

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BİNGÖL MERKEZ VE GENÇ İLÇESİ YERALTI SU SEVİYESİNİN VE
KALİTESİNİN JEOFİZİKSEL VE JEOKİMYASAL YÖNTEMLERLE
BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS

Nurettin KOŞAN

HAZİRAN-2023
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİNGÖL MERKEZ VE GENÇ İLÇESİ YERALTI SU SEVİYESİNİN VE
KALİTESİNİN JEOFİZİKSEL VE JEOKİMYASAL YÖNTEMLERLE
BELİRLENMESİ**

**DETERMINATION OF GROUND WATER LEVEL AND QUALITY IN
BINGOL CENTRAL AND GENC DISTRICT BY GEOPHYSICAL AND
GEOCHEMICAL METHODS**

YÜKSEK LİSANS

Nurettin KOŞAN

**HAZİRAN-2023
GÜMÜŞHANE**



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİNGÖL MERKEZ VE GENÇ İLÇESİ YERALTI SU SEVİYESİNİN VE
KALİTESİNİN JEOFİZİKSEL VE JEOKİMYASAL YÖNTEMLERLE
BELİRLENMESİ**

**DETERMINATION OF GROUND WATER LEVEL AND QUALITY IN
BINGOL CENTRAL AND GENC DISTRICT BY GEOPHYSICAL AND
GEOCEMICAL METHODS**

YÜKSEK LİSANS

Nurettin KOŞAN

Danışman: Prof. Dr. Enver AKARYALI

2. Danışman: Prof. Dr. Nafiz MADEN

HAZİRAN-2023

GÜMÜŞHANE

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Bingöl Merkez ve Genç İlçesi Yeraltı Su Seviyesinin ve Kalitesinin Jeofiziksel ve Jeokimyasal Yöntemlerle Belirlenmesi**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğum intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kısıtlara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

12/06/2023

Nurettin KOŞAN

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlananmış olup “22.E0115.07.02” proje kodu ile GÜBAP2907 Lisansüstü Öğrenci Destek Programı kapsamında Gümüşhane Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü'nce desteklenmiştir.

Çalışmaların her aşamasında bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım danışman hocam Prof. Dr. Enver AKARYALI ve 2. Danışman hocam Prof. Dr. Nafiz MADEN'e candan teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince her türlü desteğini esirgemeyen Doç. Dr. Mehmet Ali GÜCER'e teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmaları sırasında yardımlarından dolayı değerli meslektaşlarım, Jeoloji Yüksek Mühendisi Sabahattin KOÇ ve KOŞAN SONDAJ sahibi kardeşim Ahmet KOŞAN'a teşekkür ederim..

Çalışmalarım sırasında bana her zaman destek olan ve bugünlere gelmeme vesile olan aileme çok teşekkür ederim.

Nurettin KOŞAN
GÜMÜŞHANE – 2023

ÖZET

Bu çalışmada, Bingöl Merkez ve Genç İlçesi Yeraltı Su Seviyesinin ve Kalitesinin Jeofiziksel ve Jeokimyasal Yöntemlerle Belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma, Schlumberger elektrot dizilimine göre DES (Düşey Elektrik Sondaj) yöntemi ile incelenmiştir. Bingöl İli Merkez’de 6, Genç İlçesi’nde 21 nokta olmak üzere toplamda 27 noktada DES ölçümleri yapılmıştır. Arazide elde edilen düşey elektrik sondaj verilerinin yorumlanmasında IPI2WIN programında tabakaların öz direnç değerleri, derinlikleri ve kalınlıklarının belirlenmesi, alanın hidrojeolojik verileri belirlenmiştir. Sondaj kuyularının açılması sonrasında kuyuların su seviyeleri ve debileri tespit edilmiş, SURFER 10 programı kullanılarak yeraltı suyu akış yönü haritası, yeraltı suyu debi haritası ve yeraltı suyu derinliği haritaları oluşturulmuştur. Bu çalışmada sondaj kuyularından alınan su örneklerinin pH değerleri, Elektriksel iletken ve sertlik değerlerinin TS 266 (pH; 6-9) ve WHO (6.5-9.2) içme suyu standartlarına göre I. sınıf (çok iyi) kalitede olduğu belirlenmiştir. Bingöl il merkezinden ve Genç ilçesinden derlenen suların Oligoklorürlü sular, normal klorürlü sular, normal sülfatlı sular, hipokarbonatlı sular sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir. Piper diyagramına göre inceleme alanındaki suların, bikarbonatlı ve magnezyumlu, düşük sülfat ve klor içeren, magnezyumlu ve kalsiyum bileşimde olduğu belirlenmiştir. Kloroalkalin indeksi I ve kloroalkalin indeksi II’nin negatif olarak hesaplandığı sularda bulunan Mg^{+2} ve Ca^{+2} katyonları ile kayalarındaki Na^{+} ve K^{+} katyonlarının yer değiştirdiği, sularda karbonat ve silikat ayrışmasından etkili olduğu belirlenmiştir. Ağır metal analiz sonuçlarına göre, su numunelerinin Dünya Sağlık Örgütü ve TS266 standartlarına göre tüm örneklerde standartları sağladığı, elektriksel iletkenlik, sertlik, Na^{+} , Cl^{-} ve SO_4^{-2} iyonları açısından suların; çok iyi kaliteli sular sınıfında yer aldığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bingöl, Jeofizik, Düşey elektrik sondajı, Elektriksel iletkenlik, Su kalitesi

SUMMARY

In this study, it is aimed to determine the Groundwater Level and Quality of Bingöl Center and Genç District by Geophysical and Geochemical Methods. The study was investigated by DES (Vertical Electric Drilling) method according to the Schlumberger electrode array. DES measurements were made at 27 points in total, 6 in Bingöl City Center and 21 points in Genç District. In the interpretation of the vertical electric drilling data obtained in the field, the resistivity values, depths and thicknesses of the layers were determined in the IPI2WIN program, and the hydrogeological data of the area were determined. After drilling the boreholes, the water levels and flow rates of the wells were determined, and groundwater flow direction map, groundwater flow map and groundwater depth maps were created using the SURFER 10 program. In this study, pH values, electrical conductivity and hardness values of water samples taken from boreholes were determined to be of Class I (very good) quality according to TS 266 (pH; 6-9) and WHO (6.5-9.2) drinking water standards. It has been determined that the waters collected from the city center of Bingöl and Genç district are in the class of Oligochlorinated waters, normal chloride waters, normal sulfated waters, and hypocarbonate waters. According to the Piper diagram, it has been determined that the waters in the study area have bicarbonate and magnesium, low sulfate and chlorine content, magnesium and calcium composition. It was determined that the Mg^{+2} and Ca^{+2} cations in the waters where the chloroalkaline index I and the chloroalkaline index II were calculated as negative and the Na^{+} and K^{+} cations in the rocks were replaced, and it was effective from the carbonate and silicate decomposition in the waters. According to the heavy metal analysis results, the water samples met the standards in all samples according to the World Health Organization and TS266 standards, in terms of electrical conductivity, hardness, Na^{+} , Cl^{-} and SO_4^{-2} ions; It has been determined that it is in the class of very good quality waters.

Keywords: Bingöl, Geophysics, Vertical electrical sounding, Electrical conductivity, Water quality

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	IV
TEŞEKKÜR	V
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
TABLOLAR DİZİNİ.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. İnceleme Alanının Konumu	2
1.3. Çalışmanın Amacı	2
1.4. Bölgesel Jeoloji	3
1.5. Önceki Çalışmalar	6
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	9
2.1. Giriş	9
2.2. Arazi Çalışması	10
2.2.1. Rezistivite (Elektrik Özdirenç) Ölçümleri.....	11
2.3. Laboratuvar Çalışmaları	13
2.4. Büro Çalışmaları.....	14
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	15
3.1. Çalışma Alanının Stratigrafisi	15
3.1.1. Bitlis Metamorfikleri	18
3.1.2. Guleman Ofiyoliti.....	19
3.1.3. Yüksekova Karmaşığı	19
3.1.4. Maden Karmaşığı	19
3.1.5. Gevlaçayı Formasyonu	19
3.1.6. Lice Formasyonu	20
3.1.7. Adilcevaz Formasyonu	20
3.1.8. Solhan Formasyonu	20
3.1.9. Palu Formasyonu	21
3.2. Rezistivite Yöntemiyle Yeraltı Sularının Aranması.....	21

3.2.1 Giriş	21
3.2.2 Bingöl İli Merkez Rezistivite Çalışmaları	23
3.2.3 Bingöl İli Genç İlçesi Rezistivite Çalışmaları	27
3.3. Suların Hidrojeokimyasal Karakteristikleri.....	31
3.4. Hidrojeokimyasal Süreçler	38
3.5. Potansiyel Toksik Element İçeriklerinin Değerlendirilmesi	40
3.6. Suların İçilebilirliği ve Kalitesi	42
4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	43
KAYNAKÇA	46
ÖZGEÇMİŞ.....	49



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Dünya Sağlık Örgütü ve TS-266 Standartına göre sularda izin verilen maksimum konsantrasyon değerleri.....	3
Tablo 2. Bingöl İli Merkez ve Genç İlçesi DES noktalarından alınan su örneklerinin yerleri ve konumları.	10
Tablo 3. Bingöl İli Merkez ve Genç İlçesi DES noktalarında açılmış sondaj kuyularının derinlikleri, dinamik seviyeleri ve debileri.	23
Tablo 4. Su örneklerinin analiz sonuçları.	32
Tablo 5. Toplam kalıcı su sertliği tablosu (Lenntech, 2014).....	33
Tablo 6. Klorür, sülfat ve karbonat içeriklerine göre suların sınıflandırılması	35
Tablo 7. Piper diyagramında kullanılan anyon ve katyonların değerleri (meq/L)	36
Tablo 8. Korelasyon analiz sonuçları	37
Tablo 9. İz element analiz ($\mu\text{g/L}$) sonuçları (ösa: ölçüm sınırı altında)	41

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	A) Doğu Akdeniz'in Aktif Tektoniğinin Ana Unsurları.....	5
Şekil 2.	Bingöl Merkez ve Genç İlçesi DES noktaları ve su örneklerinin konumu.....	9
Şekil 3.	Schlumberger ölçü sistemi.....	12
Şekil 4.	Düşey Elektrik Sondaj (DES) yöntemi ile arazi ölçümleri.....	13
Şekil 5.	Bingöl İli Merkez Jeolojik Haritası.....	15
Şekil 6.	Bingöl Ilıca Bölgesine ait genelleştirilmiş dikme kesiti.....	16
Şekil 7.	Bingöl İli Genç İlçesi Jeolojik Haritası.....	17
Şekil 8.	Genç İlçesi güneyinde yer alan birimlerin stratigrafik dikme kesiti.....	17
Şekil 9.	Bingöl İli Merkez ve Genç İlçesi Jeolojik Haritası.....	22
Şekil 10.	Bingöl İli Merkez araziden elde edilen DES noktalarından görünür özdirenç arazi eğrisi ve tabaka parametreleri.....	24
Şekil 11.	Bingöl İli Merkezde açılan sondajlardan elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş yeraltı suyu akış yönü haritası.....	25
Şekil 12.	Bingöl İli Merkezde açılan sondajlardan elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş yeraltı suyu derinliği haritası.....	25
Şekil 13.	Bingöl İli Merkezde açılan sondajlardan elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş yeraltı suyu debisi haritası.....	26
Şekil 14.	Bingöl İli Genç İlçesi araziden elde edilen DES noktalarından görünür özdirenç arazi eğrisi ve tabaka parametreleri.....	28
Şekil 15.	Bingöl İli Genç İlçesi'nde açılan sondajlardan elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş yeraltı suyu akış yönü haritası.....	29
Şekil 16.	Bingöl İli Genç İlçesi'nde açılan sondajlardan elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş yeraltı suyu derinliği haritası.....	30
Şekil 17.	Bingöl İli Genç İlçesi'nde açılan sondajlardan elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş yeraltı suyu debisi haritası.....	30
Şekil 18.	Çalışma alanı örneklerinin Schoeller diyagramı.....	35
Şekil 19.	Örneklerin Piper diyagramındaki dağılımı.....	37
Şekil 20.	Mg ⁺² ve HCO ₃ ⁻ iyonları arasındaki pozitif korelasyon.....	38
Şekil 21.	Örneklerin kloroalkalin indekslerine (CAI-I ve CAI-II) göre dağılımı.....	39
Şekil 22.	Suların ayrışma diyagramları.....	40
Şekil 23.	Su örneklerinin potansiyel toksik element içeriklerinin dağılımı.....	41
Şekil 24.	Su örneklerinin Schoeller içilebilirlik diyagramındaki konumları.....	42

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

pH	: İletkenlik
EC	: Elektriksel İletkenlik
NO ₃	: Nitrat
NO ₂	: Nitrit
B	: Bor
Ni	: Nikel
As	: Arsenik
Cd	: Kadmiyum
F	: Florür
Pb	: Kurşun
CN	: Siyanür
Br	: Bromat
Se	: Selenyum
Sb	: Antimuan
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
Mn	: Mangan
Al	: Alüminyum
NH ₄	: Amonyum
Na	: Sodyum
LOD	: Gözlenebilme sınırı
Ca	: Kalsiyum
LOQ	: Tayin sınırı
Cl	: Klorür
SO ₄	: Sülfat
CO ₃	: Karbonat
HCO ₃	: Bikarbonat
H ₂ S	: Hidrojen sülfür
meq/l	: Miliekivan/litre
Fr	: Fransız su sertliği
DES	: Düşey Elektrik Sondak
ρ_a	: Görünür rezistivite
mg/l	: Miligram/litre
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
ΔV	: Ölçülen potansiyel farkı
I	: Yere uygulanan akım
AB/2	: Akım elektrotları yarı açıklığı
MN/2	: Pot elektrotları yarı açıklığı
YAS	: Yer altı su seviyesi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Başta insanoğlu olmak üzere su, tüm canlıların yaşamları boyunca her evrede hayatlarını sürdürmeleri için gerekli bir besindir (Varol ve Şekerci 2018). Her yerleşim yerinde akarsu, göl ve yeraltı kaynakları bulunmadığından dolayı, yeraltı sularından faydalanmaya gidilmektedir (Gelişi ve Babacan 2021). Özellikle yeraltı suları aramaları kurak ve yarı kurak bölgelerde eski yıllardan itibaren insanların ilgisini çekmektedir. Yeraltı kaynaklarından yararlanmak için hidrojeolojik çalışmalarda jeofizik yöntemler 1960'lı yıllardan itibaren dünyada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Oudeika 2021). Jeolojik ve hidrojeolojik çalışmalarla birlikte jeofizik uygulamalar yeraltındaki sığ derinliklerde birimlerin hidrodinamik özellikleri tespit edilir. Jeofizik araştırmalarda en çok elektrik ve elektromanyetik yöntemler kullanılmaktadır (Babacan 2021). Yerin birkaç yüz metre derinliğine kadar kullanılabilen bu yöntemler ile yerin yeraltı suyu derinliği, akım yönü ve kalınlıklarının haritalanması, tektonik, karstik yapı ve sıvı göç yolları belirlenir ve haritaları hazırlanarak 2D ve 3D görüntüleme çalışmaları yapılabilir. Yeraltı suyu çalışmalarında kullanılacak jeofizik çalışma yöntemleri alanın jeolojik, topoğrafik, hidrojeolojik ve çevresel özelliklerine göre değişir.

