
	E-32	354000	4324375	1678	134	1544
	E-33	355000	4324375	1681	123	1558
	E-34	356000	4324375	1678	175	1503
E-4	E-41	351000	4323250	1740	178	1562
	E-42	352000	4323250	1704	205	1499
	E-43	353000	4323250	1695	106	1589
	E-44	354000	4323250	1673	108	1565
	E-45	355000	4323250	1674	156	1518
	E-46	356000	4323250	1673	100	1573
	E-47	357375	4323250	1707	205	1502
E-5	E-51	350000	4322000	1718	133	1585
	E-52	352000	4322000	1695	205	1490
	E-53	353000	4322000	1697	175	1522
	E-54	354000	4322000	1668	182	1486
	E-55	355000	4322000	1669	171	1498
	E-56	356000	4322000	1669	152	1517
	E-57	357000	4322000	1686	148	1538
	E-58	358000	4322000	1696	99	1597
E-9	E-91	359750	4322000	1730	172	1558
	E-91	348600	4317225	1725	174	1551
	E-92	350000	4317225	1681	103	1578
	E-93	351000	4317225	1675	157	1518
	E-94	352000	4317225	1665	98	1567
	E-95	353000	4317225	1659	163	1496
	E-96	354000	4317225	1656	131	1525
	E-97	355500	4317225	1651	61	1590
	E-98	356650	4317225	1651	171	1480
	E-99	357650	4317225	1651	82	1569
E-10	E-102	351000	4316200	1664	170	1494
	E-103	352000	4316200	1661	124	1537
	E-104	353000	4316200	1654	125	1529
	E-105	354000	4316200	1651	124	1527
	E-106	355000	4316200	1651	93	1558
	E-107	356000	4316200	1651	99	1552
E-A	E-A101	351000	4327000	1740	215	1525
	E-A401	351000	4323250	1740	180	1560
	E-A501	350750	4322000	1718	135	1583
	E-A602	351000	4321000	1703	105	1598
	E-A703	351000	4319450	1680	98	1582
	E-A803	351000	4316400	1675	102	1573
E-B	E-B504	354000	4322000	1668	173	1495
	E-B605	354000	4321000	1694	198	1496
	E-B806	354000	4318400	1667	174	1493
	E-B906	354000	4317225	1656	139	1517
	E-B1005	354000	4316200	1651	130	1521
E-C	E-C304	356000	4324375	1678	165	1513
	E-C406	356000	4323250	1673	96	1577
	E-C506	356000	4322000	1669	137	1532
	E-C607	356000	4321000	1660	178	1482
	E-C808	356000	4318400	1653	126	1527
	E-CD4	356000	4317940	1652	106	1546
E-D	E-C1007	356000	4316200	1651	100	1551
	E-D1	351000	4315500	1670	139	1531
	E-D1003	352000	4316200	1661	132	1529
	E-D2	353000	4316680	1552	192	1360
	E-D906	354000	4317225	1656	145	1511
	E-D4	356000	4317940	1653	103	1550
	E-D6	358800	4319000	1658	132	1526
E-D	E-D711	359780	4319500	1662	118	1544
	E-D7	360660	4320000	1710	85	1625

Hat No	Nokta No	Koordinat (UTM)		Yükseklik (m)	Derinlik (m)	Statik seviye (m)
		X	Y			
C-1	C-11	409563	4335916	2055	11	2044
	C-13	412771	4335969	2048	25	2023
	C-15	415637	4336015	2052	25	2027
C-2	C-21	403264	4333919	2075	9	2066
	C-22	404998	4333915	2080	27	2053
	C-23	406456	4333919	2055	27	2028
	C-24	407972	4333934	2045	55	1990
	C-25	409679	4333962	2045	122	1923
	C-26	411040	4333982	2098	80	2018
	C-27	412509	4334022	2040	81	1959
	C-29	415594	4334036	2046	57	1989