Bu tezde; Bingöl Merkez ve Genç İlçesi yeraltı su seviyesinin jeolojik-jeofiziksel yöntemlerle belirlenmesi yönünde çalışmalar yapılmıştır. Bingöl Merkez ve Genç İlçesi yer altı su seviyeleri belirlemek için DES yöntemi uygulanmıştır. Çalışmada Bingöl Merkezde 6 noktada, Genç İlçesinde 21 noktada ve toplamda 27 noktada DES ölçüleri alınmıştır. Alınan ölçülerde ($AB/2$) yarı elektrot açıklığı 80m-200m arasında değişmektedir. Arazide derlenen verilerin görünür öz dirençleri IPI2WIN bilgisayar programında değerlendirilmiştir. DES noktasındaki tabakaların gerçek öz direnç değerleri ile tabaka kalınlıkları ve tektonik yapılar incelenmiştir. Yapılan ölçümler sonucu yer altı suyu bakımından olumsuz olan DES noktalarına bu çalışmada yer verilmemiştir. DES çalışması sonucu yeraltı suyu bakımından uygun olan noktalarda su sondaj çalışmaları yapılarak, çalışma esnasında yer altı suyu tablası seviyesi ve geçilen birimlerin korelasyonu yapılmıştır. Sondaj çalışması sonrası sondaj kuyularından su numuneleri alınarak gerekli analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucu içme sularının TS-266 ve WHO standartlarına göre karşılaştırmaları gerçekleştirilmiştir.

1.2. İnceleme Alanının Konumu

Bingöl İli Merkez ve Genç İlçesi Doğu Anadolu Bölgesinde 1/100.000 ölçekli Elazığ K44-K45 paftalarında yer almaktadır. 1/25.000 ölçekli harita ise çalışma yapılan yerlerde Bingöl İli Merkez K45a1, K45a2, K45a4, K45b2 ve Genç İlçesi K45b4, K45c2, K45c3, K45c4, K45d1, K45d2, K45d4 paftalarında yer almaktadır. Bingöl il Merkezine ulaşım, Bingöl – Elazığ, Bingöl – Muş, Bingöl – Diyarbakır, Bingöl – Erzurum devlet kara yolu ile Genç ilçesine ise Bingöl – Diyarbakır devlet kara yolu ve Elazığ – Tatvan demiryolu ile ulaşımı sağlanmaktadır.

1.3. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, Bingöl Merkez ve Genç İlçesi'nde toplamda 27 adet köy ve mezralarda Düşey Elektrik Sondaj (DES) çalışması yapılarak, yeraltı su seviyeleri ve debileri belirlenmiştir. Artan sondaj maliyetlerinden dolayı Türkiye'de yeraltı suları aramalarında Düşey Elektrik Sondaj ve Rezistivitenin ucuz olması, kullanımının rahat olması ve elektrik iletkenlik temeline dayandığı için en çok kullanılan jeofizik yöntemlerdendir. Düşey Elektrik Sondaj çalışmasında ölçü düzeni Schlumberger elektrot dizilimi kullanılarak yeraltı katman kalınlıkları ve öz direnç değerleri yüzeyden yapılan potansiyel ölçümler ile belirlenmiştir. Çalışmada, DES yapılan noktalarda tabakaların kalınlıkları, tabakaların öz direnç değerleri ve zeminde akifer olabilecek seviyeler IPI2WIN bilgisayar programı ile tespiti yapılmıştır. Yeraltı suyu yönünden uygun olan 27 noktada sondaj çalışması yapılmış, sondaj kuyusu verileri ve Düşey Elektrik Sondaj verilerinin uyumlu olup olmadığı amaçlanmıştır.

Sondaj çalışması sonrası 14 adet kuyudan su numuneleri alınmış bu numuneler üzerinde anyon ve katyon ölçümlerinin pH, sertlik (F°) ve elektriksel iletkenlik (EI) gibi fiziksel ve kimyasal parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen verilerle suların silikat ayrışması, karbonat ve toksik element içerikleri değerlendirilmiştir. Dünya Sağlık Örgütü ve TS-266 standartına göre suların kalitesi ve içilebilirliği Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. Dünya Sağlık Örgütü ve TS-266 Standartına göre sularda izin verilen maksimum konsantrasyon değerleri.

Standartlar	Birimi	WHO	TS 266
		Dünya Sağlık Teşkilatı	Türk Standartları Enstitüsü
pH		6.5-8.5	6.5-9.5
İletkenlik	µS/cm	2500	2500
Nitrat (NO ₃)	mg/L	50	50
Nitrit (NO ₂)	mg/L	0,5	0,5
Bor (B)	mg/L	2	1
Nikel (Ni)	mg/L	0,02	0,02
Arsenik (As)	mg/L	0,01	0,01
Kadmiyum (Cd)	mg/L	0,003	0,005
Florür (F)	mg/L	1,5	1,5
Kurşun (Pb)	mg/L	0,01	0,01
Siyanür (CN)	mg/L	0,07	0,05
Bromat (Br)	mg/L	0,025	0,01
Benzen (C ₆ H ₆)	mg/L	0,01	0,001
Selenyum (Se)	mg/L	0,01	0,01
Antimuan (Sb)	mg/L	0,005	0,005
Bakır (Cu)	mg/L	2	2
Demir (Fe)	mg/L	0,3	0,2
Mangan (Mn)	mg/L	0,1	0,05
Alüminyum (Al)	mg/L	0,2	0,2
Amonyum (NH ₄)	mg/L	1,5	0,5
Sodyum (Na)	mg/L	200	200
Kalsiyum (Ca)	mg/L	200	75
Klorür (Cl)	mg/L	250	250
Sülfat (SO ₄)	mg/L	250	250

1.4. Bölgesel Jeoloji

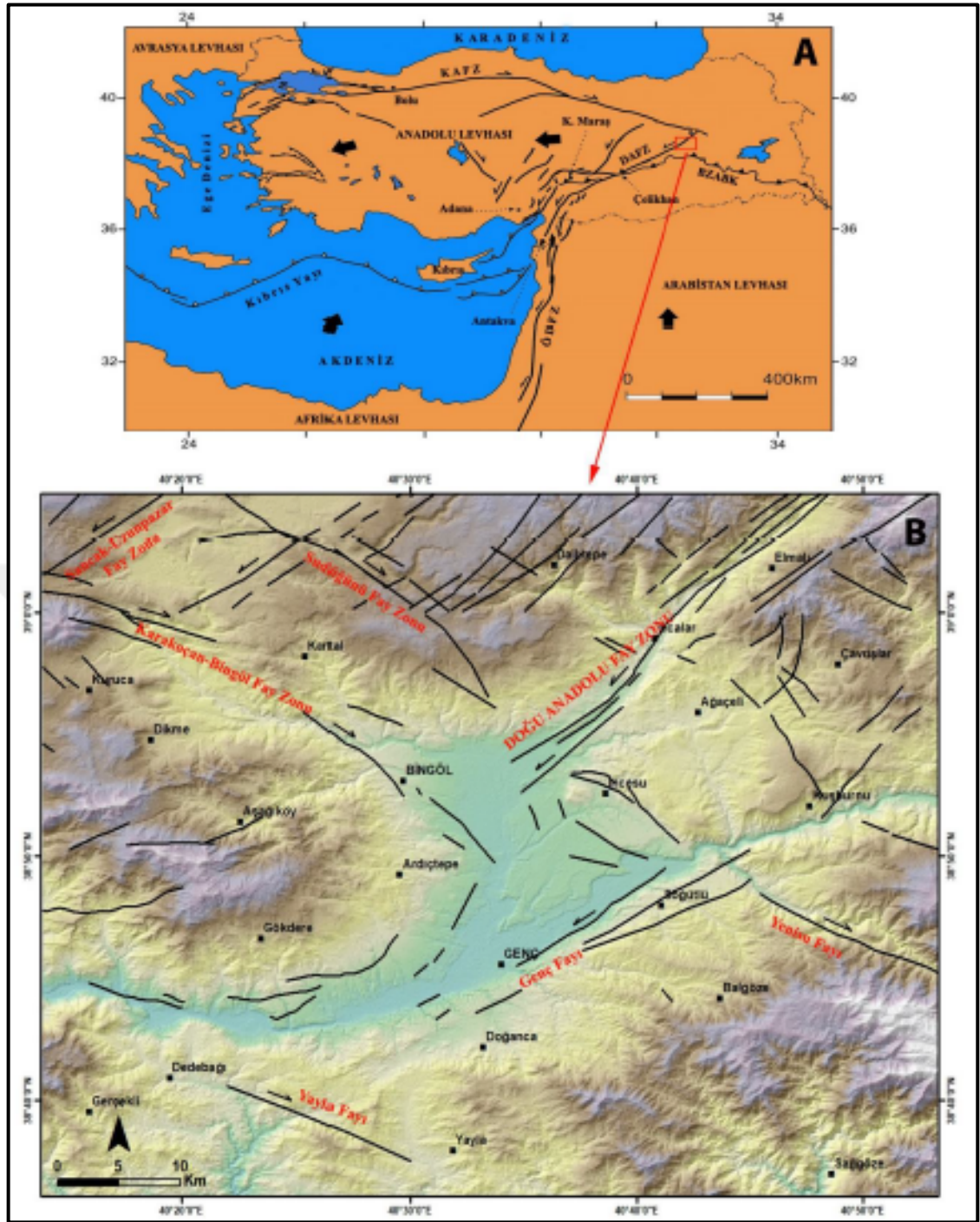
Bingöl havzasının jeolojik gelişiminde başlıca dört kayaç topluluğundan söz edilmektedir (Şekil 5,7). Bölgenin en yaşlı topluluğu Paleozoyik-Alt Mesozoyik Bitlis Metamorfik Kuşağı meydana getirmektedir (Kıranşan vd. (2021)).

Bitlis Metamorfikleri çoğunlukla, Bingöl'ün doğusu ve güneyi ile Genç İlçesinde yüzeyleme vermektedir (Şekil 5,7). Bitlis metamorfikleri üst topluluk ve alt topluluk adı verilen ve aralarında bir uyumsuzluk yüzeyiyle ayrılmış kaya gruplarından oluşmaktadır. Gnays ve bunları kesen granitlerden oluşan alt topluluk yaşı Prekambriyen olarak düşünülmekte, mikaşist ve mermerlerden oluşan üst topluluk ise olası Slirüyen – Kretase yaşlıdır (Erdoğan ve Dora 1983).

Bitlis Metamorfikleri üzerine tektonik dokanakla gelen, Geç Kretase yaşı (Kampaniyen-Erken Maastrichtiyen) yaşı Yüksekova Karmaşığı ofiyolitik melanj şeklinde İkinci dönem kayaçları olarak temsil edilirler (Ketin, 1977; Demirtaşlı ve Pisoni, 1965).

Üçüncü dönem kayaçları, Yüksekova Karmaşığının (ofiyolitik melanjı) üzerine Eosen-Erken Miyosen yaşı denizel sedimanter istif uyumsuz olarak gelir (Kıranşan vd. 2021). Geç Miyosenden günümüze kadar devam eden karasal ortam çökelleri Solhan Formasyonu (Vokano-sedimanter çökeller), Pliyo-Kuvaterner yaşı kırıntılı sedimanterler ve alüvyonlarla temsil edilen Neotektonik dönemde çökelmiş olan dördüncü dönem kayaçlardır (Şaroğlu ve Yılmaz, 1984; Sümengen, 2011).

Bingöl havzasında ve çevresinde Neotektonik dönemde kıta-kıta çarpışması (Şengör, 1980) sonucu sıkışma tektoniğine bağlı olarak faylanmalar, açılma çatlakları, bindirmeler ve kıvrımlar meydana gelmiştir (Şekil 1) (Kıranşan vd. (2021). Bingöl Havzası'nın tektonik gelişimini etkileyen faylar, Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), Bingöl Karakoçan Fay Zonu, Sancak-Uzunpınar ve Sudüğünü Fay Zonudur (Şekil 1). DAFZ'nun segmentleri olan Göynük ve Genç segmentleri Bingöl sınırları içinden geçmektedir. Karlıova'da bağlanan DAFZ ve KAFZ ile birleşen Göynük Fayı, 22 Mayıs 1971 Bingöl Depremi ile bu fayın tespiti yapılmış (Arpat ve Şaroğlu, 1972), Seymen ve Aydın (1972) tarafından Göynük Fayı ismi verilmiştir (Şekil 1). Bu fay Karlıova Kargapazar Köyü'nden Bingöl'e yaklaşık 70 km uzunluğa sahip olup, morfolojik ve jeolojik olarak çok iyi görülmektedir (Arpat ve Şaroğlu, 1972; Seymen ve Aydın, 1972). DAFZ'nun diğer segmenti olan Genç Segmentinin uzunluğu yaklaşık 50 km olup, Arpat ve Şaroğlu (1972) tarafından ilk defa varlığı belirtilmiştir. Bingöl Çek-Ayr Havzası'nı güneyinden Söğütlü ve Gökdere köyleri arasında geçmektedir (Şekil 1) (Herece 2008).



Şekil 1. A) Doğu Akdeniz'in Aktif Tektoniğinin Ana Unsurları. Oklar Levhaların Hareket Yönlerini Göstermektedir BAZBK: Bitlis-Zağros Aktif Bindirme Kuşağı DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu; KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu; ÖDFZ: Ölüdeniz Fay Zonu B) Bingöl Havzası ve Yakın Çevresinin Sayısal Yükselti Modeli ve Havzayı Çevreleyen Aktif Faylar (Kıranşan vd. 2021).

1.5. Önceki Çalışmalar

Bingöl İli Merkez ve Genç İlçesi sınırları içerisinde çalışma konusunu oluşturan yeraltı su seviyesinin jeolojik-jeofiziksel yöntemlerle belirlenmesi ile ilgili herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu konuda Türkiye’de yapılmış benzer çalışmalara yer verilmiştir.

Avnik (Bingöl) metamorfik manyetit oluşuklarının jeokimyası, jeostatiksel incelenmesi ve kökenlerinin irdelenmesi adlı çalışmasında, Avnik'te yer alan metamorfik manyetit oluşuklarının incelendiği bu çalışmada, özellikle demir grubu iz element ibriklerinden, istatistiksel dağılımlarından ve ilişkilerinden yararlanılarak yatağın kökeninin tartışılması amaçlanmıştır (Çelebi 1992).

Bitlis masifi apatitli demir yataklarının jeolojisi ve oluşumu çalışmalarında, Bitlis Masifinin en batı uzantısını oluşturan Avnik (Bingöl) yöresinde bölgesel ölçekte apatitli demir yataklarında ayrıntılı Jeolojik çalışmalar yapılmıştır (Erdoğan ve Dora 1983).

Bingöl Havzası ve Çevresinde Aktif Tektonizmanın Jeomorfolojik Yapı Üzerindeki Etkileri çalışmaları yapmışlardır (Kıranşan vd. 2021).

Emirdağ'dan toplam 10 adet kaynak örnek toplanmıştır. Havza ve sular hidrokimyasal prosesler, içme suyu kimyası ve sulama suyu kalitesi açısından değerlendirilmiştir (Aksever 2019).

Koçkale-Elazığ manganez cevherleşmelerinin kökeni ve özellikleri çalışmalarında, Maden karmaşığındaki manganez cevherleşmeleri hakkında daha önce yapılmış eski çalışmalar bulunmamaktadır. Bölgedeki cevherleşmeler, özel sektör tarafından işletilmektedir. Çalışmada, cevherleşmenin bulunduğu bölgenin ve yakın çevresinin 1:25000 ölçekli jeolojik haritası yapılarak bölgedeki farklı litolojik birimlerin yapısal özellikleri, stratigrafik özellikleri, cevherleşmelerin yataklanma şekilleri ve cevher örneklerinin dokusal ve mineralojik incelemeleri sonucu elde edilmiş bilgilere göre cevherleşmenin oluşum koşulları ve oluşum mekanizması belirlenmiştir (Altunbey ve Sağıroğlu 1995).

‘Palu Formasyonunun (Pliyosen-Kuvarterner) Sedimentolojik Özellikleri, Elazığ Doğusu’ çalışmalarında bölgenin en genç birimi olan Palu Formasyonu'nun sedimentolojik özellikleri ve fasiyes geçişlerine bağlı olarak tektonik-sedimentasyon ilişkileri araştırılmıştır (Kerey ve Türkmen 1991).

‘Guleman (Elazığ) Ofiyoliti Manto Peridotitlerinin Kökeni’ yüksek lisans tezinde Guleman Ofiyoliti Elazığ’ın 80 km güneydoğusunda, Güneydoğu Toros kuşağında yer alır. Ofiyolit birimleri tabandan tavana doğru incelenmiştir (Rizeli 2014).

Rezistivite ve DES yöntemleri ile yeraltı suyu araştırmalarına Gölovası örneği (Ceyhan –Adana) yüksek lisans tezi çalışmasında jeofizik çalışmalardan sonra arazide jeolojik etüd ve sondajlar yapılmıştır. Sondaj kuyularından alınan yer altı suyu numuneleri kimyasal analize tabi tutulmuştur. Ortaya çıkan tüm bulguların değerlendirilmesi sonucunda Jeofizik-Rezistivite ölçümleri ışığı ve ön görüşünde açılan sondaj kuyusu verileri ve analizlerinin Jeofizik ölçümlerle uyumlu olduğu bu çalışma kapsamında saptanmıştır (Çağlar 2021).

2007-2008 yıllarında Süleyman Demirel Üniversitesi'ne ait içme ve kullanma sularının her ay periyodik olarak hidrojeokimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerini izlemek için örnek alımı yapılmış ve yapılan analiz sonuçları ulusal (TS-266, 2005; SKKY, 1998) ve uluslararası (EU, 1998; US-EPA, 2002; WHO, 2006) içme ve kullanma suyu kriterleri ile karşılaştırılarak suların bu standartlara uygun olduğu belirlenmiştir. Ayrıca izotop jeokimyasal çalışmalarla bu suların köken ilişkisi ortaya çıkarılmıştır (Demir vd. 2010).

'Manisa ili Salihli bölgesi ve çevresinin jeotermal potansiyelini 'Elektrik Özdirenç Sondaj (DES)' yöntemi ile incelenmiştir (Egemen 2012).

Trabzon ili'nde yer alan Söğütlü Deresi'ne akan derelerden 17 adet farklı noktadan su örnekleri alınarak, hidrokimyasal özellikleri belirlenmiş, havzanın su kalitesi parametreleri açısından konumsal analiz teknikleri kullanılarak sınıflandırılma yapılmıştır (Fırat Ersoy ve Karagüllü 2018).

Jeofizik yöntemlerin uygulamaları ile yeraltı suyu araştırmalarında esas bilgiler yer almaktadır. Ayrıca, elektrik özdirenç yöntemi ile yapılmış iki ayrı alanda yeraltı suyu araması ve suyun kirliliğini belirlemeye yönelik arazi örnekleri sunulmuştur (Gelişli ve Babacan 2021).

Bu çalışma Hatay İli Yayladağ İlçesi ve civarının yeraltı suyu taşıma potansiyelinin belirlenmesi ve hidrojeolojisinin tespiti amacıyla düşey elektrik sondaj yöntemi yapılmıştır. Elde edilen görünür özdirenç değerleri IPI2WIN bilgisayar programında değerlendirilerek her bir noktadaki tabakaların gerçek özdirenç değerleri ve tabaka kalınlıkları tespit edilmiştir. Daha sonrada bu değerlere göre inceleme alanının jeoelektrik haritaları oluşturularak yeraltı suyu içerme olasılığı yüksek olan 2 adet sondaj yeri tespit edilmiştir (Kopaçlı ve Karakılçık 2021).

Çatalca – İstanbul Bölgesi'nde yeraltısuyu araştırması ve hidrojeolojik yapısının jeofizik yöntemlerle araştırılması' adlı yüksek lisans tezinde Çatalca Bölgesi'nde yer alan karstik bir kaynağın jeofizik yöntemlerle araştırılarak hidrojeolojik yapısının elde edilmesidir (Koray 2006).

‘Varto Havzası (Muş) ve çevresinin jeomorfolojisi’ adlı yüksek lisans tezi çalışmasını yapmıştır (Mirze 2013).

‘Jeotermal alanların jeofizik yöntemlerle araştırılması: Bir uygulama örneği’ adlı yüksek lisans çalışmasında Aydın İli merkez batısı ve Aydın Germencik İlçesi kuzeyinde yer alan inceleme alanında manyetik, elektrik ve gravite yöntemleriyle veriler toplanmış ve değerlendirilerek yorumlanması yapılmıştır (Özgüleş 2011).

Afyonkarahisar ve ilçelerinde bulunan toplam 4 adet jeotermal sahada öz direnç yöntemi verilerinden yararlanarak jeotermal alanların belirlenmesine yönelik çalışma gerçekleştirmiştir (Şeker 2019).

Korkuteli (Antalya) su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri ve kullanılabilirliğinin belirlenmesi çalışmasında Suların major iyonlarının birbirleriyle ilişkisi istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre çalışma alanındaki hakim su tipleri Ca-Mg-HCO₃ ve Mg-Ca-HCO₃’ dır. Ayrıca suların majör iyon ve fizikokimyasal özellikleri, kullanım alanlarına göre de değerlendirilmiştir (Varol ve Şekerci 2018).

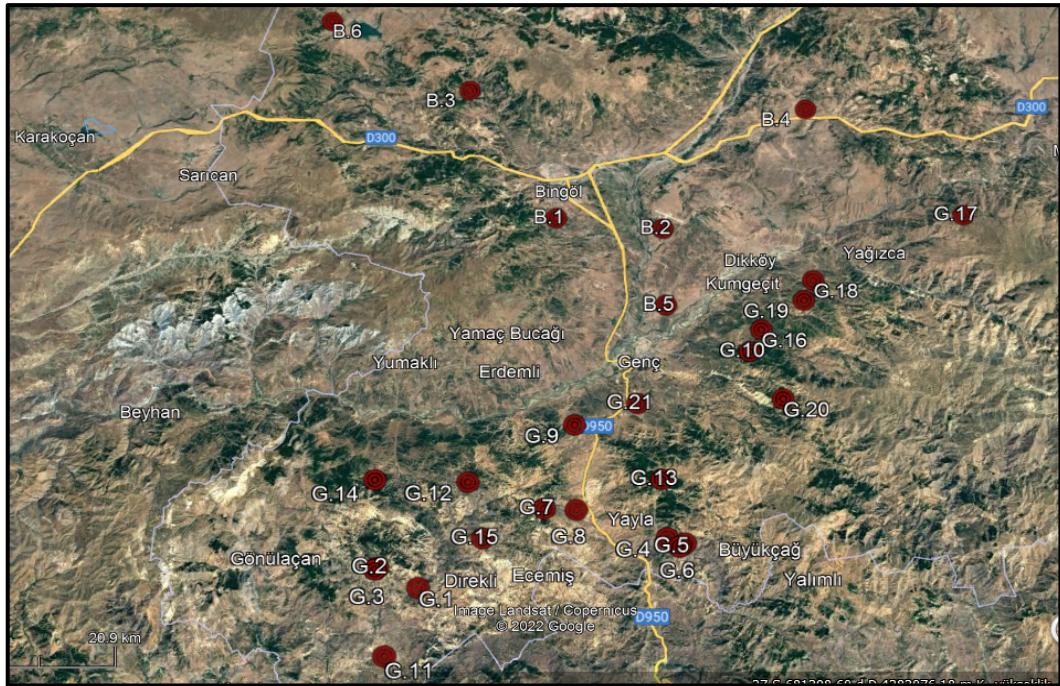
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Çalışmada, Bingöl İli Merkez ve Genç İlçesi'nde bazı köy ve mezralarda içme ve kullanma amaçlı özel ve kamu kurumlarının su sondaj kuyularının açılmasına başlamadan önce sondaj kuyusu için jeolojik birimlerin hidrojeolojik yapıları jeofizik yöntemlerle araştırılarak uygun sondaj noktası belirlenmiştir.

Kayaçların öz direnç değerleri yeraltını oluşturan kayaçlarda geniş bir aralıkta değişmektedir. Yeraltını oluşturan jeolojik birimler hakkında jeofizik modelleme ile elde edilen öz direnç yapısı ile ortaya konulabilmektedir. Aynı jeolojik birim içerisinde yeraltı suyunu içermeyen ve içeren seviyeler arasında elektrik iletkenliklerinin farklılık göstermesinden dolayı kayaçların fiziksel özellikleri de göz önüne alınarak jeolojik ve hidrojeolojik parametreler ilişkilendirilebilir (Koray 2006).

Bu çalışma kapsamında Bingöl İli Merkez ve Genç İlçesi'nde bazı köy ve mezralarda hidrojeolojik yapının yeraltı suyunun araştırılması için düşey elektrik sondaj (DES) ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm çalışmaları yapılan 27 noktada sondaj çalışmaları yapılmış, çalışma esnasında kuyunun statik ve dinamik seviyeleri, kuyunun debisi belirlenerek kuyulardan alınan suların jeokimyasal karakteristikleri ortaya konulmuştur (Şekil 2, Tablo 2).



Şekil 2. Bingöl Merkez ve Genç İlçesi DES noktaları ve su örneklerinin konumu.

Tablo 2. Bingöl İli Merkez ve Genç İlçesi DES noktalarından alınan su örneklerinin yerleri ve konumları.

S. No:	Örnek No:	Alındığı Yer	Konumu (ED50 39/6) (Y)	(X)
1	G.1	Genç Kavaklı Çomaklı Mezrası	617984	4272720
2	G.2	Genç Yeniçevre Köyü	615135	4274371
3	G.3	Genç Yeniçevre Köyü	614923	4274233
4	G.4	Genç Yeniyazı Kahkin Mezrası	635944	4275447
5	G.5	Genç Yeniyazı Fırat Mezrası	636773	4274765
6	G.6	Genç Yeniyazı Fırat Mezrası	637177	4274993
7	G.7	Genç Güzeldere Boğaziçi Mez.	627253	4278172
8	G.8	Genç Yayla Köyü Kümelik Mez.	629575	4277980
9	G.9	Genç Tarlabası Köyü	628420	4283566
10	G.10	Genç Keklikdere Koyuncuk Mez.	643388	4289931
11	G.11	Genç Bahçebaşı Köyü Oluklu Mez.	615505	4267827
12	G.12	Genç Güzeldere Ereğli Mezrası	621810	4280524
13	G.13	Genç Yeniyazı köyü Çevreli Mez.	635893	4279934
14	G.14	Genç Dedebağ Köyü Esenler Mez.	615120	4281084
15	G.15	Genç Yelkaya Köyü	622706	4276161
16	G.16	Genç Dereköy Köyü Aş Biçer Mez.	644426	4291691
17	G.17	Genç Kepçeli Köyü İmeceli Mez.	661143	4300693
18	G.18	Genç Çanakçı Köyü Yardım Mez.	648871	4295703
19	G.19	Genç Gözütok Köyü	647967	4294043
20	G.20	Genç Sarısamın Köyü Dikmece Mez.	645389	4285876
21	G.21	Genç Doğanca Köyü	634645	4286263
22	B.1	Bingöl Merkez Yk. Akpınar Köyü	629471	4302273
23	B.2	Bingöl Merkez Çeltiksuyu Köyü	637745	4300972
24	B.3	Bingöl Merkez Kartal Köyü	623193	4314350
25	B.4	Merkez Çavuşlar köyü	650113	4311472
26	B.5	Merkez Garip köyü	637420	4294308
27	B.6	Merkez Yagınçayır köyü	612157	4321696

2.2. Arazi Çalışması

Arazi çalışmaları, Bingöl Merkez ve Genç İlçesi sınırlarında çalışmanın yapılacağı köy ve mezralarda toplam 27 noktada gerçekleştirilmiştir. Her bir noktadaki arazi çalışmalarında sahaya ait literatür çalışmaları, uydu görüntüleri, haritalar vb. derlenmiştir. Her bir çalışma noktasında jeolojik ve jeofizik çalışmaları yapılarak 27

noktada alınan DES verileri Schlumberger ölçü tekniği kullanılarak alınmıştır. Araziden derlenen DES noktalarından görünür öz direnç tabaka parametreleri ve arazi eğrisiler oluşturulmuştur. Jeofizik DES çalışmaları sonuçlarına göre bu noktalarda su sondaj kuyuları açılmıştır. Açılmış su sondaj kuyularından hidrojeokimyasal parametrelerin belirlenmesine yönelik içme suyu örnekleri alınarak derlenmiştir.

2.2.1. Rezistivite (Elektrik Öz direnç) Ölçümleri

Jeofizik yöntemlerden biri olan elektrik öz direnç; maden, kömür, jeotermal, yeraltı suyu ve mühendislik uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır. Rezistivite için birçok elektrot dizilimi mevcuttur. Düşey Elektrik Sondajında (DES) genellikle ölçümler Schlumberger ve Wenner elektrot dizilimleri kullanılır. Elektrik öz direnç yöntemleri, suya doymuş ve nemlenme seviyelerin belirlenmesinde, tabaka kalınlıkları ve derinliklerinin belirlenmesinde, yerin direnç özelliğine göre yeraltının jeofiziksel yapısının belirlenmesi vb. çalışmalarda kullanılmaktadır (Koç 2007).

Yer altının derin araştırmalarında Schlumberger dizilimi çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Çalışmalarda DES Schlumberger elektrot dizilimi kullanılarak, yerin düşey yönündeki öz direnç değişimleri incelenmiştir (Şeker 2019).

Ölçümler en küçük elektrot aralığı ile başlayarak belirli aralıklarla artırılarak ölçüm yapılır. Toprağa iki adet paslanmaz çelik elektrot çakılarak elektrik akımı gönderilir, yer içinde oluşan gerilim farkı diğer iki noktaya çakılmış elektrotlar ile ölçülür. Ölçülen en büyük $AB/2$ değeri en büyük araştırma derinliğini gösterir ve her bir veri de elektrotların arasındaki mesafenin yarısına ($AB/2$) karşılık gelecek şekilde görünür öz direnç değeri çizilir. Görünür öz direnç değeri, elektrot dizilimine ait geometrik faktör, elektrotlar arası açıklık ve direnç kullanılarak hesaplanır (Koray 2006).

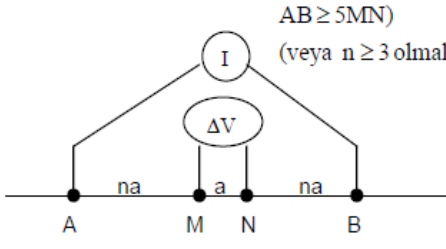
Schlumberger elektrot dizilimi dört elektrot kullanılarak simetrik olarak doğrusal bir hat üzerinde açılım yapılır. M ve N ise potansiyel elektrotlar A ve B akım elektrotlarıdır (Şekil 3).