C-4	C-41	402830	4330032	2020	49	1971
	C-42	404434	4330027	2032	34	1998
	C-43	405937	4330027	2034	114	1920
	C-44	407328	4330032	2034	89	1945
	C-45	408895	4330064	2050	120	1930
	C-46	410974	4330090	2048	52	1996
	C-47	412650	4330111	2040	4	2036
	C-49	416126	4330132	2047	58	1989
C-5	C-51	403737	4328186	2035	55	1980
	C-53	407214	4328260	2035	77	1958
	C-55	410405	4328318	2085	81	2004
	C-57	413400	4328382	2043	88	1955
	C-59	416702	4328456	2055	148	1907
	C-511	420200	4328535	2074	49	2025
C-6	C-61	403861	4326224	2045	78	1967
	C-62	405385	4326272	2033	25	2008
	C-64	408482	4326341	2032	25	2007
	C-66	411884	4326410	2032	55	1977
	C-68	415075	4326473	2046	118	1928
	C-69	416583	4326521	2053	115	1938
	C-610	418319	4326558	2067	110	1957
	C-611	420379	4326605	2080	68	2012
C-7	C-72	405845	4324303	2033	4	2029
	C-73	407314	4324337	2033	39	1994
	C-74	408835	4324383	2033	67	1966
	C-75	410409	4324442	2033	119	1914
	C-76	411891	4324442	2036	137	1899
	C-77	413350	4324464	2042	101	1941
	C-78	414922	4324503	2050	109	1941
C-8	C-81	406158	4322366	2050	100	1950
	C-82	407857	4322413	2034	112	1922
	C-83	409471	4322440	2033	125	1908
	C-84	411065	4322466	2034	122	1912
	C-85	412748	4322498	2038	125	1913
	C-86	414885	4322540	2048	127	1921
	C-91	406812	4320440	2048	31	2017
C-9	C-93	4100495	4320499	2035	43	1992
	C-95	413299	4320551	2037	63	1974
	C-96	414871	4320594	2044	125	1919
	C-97	416331	4320615	2065	115	1950
C-10	C-102	409302	4318505	3055	131	2924
	C-103	410900	4318542	2060	119	1941
	C-104	413070	4318579	2100	110	1990
C-A	C-A203	406475	4333899	2055	14	2041
	C-A303	406966	4331951	2032	42	1990
	C-A404	407331	4330024	2034	99	1935
	C-A503	407215	4328246	2035	89	1946
	C-A703	407310	4324331	2033	39	1994
	C-A802	407855	4322388	2034	108	1926
	C-A1002	409316	4318489	2055	106	1949
C-B	C-B405	409685	4333954	2045	57	1988
	C-B305	410141	332018	2040	15	2025
	C-B505	410407	4328311	2035	75	1960
	C-B705	410419	4324398	2033	116	1917
	C-B903	410498	4320496	2035	99	1936
	C-B1003	410899	4318536	2060	114	1946
C-C	C-C307	413709	4332064	2038	30	2008
	C-C507	413411	4328381	2043	90	1953
	C-C707	413358	4324456	2042	101	1941
	C-C905	413307	4320547	2037	54	1983
	C-C1004	413072	4318574	2100	112	1988
C-D	C-D105	415649	4336010	2052	25	2027
	C-D209	415601	4334036	2046	23	2023
	C-D608	415085	4326464	2046	121	1925
	C-D708	414926	4324500	2050	106	1944
	C-D806	414887	4322535	2048	119	1929
	C-D906	414875	4320583	2044	140	1904
C-E	C-E309	417034	4332087	2054	41	2013
	C-E509	416706	4328444	2055	114	1941
	C-E609	416598	4326510	2053	143	1910

EK 4. SU KİMYASI ÇALIŞMALARI KAPSAMINDA BAZI İYONLAR ARASINDAKİ İLİŞKİYİ GÖSTEREN GRAFİKLER