A ve B noktalarında yere akım verilerek (I) oluşturulan elektrik alanın potansiyel gradienti M ve N elektrotları ile ölçülür. Potansiyel elektrotları ile akım elektrotları arasındaki oran $1/5$ ile $1/30$ arasındadır.

$$\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

$$K = \frac{AB^2 - MN^2}{4MN} \pi$$

- ρ_a : Görünür rezistivite (ohm.m)
 ΔV : Ölçülen potansiyel farkı (mV)
 I : Yere uygulanan akım (mA)
 K : Geometrik faktör
 $AB/2$: Akım elektrotları yarı açıklığı (m)
 $MN/2$: Pot elektrotları yarı açıklığı (m)

Elektrod Dizilimi	Geometrisi	K	Ölçülen
(a) Schlumberger		Genel olarak $K = \frac{\pi}{4} \frac{AB^2}{MN^2} \left[\frac{AB^2}{MN^2} - 1 \right]$ dir. Eğer, $MN=a$ ve $AM=NB=na$ alınırsa $\pi n(n+1)a$	$\rho_a(AMNB)$

Şekil 3. Schlumberger ölçü sistemi (Candansayar, 2007).

Arazide jeofizik çalışmaları, Geovesn Des/IP cihazı (Şekil 4) kullanılmış olup, cihaz dokunmatik renkli 7" ekran, akü beslemeli, 2A 400 V tam sinüs dalga (+/-) çıkış, zaman domain IP ölçüsü alabilme, ortalama ölçü sayısı ve zamanı belirleme özellikli Rezistivite cihazı kullanılmıştır. Açılımlarda, "Schlumberger Elektrot Dizilimi" kullanılmış olup, potansiyel fincan aralıkları 1-4-16 metre, akım elektrot aralıkları ise 3-200 metre olarak alınmıştır.



Şekil 4. Düşey Elektrik Sondaj (DES) yöntemi ile arazi ölçümleri.

2.3. Laboratuvar Çalışmaları

Rezistivite çalışması sonucu açılmış 27 adet su sondaj kuyularından alınan 14 su numunesi üzerinde fiziksel ve kimyasal analizler, Üniversitemiz Gıda Mühendisliği Bölümü laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında sulardaki elementlerin (Fe, Ca, Zn, Cd, Mg, Cu, Co, Ni, Al, Mn, Pb, Cr, Na, K) analizleri, MP-AES cihazı kullanılarak SM 3030 (A-C) ve SM 3125 B metodu ile yapılmıştır. Sülfat (SO_4^{2-}) analizi, Hach Lange DR 3900 Marka Spektrofotometre cihazı kullanılarak 8051 metodu ile yapılmıştır. Amonyum (NH_4^{+1}), Klorür (Cl^-), Nitrat ($\text{NO}_3^{-}\text{-N}$), Nitrit ($\text{NO}_2^{-}\text{-N}$), Fosfor (PO_4^{-3}) analizleri Hach Lange DR 3900 Marka Spektrofotometre cihazı kullanılarak analiz yapılmıştır. İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$) ve TDS Hach SL1000 Portatif Paralel Analizör (PPA) cihazı kullanılarak SM 2510 analiz metodu ile pH değerleri Hach SL1000 Portatif Paralel Analizör (PPA) cihazı kullanılarak SM 4500- H^+ metodu ile, Alkalinite (CaCO_3) değerleri Hach SL1000 Portatif Paralel Analizör (PPA) cihazı kullanılarak TS 3790 EN ISO 9963-1 metodu ile ve Sertlik ($^\circ\text{FS}$) TS 4474 ISO 6059 metodu ile belirlenmiştir. CaCO_3 eşdeğeri olarak toplam kalıcı su sertliği 1 nolu formülle hesaplanabilmektedir.

$$CaCO_3 = 2,5 \cdot (Ca^{+2}) + 4,1 \cdot (Mg^{+2}) \quad (1)$$

Yapılan analizlerde Her beş örnekte bir adet 3mg/L okumasının yapıldığı element standartları verilerek ara kontroller yapıldı. Geri kazanımlar %98-101 Aralığında olduğundan elde edilen sonuçların kabul edilebilir düzeyde olduğu görülmektedir.

2.4. Büro Çalışmaları

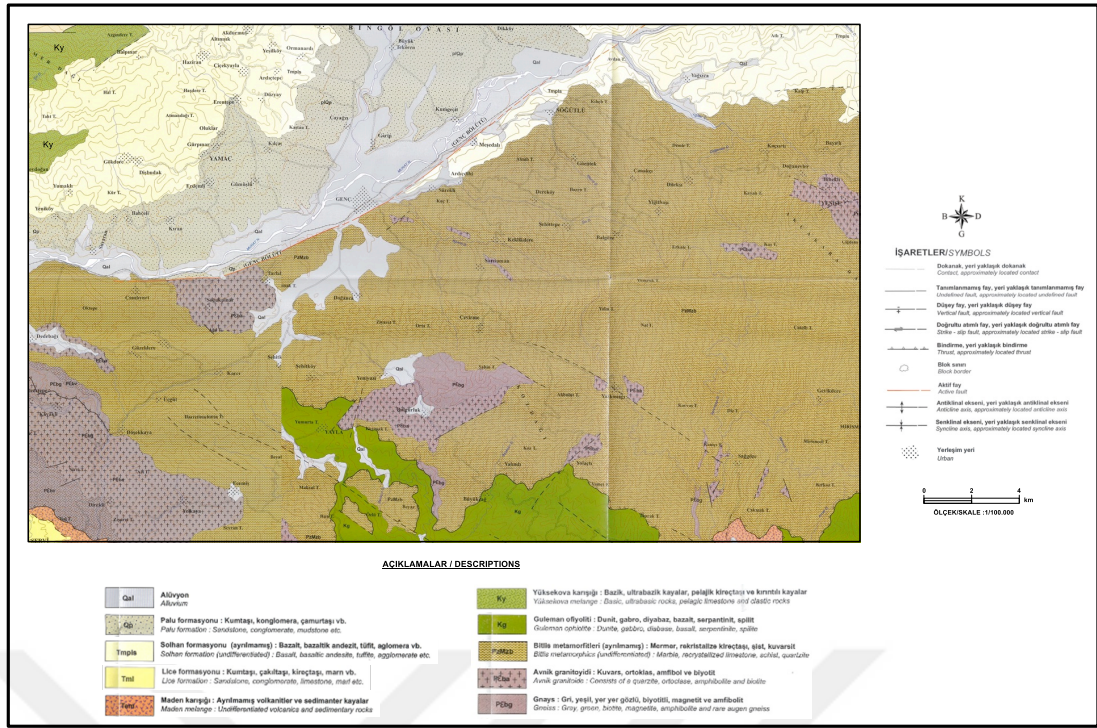
Arazi çalışmalarında alandan alınan su örneklerinin analiz sonuçları ile yapılan jeofiziksel ölçümlere ait veriler, literatürde güncel olarak kullanılan tanımlama ve sınıflama grafiklerine bağlı olarak değerlendirilmesi bu bölümde yapılmış olup, açığa çıkan sonuçları kapsayacak şekilde tez yazımı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü kurallarına göre gerçekleştirilmiştir.

Şekil 5. Bingöl İli Merkez Jeolojik Haritası (MTA (2011) Elazığ K44-K45 paftalarından değiştirilerek hazırlanmıştır).

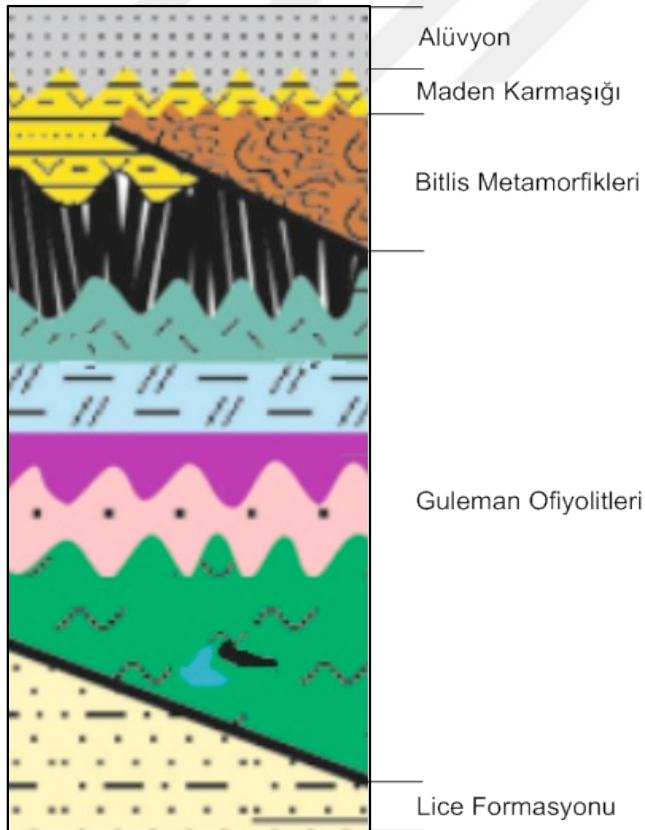
ÜST SİSTEM	SENOZOYİK					KAYA TÜRÜ AÇIKLAMASI	
SİSTEM	TERSIYER		KUVATERNER				
SERİ	MIYOSEN		PLEİSTOSEN				
KAT	BURDIGALIYEN						
GURUP	VARTO GRUBU						
FORMASYON	SOLHAN						
ÜYE							
SİMGE							
						Qal, Qtr, Qym	Alüvyon, traverten, yamaç molozu
							<u>Uyumsuzluk</u>
						plosp, plosB	Dasit - Riyolit
							Bazalt, bazaltik andezit, andezit
							Traki - andezit, trakit ve kuvars latit. Piroklastik (aglomera, lapilli, volkanik breş) yer yer lav ve gölsel birimlerden arakatlı.
							<u>Açısal Uyumsuzluk</u>
							Resifal, sarı kireçtaşı, kalkarenit, yer yer tüflü - killi - kumlu kireçtaşı arakatlıları içerir.
							Aglomera, volkanik breş, lapilli
							Kızıl Şarabi renkli çakıltı ve çamurtaşı
							Jips - anhidrit - alçıtaşı - marn
							<u>Açısal Uyumsuzluk</u>
							Mermer Yer yer dolomitik
							Mikaşist, kuvarsşist, serisit - klorit - kalkşist

Şekil 6. Bingöl Ilıca Bölgesine ait genelleştirilmiş dikme kesiti (Tarhan vd., 1991).

Genç İlçesi ve yakın çevresi magmatik, metamorfik ve sedimanter kayalardan oluşan bir jeolojik yapı sunmaktadır. Bölgede büyük yayılımı Bitlis Metamorfikleri göstermektedir. İnceleme alanının güneyinde Güleman Ofiyolitleri, Maden Karmaşığı ve Lice Formasyonu yer almaktadır. İlçenin kuzeyinde ise Solhan Formasyonu yüzeylenmiştir. Ovalarda, havza içlerinde, akarsu yataklarında biriken çakıl, kum, kil ve silt gibi tutturulmamış alüvyonlar yer almaktadır. Güleman Ofiyoliti üzerine Bitlis Metamorfikleri tektonik dokanakla gelmektedir (Rizeli 2014). Maden Karmaşığı ve Hazar Grubu da bu birimi uyumsuz olarak örtmektedir. Bu birimler Erken Miyosen yaşlı Lice Formasyonu üzerine bindirmiştir (Şekil 7, 8).



Şekil 7. Bingöl İli Genç İlçesi Jeolojik Haritası (MTA (2011) Elazığ K44-K45 paftalarından değiştirilerek hazırlanmıştır).



Şekil 8. Genç İlçesi güneyinde yer alan birimlerin stratigrafik dikme kesiti (Rizeli, 2014'ten değiştirilmiştir).

İnceleme alanını kapsayan bölgelerde Prekambriyen - Kuvaterner arasında değişik yaş aralığında oluşmuş jeolojik birimler yaşlıdan gence doğru aşağıdaki gibidir.

- Alüvyon (Kuvaterner)
- Palu Formasyonu (Pliyo-Kuvaterner)
- Solhan Formasyonu (Üst Miyosen)
- Adilcevaz Formasyonu (Üst Oligosen- Alt Miyosen)
- Lice Formasyonu (Alt Miyosen)
- Gevlaçayı Formasyonu (Oligosen)
- Maden Karmaşığı (Orta Eosen)
- Yüksekova Karmaşığı (Kampaniyen-Mestrihtiyen)
- Guleman Ofiyoliti (Alt Jura-Alt Kretase)
- Bitlis Metamorfikleri (Prekambriyen-Kretase)

3.1.1. Bitlis Metamorfikleri

Avnik yöresinde Bitlis Metamorfikleri aralarında açısal uyumsuzluk bulunan iki kaya grubundan oluşur (Erdoğan ve Dora 1983). Alttaki yaşlı gruba alt topluluk adı verilmiş ve bu topluluk grubu granit kütleleri tarafından kesilmiş, daha sonra her ikisini de aşınmış yüzeyleri boyunca üst topluluk örtmüştür. Aynı şekilde Bitlis (Mutki) bölgesinde Boray (1973, 1975) Bitlis Metamorfiklerinde alt birlik ve üst birlik olarak ikiye ayırmıştır. Avnik (Bingöl) yöresinde alt topluluk birbirleriyle yanall ve düşey yönde geçiş göstererek üstten alta doğru mafik metavolkanitler, felsik metatüf-metavolkanit ve gnays olarak üç kaya grubundan oluşmuştur. Alt topluluk birimi Yayla ve Avnik granitleri tarafından kesilmiştir. Üste doğru Gnays birimi aralanarak metatüf-felsik metavolkanit birimine geçer. Alt topluluğun en üst biriminin koyu yeşil renkli ortaç ve mafik bileşimli olan mafik metavolkanitlerin metaaglomeraları ve metalavları oluşturur.

Avnik yöresinde üst topluluk mermer ve mikaşistlerden oluşmuştur. (Erdoğan ve Dora 1983). Alt topluluk üzerine, altta yer alan mikaşist birimi uyumsuz olarak devamsız bir kuvarsit düzeyiyle oturur. Mikaşist birimi üzerine gri mermer birimi gelir. Gri mermer birimi üste doğru mermer-şist aralanmasından oluşmuş birime geçerek, bu birim üzerine ise beyaz mermerler gelir.

3.1.2. Guleman Ofiyoliti

Bu birimin Alacakaya (Guleman) ilçesinde en iyi görülmektedir. (Rizeli 2014). Guleman Ofiyoliti birimi altında Miyosen yaşlı Lice formasyonu, üstünde ise Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı ve Meastrihtiye-Erken Eosen yaşlı Hazar Grubu gelir.

Guleman Grubu eksik ofiyolitik istif olup, birimin içinde bazik volkanik kayalar ve levha dayk karmaşığı görülmemektedir (Özkan, 1984). Guleman grubunun tabanında manto peridotlarının olduğunu, mafik kısmının da izotropik gabro, levha dayk kompleksi ve bantlı gabrodan oluştuğunu ifade eder (Rizeli 2014; Beyarslan ve Bingöl 2014). Manto peridotitleri, dünit bantları yersel olarak içeren serpantinleşmiş harzburjitlerden oluşur (Rizeli 2014).

3.1.3. Yüksekova Karmaşığı

Yüksekova Karmaşığı Perinçek (1979a) tarafından Hakkari Yüksekova İlçesi yakınlarında tanımlanmıştır (Altunbey ve Sağiroğlu 1995). Elazığ Genefik Köyü civarında çalışmayı yapan Altunbey ve Sağiroğlu (1995), birimin bazalt, andezit, bazaltik yastık lav ve bunları kesen granitlerden oluştuğunu belirtmişlerdir. Yüksekova Karmaşığının yaşını ilk çalışmayı yapan Perinçek (1979a), Kampaniyen-Mestrihtiyen yaşını vermiştir.

3.1.4. Maden Karmaşığı

Bu birim, tortul kayalara volkanit ve kireçtaşı olistolitleri karıştığından düzensiz bir stratigrafi sunduğundan dolayı karmaşık olarak isimlendirmiştir Rizeli (2014). Orta Eosen yaşlı birim, tabanda çakıltaşlarıyla Guleman Ofiyolitlerin üzerinde başlar, üste doğru kumtaşı tabakaları, yer yer silisleşmiş kırmızı gri-kahve renkli kumtaşı, çamurtaşı ve marn ardalanması ile devam eder. Bunların üstünde gri renkli mikritik, neritik kireçtaşları bulunur. Birimin En üstünde ise pembemsi-kırmızımsı pelajik kireçtaşları ile biter.

3.1.5. Gevlaçayı Formasyonu

Gökdere Köyü güneyi ve batısında Gevla Çayı yamaçlarında iyi yüzeylendiği için formasyon adını buradan almıştır (Sirel vd. 1975). Orta-Geç Oligosen yaşlı birim, altta uyumsuz olarak ofiyolitlerin üstüne gelir. Üstte ise Okçular kireçtaşları ile uyumsuzdur. Formasyon alttan üste doğru boz renkli çakıltaşı (değişik kökenli; metamorfik, serpantin, diyorit, kuvars ve gabro) kumtaşı ve üste doğru tedrici olarak kumlu kireçtaşı

tabakalarına geçer, üst kısımlarda ise killi kireçtaşı ve algi tabakaları çoğunlukla bulundurulur.

3.1.6. Lice Formasyonu

Lice formasyonu, kireçtaşı, marn, kumtaşı ve şeyl aralanmalıdır. Formasyon genel olarak türbiditik karakter ile temsil edilmektedir. Yeşil renkte, bol ofiyolitli, Gri ve blokludur. Eosen yaşlı tortul kayaç ve volkanik kayaç bulunduran bölgeleri kırmızı kahverengi ve olistostrom çökeltilidir. Lice Formasyonu, düzgün tabakalı olması durgun bir ortamda çökeldiğinden kaynaklanmaktadır. Bindirme hattına yaklaştıkça tektonik olarak hareketli bir ortamda ekaylanma kuşağı olarak görülmektedir. Kalınlığı 100-200 metre arasında değişmekte olup, birimin yaşı Erken Miyosendir (Perinçek, 1978).

3.1.7. Adilcevaz Formasyonu

Formasyon genellikle kireçtaşı ve kumtaşı-miltaşı litolojisine sahip olup, bazı seviyelerde kireçtaşı üyesidir. Birim kumtaşı-çakıltası, gevşek, kalın kum-çakıl düzeyleri halindedir. Çakıllar yuvarlaklaşmış ve kumtaşı-miltaşı gevşek tutturulmuş kolay ayrışmaktadır. Birim genel olarak; kumtaşı, kiltası ve kireçtaşı tabakalarından oluşmakta olup, birimin üstünde açısız uyumsuzlukla Solhan Formasyonu gelmektedir. İçindeki fosillere göre birimin yaşı Geç oligosen-Erken Miyosen yaşlıdır.

3.1.8. Solhan Formasyonu

Formasyonun tip yüzeylenimleri Göynük vadisinde, Bingöl dağının güney eteklerinde görülür. Solhan volkanitleri olarak tanımlanmış olan bu birim, Akay vd. (1989 a,b) ve Tarhan (1989) Solhan formasyonu olarak adlandırılmışlardır.

Solhan formasyonunu oluşturan hakim kaya birimlerini piroklastik kayalar (volkanik kırıntılar) oluşturmaktadır (aglomera, lapilli, volkanik breş, kül, tüf, tüfit, obsidiyen ve ponza) (Koç 2022). Piroklastik kayalarının farklı düzeylerinde, onlarla arakatkıları yapan, çeşitli mineralojik ve kimyasal bileşimdeki lavların kama ve mercekleri görülür. Formasyonun üyelerine karşılık gelen, bu lavların genellikle bazalt, bazaltik andezit, andezitik bazalt, andezit, traki-andezit (latit, şosonitik), kuvars andezit, trakit ve dasitik türden oldukları görülür. Bu farklı mineralojik ve kimyasal bileşimlerdeki lavların türedikleri magma veya köken kayanın farklı özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Formasyonun alt seviyeleri içerisindeki lav arakatkılarının, genellikle ayrılmış -bozmuş kesimleri siyahımsı, yeşilimsi renklidir. Taze kesimleri ise kompakt, sert, ince taneli siyah ve lacivert-yeşil renklidir. Solhan formasyonun alt

bölümlerinde obsidiyen, ponza, ignimbrit, traki-andezit, kuvars latit türü lavlar egemendir. Formasyon içinde gözlenen lavların gerek köken kayaları ve gerekse farklı çıkış yerlerinden çıktıkları İçin, genellikle farklı doku, yapı, renk ve bileşimler gösterirler. Ancak, lavların tümü aynı zaman aralığında püskürme yapmış ve birbirleriyle düşey-yanal yönde griklik yapar. Solhan formasyonu, Göynük vadisi ve Kös ılıcası dolayında, Çatak-Yukarışorik köyleri ve Şeytan dağı dolaylarında metamorfik ve Erken Miyosen yaşlı Adilcevaz formasyonunu uyumsuzlukla örter. Söz konusu yerlerde taban konglomerası veya kırmızı renkli kil, çamurtaşı kaya birimleri ile başlar. Solhan formasyonunu oluşturan volkanitler, Bingöl dağı volkan kraterinden geçen, yaklaşık D-B yönünde uzanan sırt boyunca, Orta Miyosen yaşlı Bingöl dağı grubunu oluşturan volkanitleri, çok belirgin bir açısız uyumsuzlukla örter.

3.1.9. Palu Formasyonu

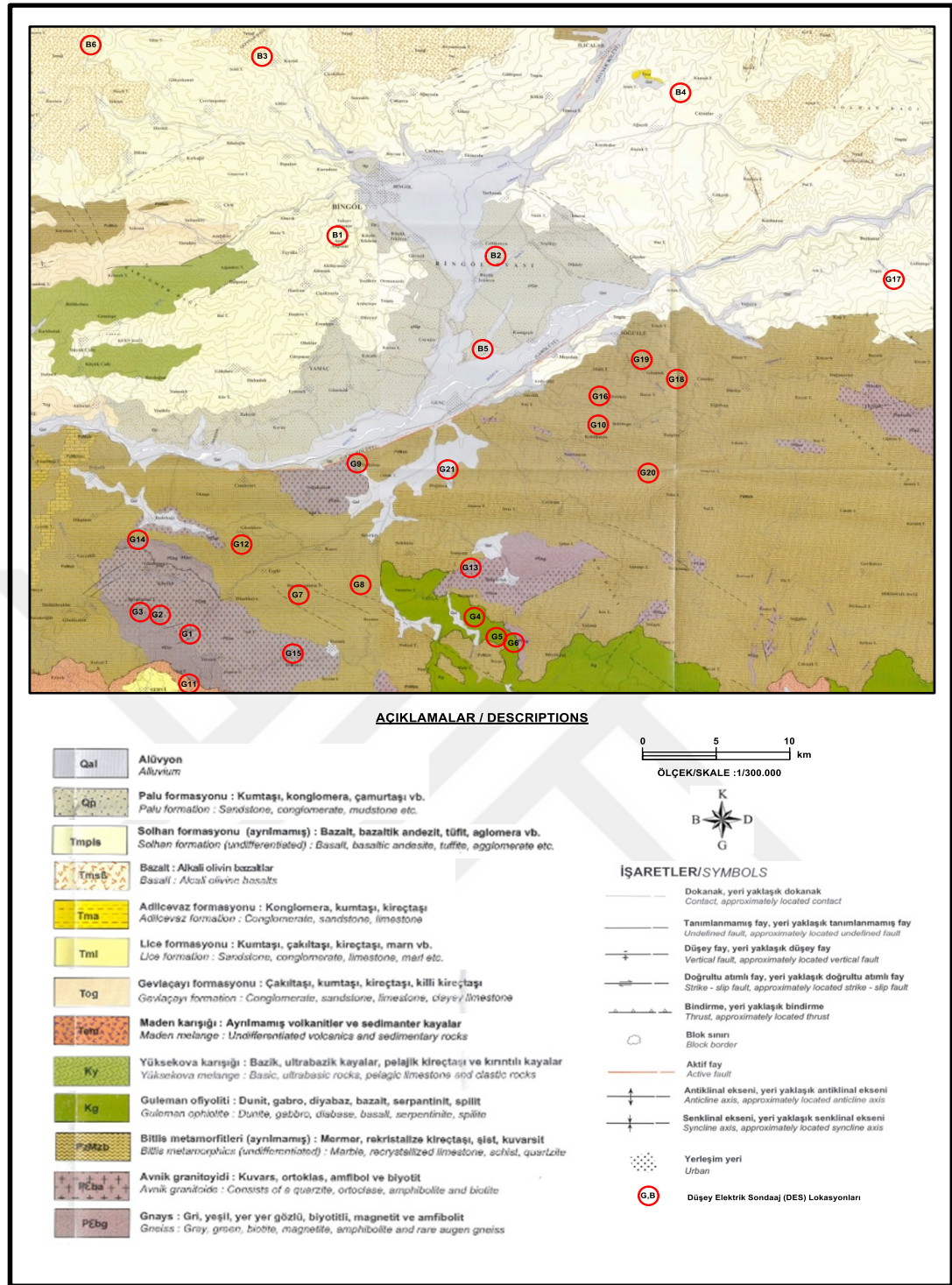
Palu Formasyonu kumtaşı, konglomera ve çamurtaşlarından oluşmaktadır (Kerey ve Türkmen 1991). Birimi ilk defa Palu ve Kovancılar bölgesinde Çetindağ (1985) tarafından isimlendirilmiş ve birimin yaşını Pliyosen-Kuvaterner olarak belirtmiştir.

3.2. Rezistivite Yöntemiyle Yeraltı Sularının Aranması

3.2.1 Giriş

Özdirenç kuramı, kayaların elektrik geçirgenliği olan iletkenlik kavramı ile bağlantılıdır. Özdirenç düşmesi tane çapının küçük olduğunu, yükselmesi ise tane çapının büyük olduğunu gösterir (Kopaçlı ve Karakılçık 2012). Gözeneklilik ile özdirenç ters orantılıdır. Özdirenç değeri küçük olan yapının gözenekliliği büyük, dolayısıyla ince elemanlıdır (Qude 2001). Özdirenç değeri büyük olan yapının gözenekliliği küçük ve yapıyı meydana getiren elemanların iri olduğu anlaşılır.

Çalışma sahası Bingöl İli Merkez’de 6, Genç İlçesi’nde 21 nokta olmak üzere toplamda 27 noktada uygun su sondaj kuyularının yerlerinin tespit edilmesi için, jeofizik ölçümler ile Düşey Elektrik Sondaj (DES) verileri elde edilmiştir. Arazide edinilen düşey elektrik sondaj verilerinin yorumlanmasında IPI2WIN programında tabakaların özdirenç değerleri, derinlikleri ve kalınlıklarının belirlenmesi, alanın hidrojeolojik verilerinin belirlenmesi ve muhtemel yeraltı suyu veren formasyon profili çıkarılmıştır. Hesaplamalar yapılarak değerlendirilen veriler sonucunda su sondaj kuyuları açılmıştır (Şekil 9). Su sondaj kuyuları açılması esnasında geçilen zemin DES verileri ile korelasyonu yapılmış ve sondaj sonrasında kuyuların derinlikleri, su seviyeleri ve debileri tespit edilmiştir (Tablo 3).



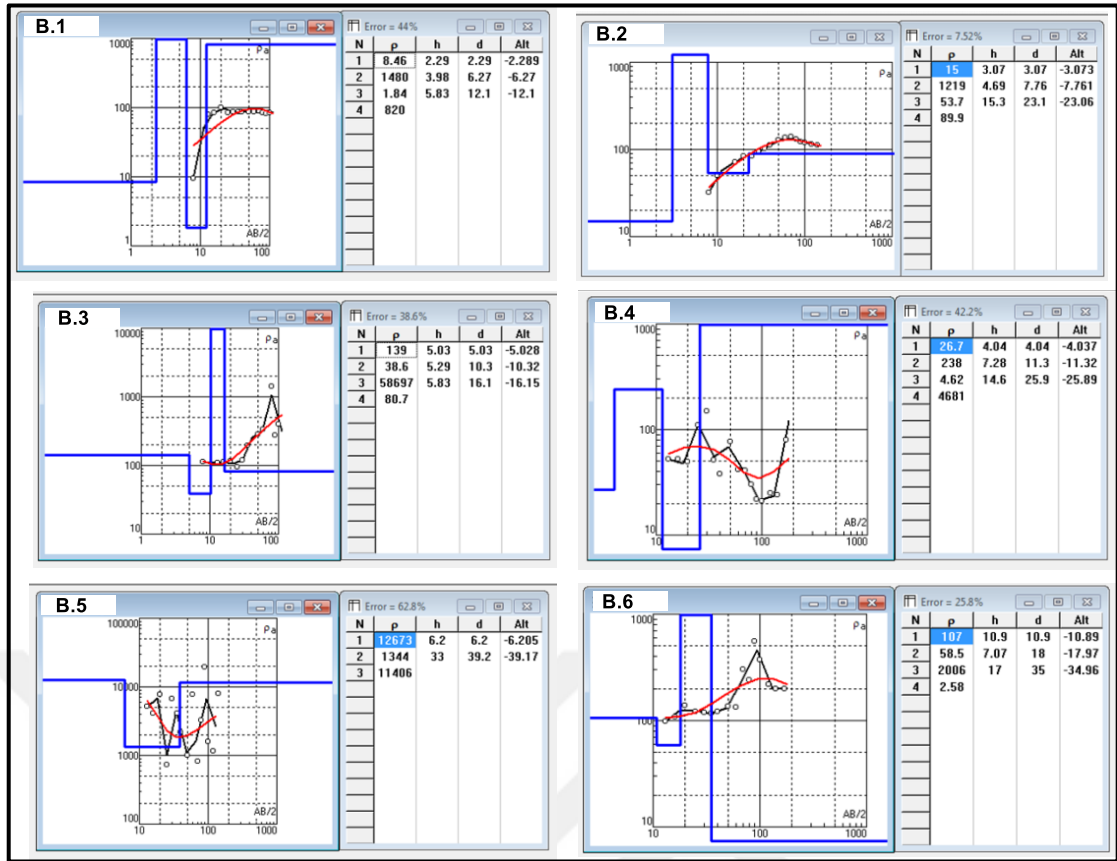
Şekil 9. Bingöl İli Merkez ve Genç İlçesi Jeolojik Haritası (MTA (2011) Elazığ K44-K45 paftalarından değiştirilerek hazırlanmıştır).

Tablo 3. Bingöl İli Merkez ve Genç İlçesi DES noktalarında açılmış sondaj kuyularının derinlikleri, dinamik seviyeleri ve debileri.

S. NO:	Örnek No:	Alındığı Yer	Debi (Q) (lt/sn)	Dinamik Sev. (m)	Kuyu Der. (m)
1	G.1	Genç Kavaklı Çomaklı Mezrası	1,2	80	134
2	G.2	Genç Yeniçevre Köyü	12	89	137
3	G.3	Genç Yeniçevre Köyü	7	95	145
4	G.4	Genç Yenyazı Kahkin Mezrası	7	75	115
5	G.5	Genç Yenyazı Fırat Mezrası	15	60	67
6	G.6	Genç Yenyazı Fırat Mezrası	2	80	125
7	G.7	Genç Güzeldere Boğaziçi Mezrası	2	115	135
8	G.8	Genç Yayla Köyü Kümelik Mezrası	13	50	65
9	G.9	Genç Tarlabası Köyü	3	60	80
10	G.10	Genç Keklikdere Koyuncuk Mezrası	2	87	97
11	G.11	Genç Bahçebaşı Köyü Oluklu Mezrası	15	33	104
12	G.12	Genç Güzeldere Ereğli Mezrası	18	40	125
13	G.13	Genç Yenyazı köyü Çevreli Mezrası	15	83	145
14	G.14	Genç Dedebağ Köyü Esenler Mezrası	17	65	125
15	G.15	Genç Yelkaya Köyü	22	85	125
16	G.16	Genç Dereköy Köyü Aş Biçer Mezrası	17	67	165
17	G.17	Genç Kepçeli Köyü İmeceli Mezrası	28	130	156
18	G.18	Genç Çanakçı Köyü Yardım Mezrası	12	48	125
19	G.19	Genç Gözütok Köyü	10	70	140
20	G.20	Genç Sarısamani Köyü Dikmece Mezrası	12	90	170
21	G.21	Genç Doğanca Köyü	7	60	87
22	B.1	Bingöl Merkez Yk. Akpınar Köyü	5	80	100
23	B.2	Bingöl Merkez Çeltiksuyu Köyü	4	65	115
24	B.3	Bingöl Merkez Kartal Köyü	4	85	100
25	B.4	Merkez Çavuşlar köyü	2	90	140
26	B.5	Merkez Garip köyü	5	40	110
27	B.6	Merkez Yagınçayır köyü	8	60	105

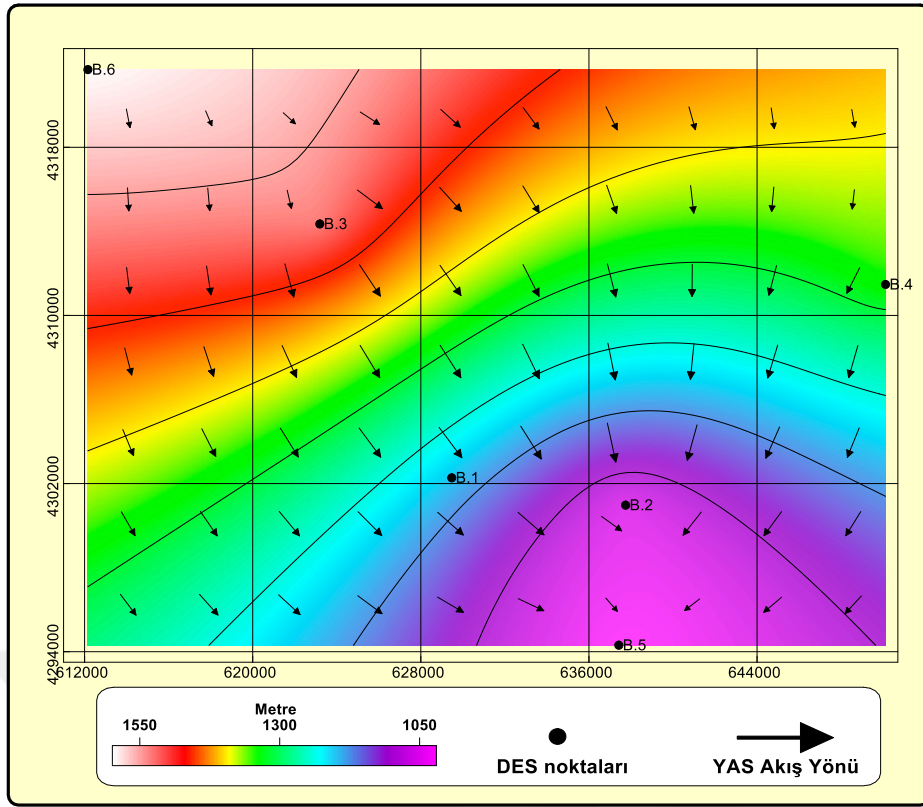
3.2.2 Bingöl İli Merkez Rezistivite Çalışmaları

Bingöl İli Merkez sınırları içerisinde 6 farklı yerleşim yerlerinin içme ve kullanma su ihtiyacını karşılamak için derinlikleri 100-170 metre arasında değişen 6 lokasyonda jeofizik-Rezistivite (DES) çalışmaları yapılmıştır. Her nokta için düşey elektrik sondaj (DES) çalışmaları sonucu elde edilen veriler IPI2Win yazılım programı kullanılarak her bir noktanın öz direnç değerleri, tabaka kalınlıkları ve diğer zemin parametreleri belirlenmiştir (Şekil 10).

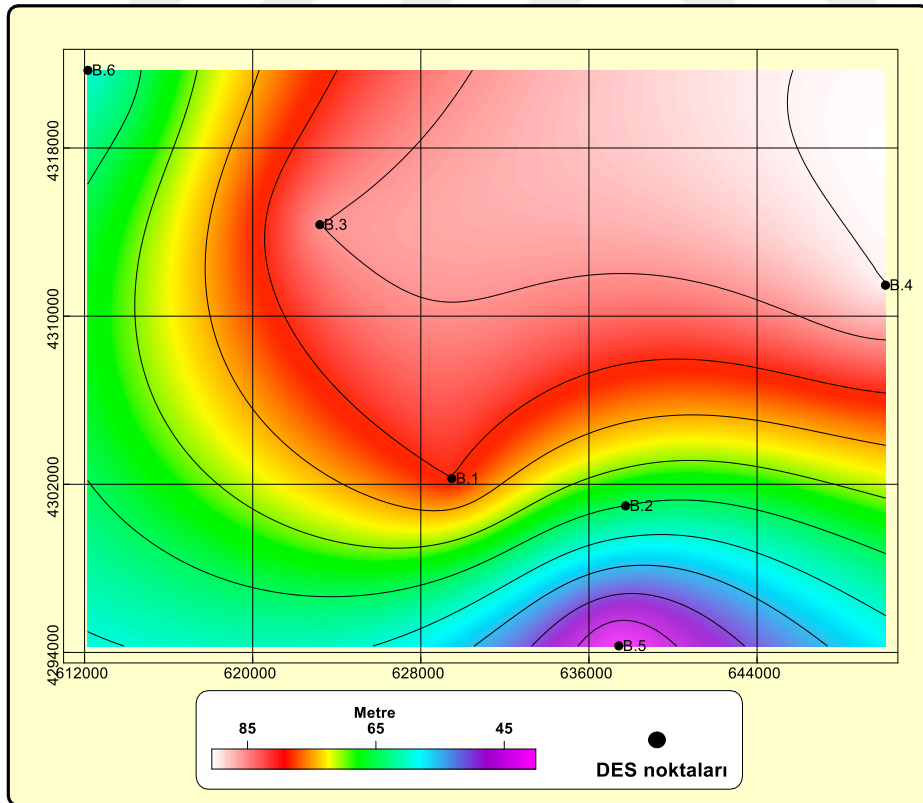


Şekil 10. Bingöl İli Merkez araziden elde edilen DES noktalarından görünür özdirenc arazi eğrisi ve tabaka parametreleri.

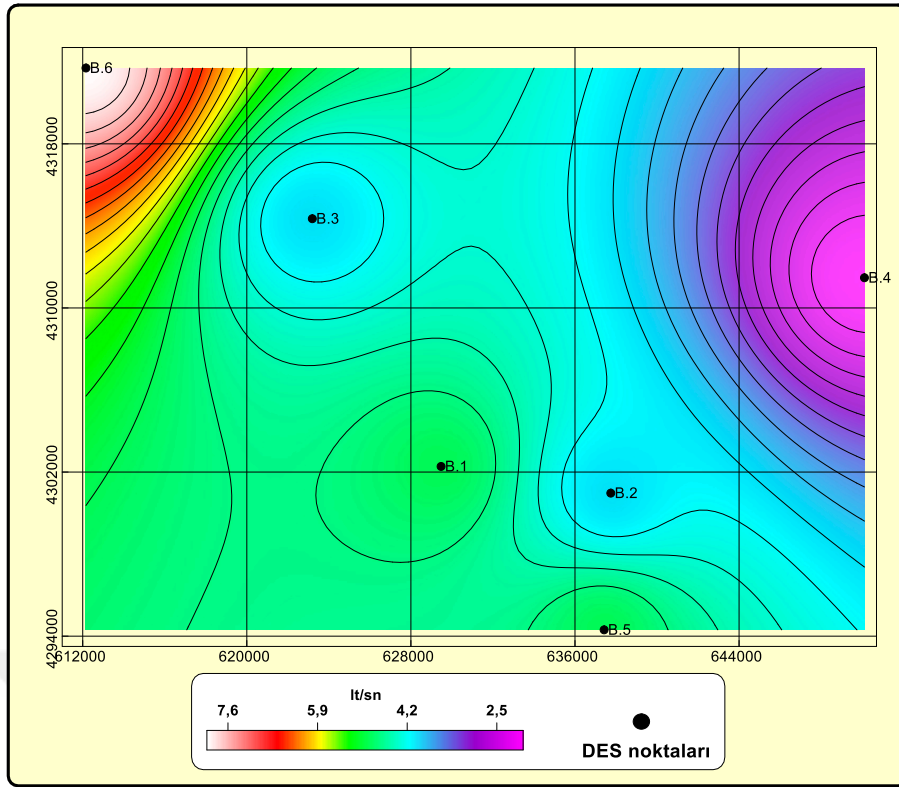
Yapılan jeofizik-Rezistivite (DES) ve hidrojeolojik çalışmalar sonrasında değişik firmalar tarafından 80-140 metre derinliklerinde sondaj kuyuları açılmıştır. Açılan sondaj kuyularda pompa tecrübeleri yapılarak, suyun debisi ve statik - dinamik sevipleri belirlenmiş ve gerekli analizler için su numuneleri alınmıştır. Hidrojeolojik, jeofizik ve sondaj çalışmalarına dayanarak, SURFER 10 programı kullanılarak yeraltı suyu akış yönü, yeraltı suyu derinliği ve yeraltı su debisi haritaları çizilmiştir (Şekil 11, 12, 13).



Şekil 11. Bingöl İli Merkezde açılan sondajlardan elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş yeraltı suyu akış yönü haritası.



Şekil 12. Bingöl İli Merkezde açılan sondajlardan elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş yeraltı suyu derinliği haritası.



Şekil 13. Bingöl İli Merkezde açılan sondajlardan elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş yeraltı suyu debisi haritası.

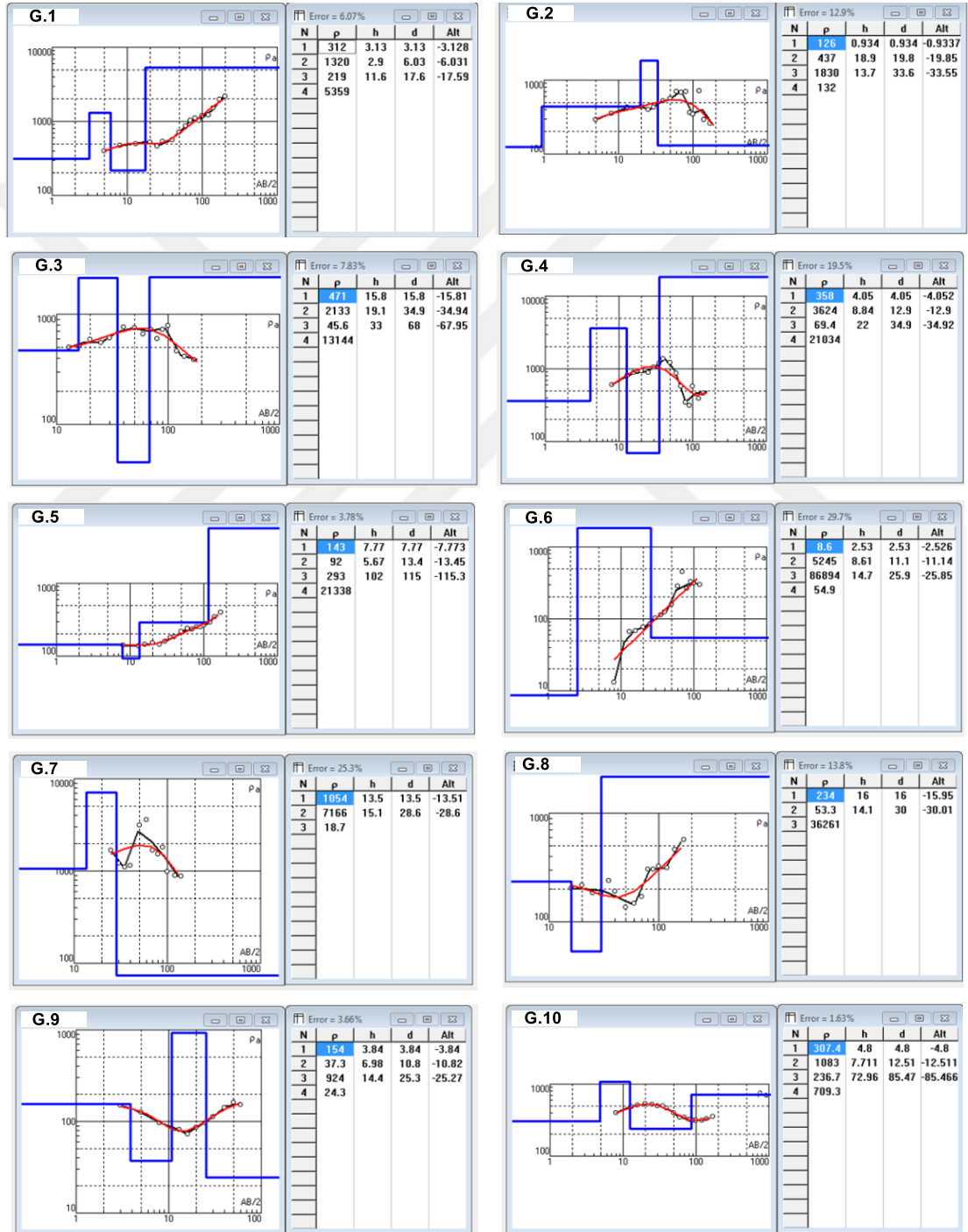
Bingöl İli Merkez sınırları içerisinde yapılan sondaj kuyularının derinlikleri 80-140, yeraltı su seviyeleri ise 23-90 metreler arasında değişmektedir. Bingöl Ovası alüvyonlarında açılmış iki adet sondaj (DES-B2, DES-B5) kuyusunun derinlikleri 110-115 metre arasında, yer altı su seviyesi ise 40-70 metre arasındadır. Solhan Formasyonunun bazalt, andezit, tüfit ve aglomeralarında açılmış dört adet sondaj (DES-B1, DES-B3, DES-B4, DES-B6, DES-B7) kuyusunun ise derinlikleri 80-140 metre arasında ve yeraltı su derinlikleri de 23-90 metre arasında değişmektedir (Şekil 12).

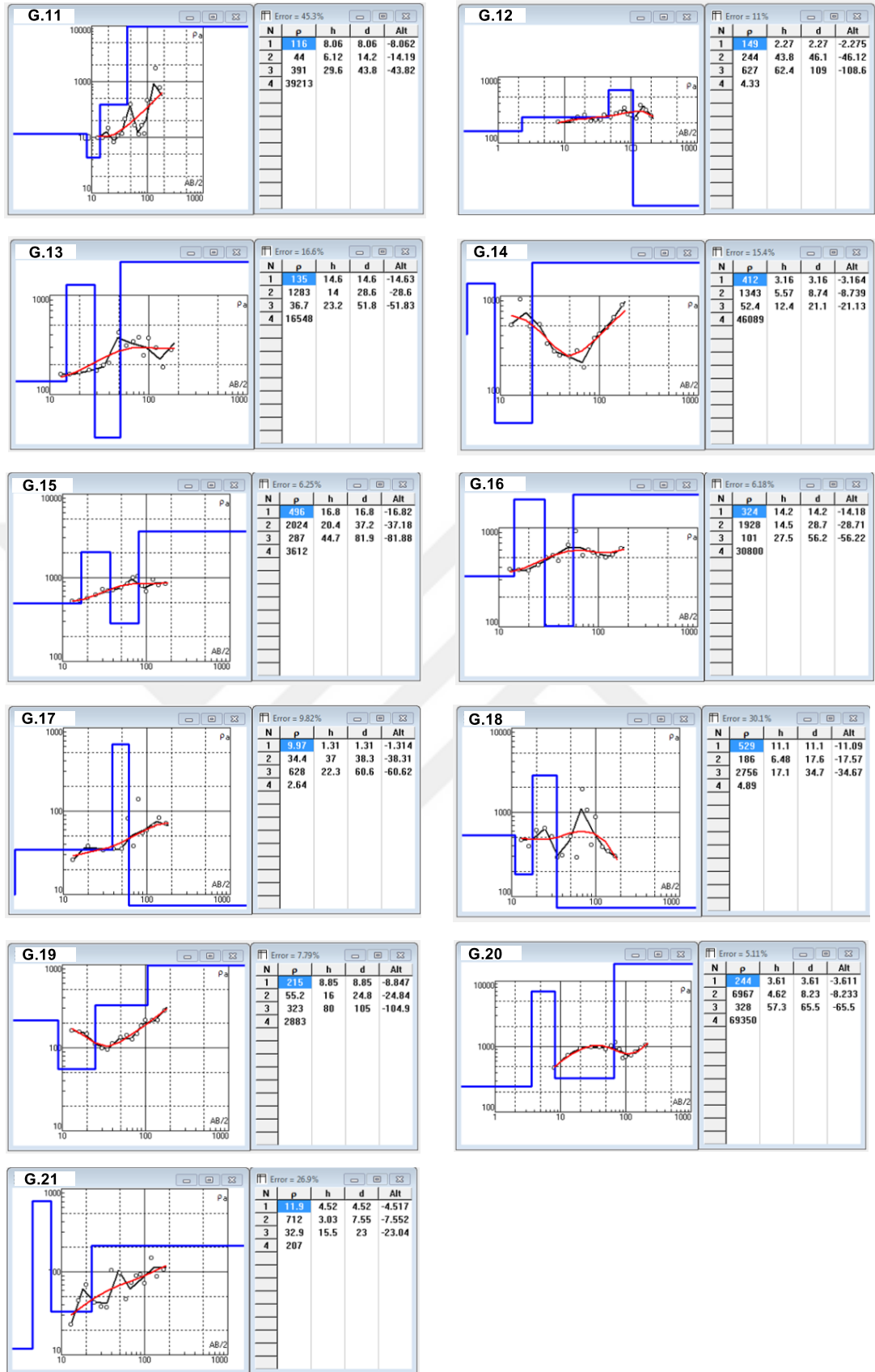
Yeraltı suyunun akım yönü, topoğrafya ile uyumlu bir şekilde, kuzeyde 1599, doğudan 1343 yüksek kotlardan güneye 1020 m'ye kadar inen düşük kotlara doğru, yani dere ve nehirlerin akış yönüne doğrudur (Şekil 11).

Jeofizik-Rezistivite (DES) çalışmaları sonucu elde edilen öz direnç eğrisi ve yeraltı kesitine göre yapılan değerlendirmede daha derindeki seviyelerde de yeraltı suyunun devam ettiği görülmüştür. Ancak yapılan sondajlar su ihtiyacını karşılayacak debide olması ve sondaj maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı su sondaj kuyuları fazla derine inilmemiştir.

3.2.3 Bingöl İli Genç İlçesi Rezistivite Çalışmaları

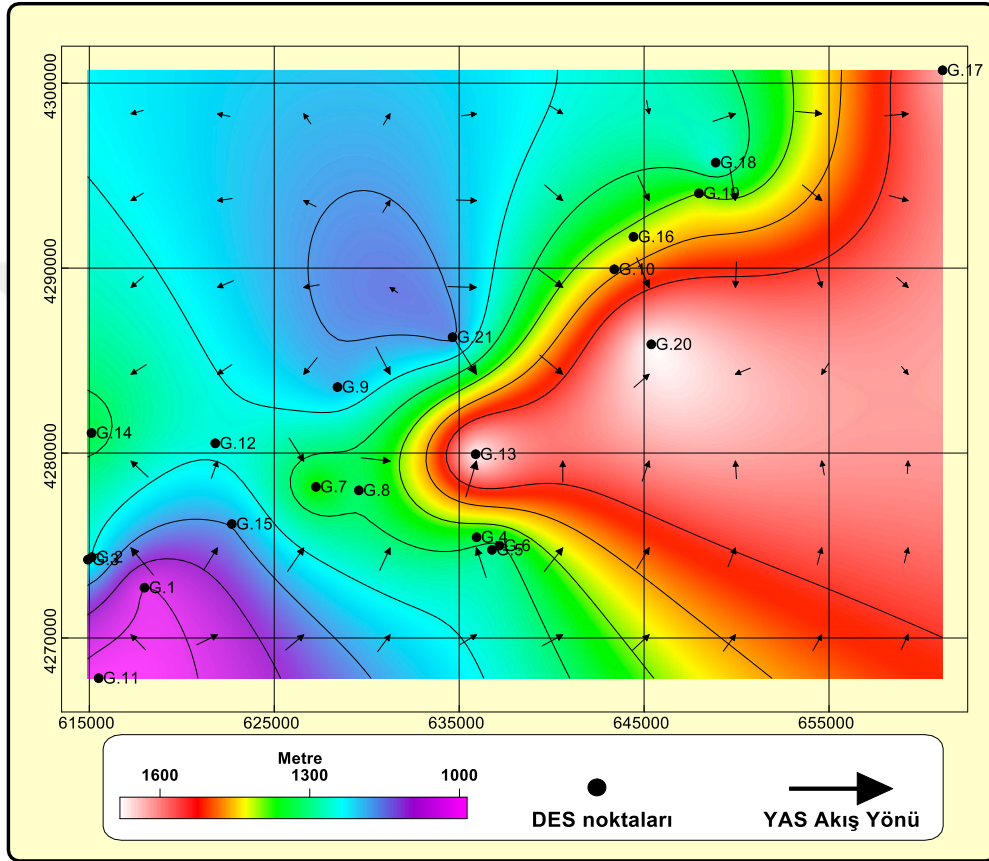
Bingöl İli Genç İlçesi sınırları içerisinde 21 farklı yerleşim yerlerinin içme ve kullanma su ihtiyacını karşılamak için derinlikleri 80-200 metre arasında değişen 21 lokasyonda jeofizik-Rezistivite (DES) çalışmaları yapılmıştır. Her nokta için DES çalışmaları sonucu elde edilen veriler IPI2Win yazılım programı kullanılarak her bir noktanın özdirenç değerleri, tabaka kalınlıkları ve diğer zemin parametreleri belirlenmiştir (Şekil 14).



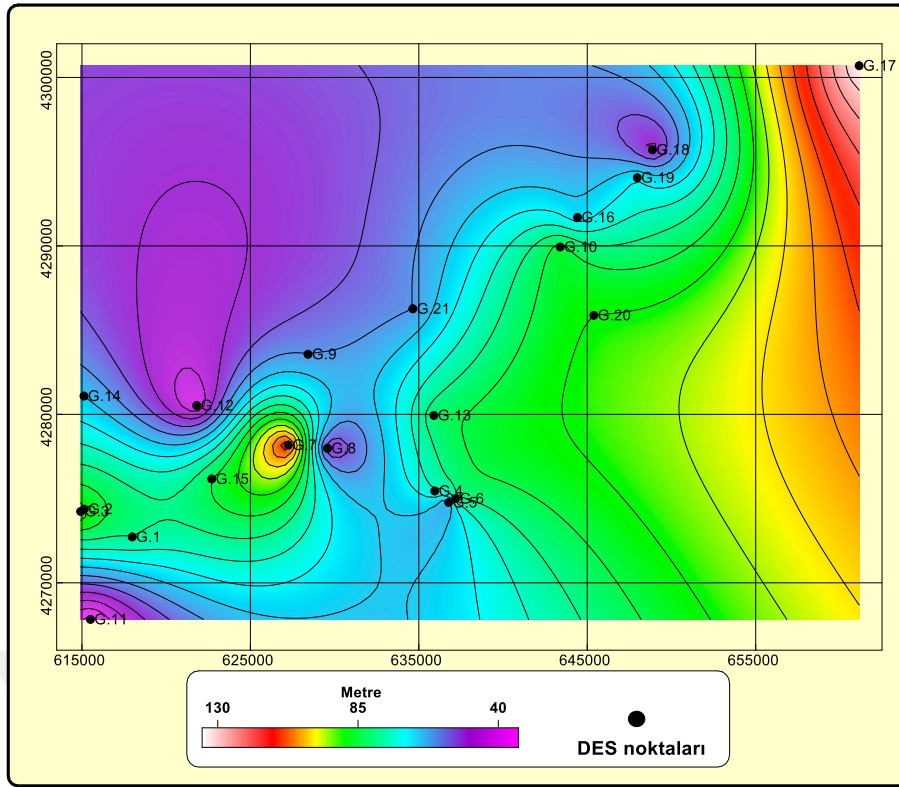


Şekil 14. Bingöl İli Genç İlçesi araziden elde edilen DES noktalarından görünür öz direnç arazi eğrisi ve tabaka parametreleri.

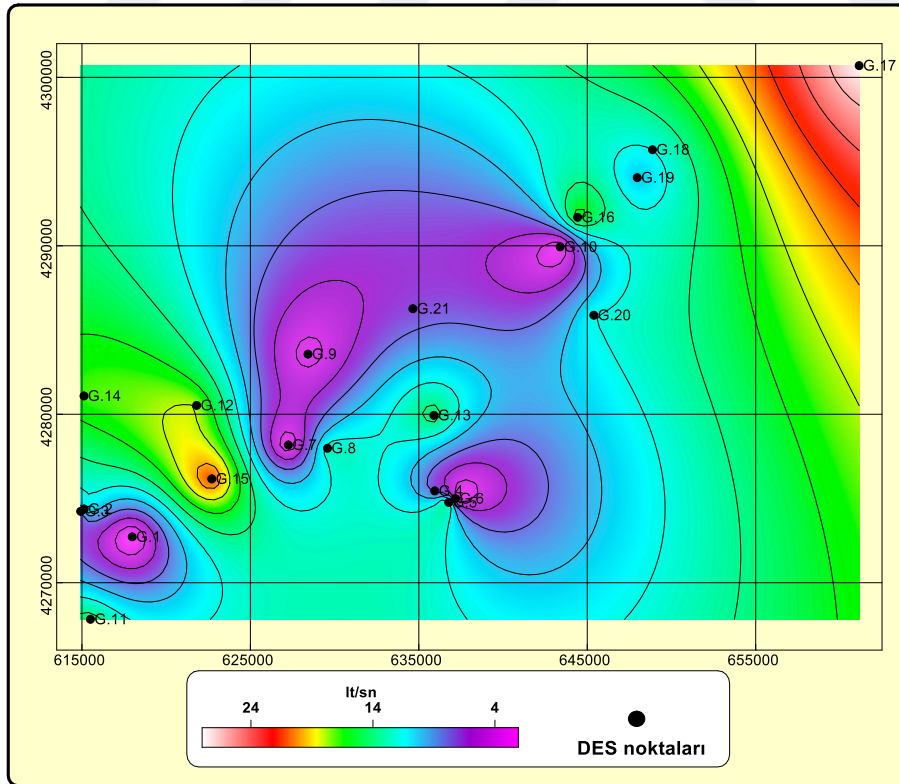
Yapılan jeofizik-Rezistivite (DES) ve hidrojeolojik çalışmalar sonrasında değişik firmalar tarafından 65-165 metre derinliklerinde sondaj kuyuları açılmıştır. Açılan sondaj kuyularda pompa tecrübeleri yapılarak, suyun debisi ve statik - dinamik sevipleri belirlenmiş ve gerekli analizler için su numuneleri alınmıştır. Hidrojeolojik, jeofizik ve sondaj çalışmalarına dayanarak, SURFER 10 programı kullanılarak yeraltı suyu akış yönü, yeraltı suyu derinliği ve yeraltı su debisi haritaları çizilmiştir (Şekil 15, 16, 17).



Şekil 15. Bingöl İli Genç İlçesi'nde açılan sondajlardan elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş yeraltı suyu akış yönü haritası.



Şekil 16. Bingöl İli Genç İlçesi'nde açılan sondajlardan elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş yeraltı suyu derinliği haritası.



Şekil 17. Bingöl İli Genç İlçesi'nde açılan sondajlardan elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş yeraltı suyu debisi haritası.

Bingöl İli Genç İlçesi sınırları içerisinde yapılan sondaj kuyularının derinlikleri 65-165, yeraltı su seviyeleri ise 33-115 metreler arasında değişmektedir. Genç İlçesi sınırlarında Lice Formasyonun kumtaşı, çakıltası ve marn ardalanmalı birimde açılmış bir adet sondaj (DES-G11) kuyusunun derinliği 104 metre ve 33 metrede artezyen yapmıştır. Guleman Ofiyolitinin gabro, diyabaz ve levha dayk kompleksinde açılmış üç adet sondaj (DES-G4, DES-G5, DES-G6) kuyusunun derinlikleri 67-125 metre arasında, yeraltı su seviyesi ise 60-80 metreler arasındadır. Genç İlçesi'nin doğusunda yüzeylenen Solhan Formasyonun bazalt, andezit ve tüfitlerinde bir adet 156 metre derinliğinde sondaj (DES-G17) kuyusu açılmış ve yeraltı suyu 130 metrede artezyen yapmıştır. Bitlis Masifinin gnays, şist ve metavolkanitler içerisinde ise 16 adet sondaj (DES- G1, DES- G2, DES- G3, DES- G7, DES- G8, DES- G9, DES- G10, DES- G12, DES- G13, DES- G14, DES- G15, DES- G16, DES- G18, DES- G19, DES- G20, DES- G21) kuyusu açılmıştır. Açılan sondaj kuyularının derinlikleri 65-175, yeraltı su derinlikleri de 40-115 metreler arasında değişmektedir (Şekil 16). Yeraltı suyunun akım yönü, topoğrafya ile uyumlu bir şekilde, yüksek kotlardan düşük kotlara doğru, yani dere ve nehirlerin akış yönüne doğrudur.

3.3. Suların Hidrojeokimyasal Karakteristikleri

Bingöl il merkezi ve Genç ilçesinden alınan 14 su numunesine ait Elektriksel İletkenlik (Eİ, $\mu\text{S}/\text{cm}$), sertlik (Fr) ve pH gibi parametreler ile mg/L cinsinden katyon ve anyon analiz sonuçları bu bölümde değerlendirilmiş olup, B1-B3 arası örnekler Bingöl il merkezinden, G1-G14 arası örnekler ise Bingöl ili Genç ilçesinden alınmıştır (Tablo 4).

Hidrojen iyonu, su içerisinde bulunan hidronyum ve hidroksil iyonlarına ait değerlerin artmasına ve/veya azalmasına göre asitlik veya baziklik özelliği hakkında bilgi vermektedir. Yeraltı sularının pH değeri genel olarak <7 olup asidik özelliğe sahip iken, yerüstü sularının pH değeri ise genellikle >8 olup bazik özelliğe sahiptir. Bu çalışma kapsamında, su sondajı yapılan alandan alınan su örneklerinin pH değerleri Bingöl il merkezinde 7.48 ile 7.64 arasında değişmekte, Genç ilçesindeki suların pH değerleri ise 7.13-8.02 arasında değişmektedir. Elde edilen pH değerlerine göre suların çok iyi kalitede (I. sınıf) olduğu belirlenmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Su örneklerinin analiz sonuçları.

Parametre	pH	Ca	Mg	Na	K	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	Sertlik	Elektriksel İletkenlik (EC)
Numune No										
B1	7.48	31.42	7.85	8.34	3.50	0.00	2.47	251.33	23.23	455.33
B2	7.59	22.58	5.02	7.75	3.46	15.57	8.45	182.00	17.83	381.00
B3	7.64	35.37	4.59	4.88	2.41	2.40	2.36	113.33	10.17	214.87
G1	7.99	8.76	3.24	3.69	1.01	138.18	16.60	62.67	11.63	427.00
G2	7.98	33.32	5.37	3.33	0.31	3.76	3.03	112.00	10.07	193.47
G3	7.80	4.44	3.56	4.28	0.68	7.79	3.04	93.33	5.53	137.53
G4	7.83	11.12	5.28	4.34	0.13	3.70	2.62	172.00	17.86	335.33
G5	7.03	15.54	4.65	23.21	0.68	139.31	5.47	113.33	16.67	457.00
G6	7.78	42.18	6.09	5.80	0.19	16.10	3.75	164.00	19.23	372.67
G7	8.02	46.61	5.66	3.50	0.88	3.26	2.76	130.67	12.33	262.00
G8	7.85	44.43	4.63	6.27	2.67	11.24	2.34	120.00	10.67	234.00
G9	7.22	15.54	1.85	4.44	0.81	3.74	2.35	62.67	6.11	106.00
G10	7.13	39.96	8.55	5.68	3.22	17.56	4.20	220.00	19.67	411.00
G11	7.16	73.93	7.66	13.55	1.90	10.21	2.21	318.67	26.83	553.00
Minimum	7.03	4.44	1.85	3.33	0.13	0.00	2.21	62.67	5.53	106.00
Maksimum	8.02	73.93	8.55	23.21	3.50	139.31	16.60	318.67	26.83	553.00
Ortalama	7.61	30.37	5.29	7.08	1.56	26.63	4.40	151.14	14.85	324.30
TS266	6-9	<75	<50	<200	<12	<250	<250		<50	
WHO	6.5-9.2	<200	-	<200	-	<250	<250		<50	

Sulama ve içme sularının sınıflandırılmasında bir değerlendirme kriteri olarak kullanılmayan özgül elektriksel iletkenlik (Eİ), iyon cinsine, sıcaklığa ve konsantrasyonu bağlı olarak değişmektedir (Ala, 2001). Saf suyun Eİ değeri 0,5 – 5 $\mu\text{mho/cm}$, içme sularının Eİ değeri ise 30–2000 $\mu\text{mho/cm}$ arasında değişmekte olup, suların Eİ değerleri artması sıcaklık ve iyon konsantrasyonunun artışı ile doğru orantılıdır (Şahinci,1991). Bingöl il merkezinde alınan suların elektriksel iletkenlik değerleri 214,87-455.33 arasında, Genç ilçesinden alınan su numunelerinin Eİ değerleri ise 106.00-533.00 arasında değişmekte olup (Tablo 4), her iki bölgeden de alınan suların Eİ değerleri her iki standarta göre I. sınıf su kalitesini özelliği taşımaktadır.

Çözünmüş halde Su içinde bulunan Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarının konsantrasyonlarından yararlanarak suların sertlik özellikleri belirlenmektedir. Fransız (F°) sertlik derecesi (Lenntech, 2014), suların sertliğinin belirlenmesinde en sık kullanılan sınıflandırmadır. CaCO_3 eşdeğeri olarak ifade edilen toplam kalıcı su sertliği Lenntech, (2014) tarafından geliştirilen formülle (bkz. Formül 1) hesaplanmaktadır. Yapılan hesaplanma neticesinde Genç ilçesi su örneklerinin sertlik değerleri 5.53 ile 26.83 F° arasında değişirken, Bingöl il merkezinden alınan suların sertlik değerleri ise 10.17 ile 23.23 F° arasında değişmektedir. Toplam kalıcı su sertliği hakkında bir gösterge vermek için Tablo 5'teki değerler kullanılmaktadır.

Tablo 5. Toplam kalıcı su sertliği tablosu (Lenntech, 2014).

CaCO ₃ olarak konsantrasyon	Sertlik Göstergesi
0-60 mg/L	Yumuşak su
61-120 mg/L	Orta derecede sert su
121-180 mg/L	Sert su
>181 mg/L	Çok sert su

Elde edilen bu değerler sonucunda Tablo 5'e göre, gerek Bingöl il merkezi gerekse Genç ilçesinden alınan su örneklerinin tamamının yumuşak su sınıfına girdiği açıkça görülmektedir. Ayrıca tüm suların sertlik değerleri < 50 olduğundan TS 266 standartına ve Dünya Sağlık Örgütü İçme kullanma standartlarına uygun olduğu belirlenmiştir.

Suların bünyesindeki majör iyonlardan Ca⁺², Mg⁺², Na⁺ ve K⁺ katyonları ile HCO₃⁻, CO₃⁻², SO₄⁻² ve Cl⁻ anyonları oluşturmaktadır. Bu çalışma kapsamında analizi edilen su örneklerinin katyon ve anyon iyonlarına ait konsantrasyon değerleri Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE-266, 2005) tarafından içme suları için belirlenen sınır değerlere göre değerlendirilmiştir.

Kalsiyum % ağırlık değerine göre yer kabuğunda O, Si, Al ve Fe'den sonra beşinci (%3.5) tatlı sularda ise üçüncü sırayı almaktadır (Şahinci, 1991). Kalsiyum yeraltı sularına, kalsit, aragonit, dolomit, jips, anhidrit, fluorit gibi silikatlı olmayan minerallerin ve albit, anortit, piroksen ve amfibol gibi silikatlı minerallerdeki Ca⁺² 'nın eritilmesi ile karışabilir (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). Tatlı sularda ve yer kabuğunda en fazla bulunan elementler sıralamasında sekizinci sırada yer alan magnezyumun, doğal sulardaki kaynağını dolomit, evaporit, olivin, biyotit, hornblend, ojit, serpantin, talk, diyopsit, tremolit mineralleri oluşturmaktadır (Şahinci, 1991).

Evaporitlerin ve Na⁺ iyonu içeren minerallerin yağış suları tarafından kimyasal olarak bozunmaları ile doğal sulara karışan Na⁺ iyonunun kaynağını feldspat, plajiyoklaz, nefelin, sodalit, stilbit, natrolit, jadelit ve benzeri mineraller oluşturmakla birlikte Yeraltı sularında sodyum zenginleşmesinin bir başka nedeni de sodyum iyonlarının, kalsiyum ve magnezyum iyonlarının soğurma ve iyon değişimi ile yerini alması şeklinde açıklanabilmektedir. (Şahinci, 1991). Türk Standartları Enstitüsü (TSE-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) tarafından içme suları için belirlenen sınır değerlere göre ve suya tuzlu bir tat vermesinden dolayı içme sularında 200mg/L'den fazla sodyum konsantrasyonu istenmemektedir.

Potasyum elementi de sodyum kadar yer kabuğunda bulunurken, magmatik kayalarda genel olarak sodyum miktarı, tortul kayalarda ise potasyum miktarı fazla

bulunmaktadır. Potasyum (K^+) bitkiler tarafından ve çok büyük miktarı kil mineralleri tarafından güçlü bir şekilde soğurulmaktadır (Şahinci, 1991). Doğal sularda K^+ konsantrasyon miktarı genelde 20 mg/L'yi geçmemektedir.

Bu çalışmada incelenen suların Ca konsantrasyonları Bingöl il merkezinde 22.58-35.57 mg/L arasında, Genç ilçesinde 4.44-73.93 mg/L arasında; Mg konsantrasyonları Bingöl il merkezinde 4.59-7.85 mg/L arasında, Genç ilçesinde 1.85-8.55 mg/L arasında, Na değerleri Bingöl il merkezinde 4.88-8.34 mg/L arasında, Genç ilçesinde 3.33-23.21 mg/L arasında ve K katyonuna ait konsantrasyonlar Bingöl il merkezi ve Genç ilçesinde sırasıyla 2.41-3.50 mg/L, 0.13-3.22 mg/L arasında değişmektedir.

Kalsiyum konsantrasyonunun <75 mg/L, Mg^{+2} değerinin <50 mg/L', Sodyum derişiminin <200 mg/L ve potasyum değerinin <12 mg/L olmasının gerektiği TS-266 içme suları standartında ifade edilmektedir. Buna göre yukarıda değişim aralıkları majör katyonların TS-266 standartını sağladığı açıkça görülebilmektedir (Tablo 4).

Suların majör iyonlarını oluşturan anyonlardan HCO_3^{-2} atmosfer ve topraktaki karbonatlı kayaçların erimesi ile ortaya çıkmaktadır. Klorür iyonunun eksi yüklü oluşu klorürün kolloidler tarafından tutulmasını engellemesinin yanı sıra iyon yarıçapının büyük olmasına bağlı olarak d Ca, Mg, Na ve K gibi elementlerle yaptığı tuzların suda kolayca çözünmesine neden olmaktadır (Demiroğlu, 2008). Yeraltısuları içerisinde sülfat değerleri genellikle düşük olmakla birlikte, sülfat iyonunun sulardaki kaynağını piritin oksitlenmesi, jips ve anhidritlerin çözünmesi ve atmosferdeki H_2S gazları oluşturmaktadır.

İnceleme sahasından toplanan su numunelerinin ana anyonlarına ait ve Tablo 4'te verilen sonuçlar incelendiğinde; SO_4^{-2} değerinin Bingöl il merkezinden alınan su örneklerinde 2.40-15.57 mg/L arasında, Genç ilçesinden alınan sularda 26.63-139-31 mg/L arasında, Cl^- iyonuna ait konsantrasyonun Bingöl il merkezinden alınan su örneklerinde 2.36-8.45 mg/L arasında, Genç ilçesinden alınan sularda 2.21-16.60 mg/L arasında ve HCO_3^{-2} anyonuna ait konsantrasyonlar Bingöl il merkezi ve Genç ilçesinde sırasıyla 113.33-251.33 mg/L, 62.67-318.67 mg/L arasında değişmektedir.

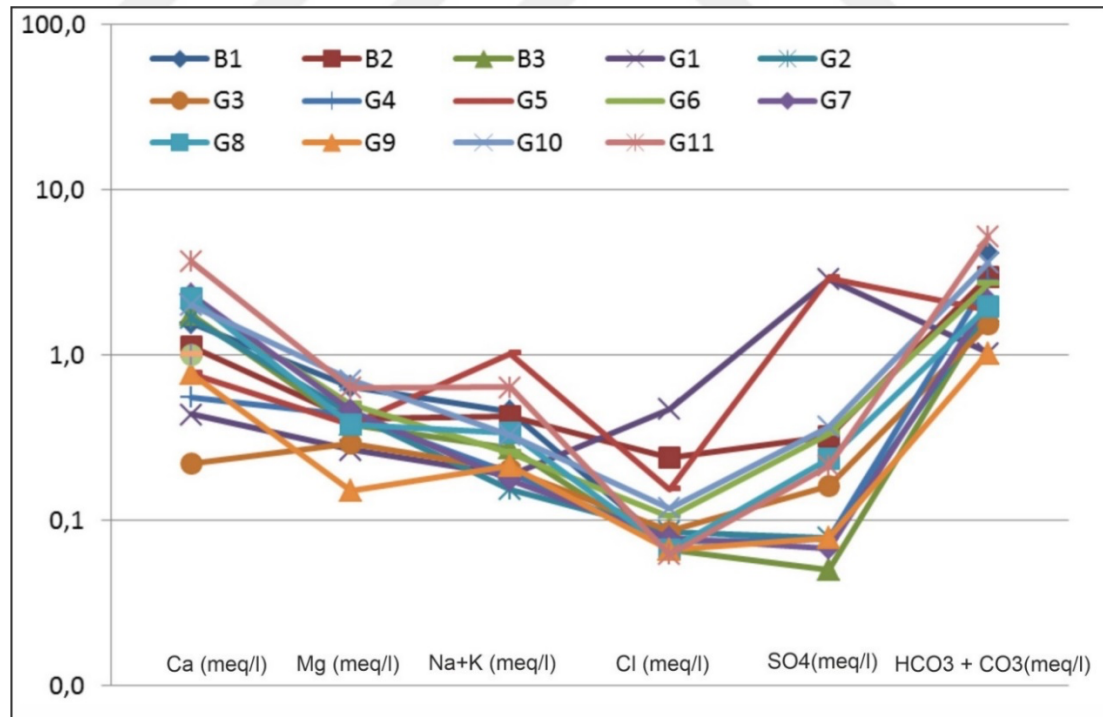
TS-266, standartında SO_4^{-2} ve Cl^- konsantrasyonlarının <250 mg/L gerektiği belirtilmektedir. Söz konusu standart değerleri ile bu çalışmada analizi yapılan su örneklerinden elde edilen sülfat ve klor anyon değerlerinin standartlar içerisinde kaldığı açıkça görülebilmektedir (Tablo 4).

Su tipleri ve Suların kimyasal yapısı ve sülfat, klorür ve karbonat içeriklerine göre sınıflandırmaları yapılmıştır (Schoeller, 1955; Piper, 1944). Schoeller (1955) tarafından geliştirilen suların sınıflandırılmasının verildiği Tablo 6'ya göre, gerek

Bingöl il merkezinden gerekse Genç ilçesinden derlenen suların klorür içeriğine göre, G1 nolu (Oligoklorürlü sular) örnek hariç diğer tüm örneklerin normal klorürlü sular, sülfat içeriğine göre tüm suların normal sülfatlı sular sınıfına girdiği, karbonat sınıflamasına göre ise hipokarbonatlı sular sınıfına girdiği belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, katyon-anyon konsantrasyonlarındaki dağılımlarının $Ca > Na > Mg > K$ ve $HCO_3 > SO_4 > Cl$ şeklinde sıralaması gösterdiği tespit edilmiştir (Schoeller, 1955; Şekil 18).

Tablo 6. Klorür, sülfat ve karbonat içeriklerine göre suların sınıflandırılması

Klorür Sınıflaması		Sülfat Sınıflaması		Karbonat Sınıflaması	
Su Sınıfı	Klorür Miktarı (meq/L)	Su Sınıfı	Sülfat Miktarı (meq/L)	Su Sınıfı	Karbonat Miktarı (meq/L)
Hipoklorürlü sular	>700	Hiposülfatlı sular	>58	Hiperkarbonatlı sular	>7
Klorotalastik sular	420-700	Sülfatlı sular	24-58	Normal karbonatlı sular	2-7
Klorürce zengin sular	140-420	Oligosülfatlı sular	6-24	Hipokarbonatlı sular	<2
Orta klorürlü sular	40-140	Normal sülfatlı sular	<6		
Oligoklorürlü sular	15-40				
Normal klorürlü sular	<15				



Şekil 18. Çalışma alanı örneklerinin Schoeller diyagramı.

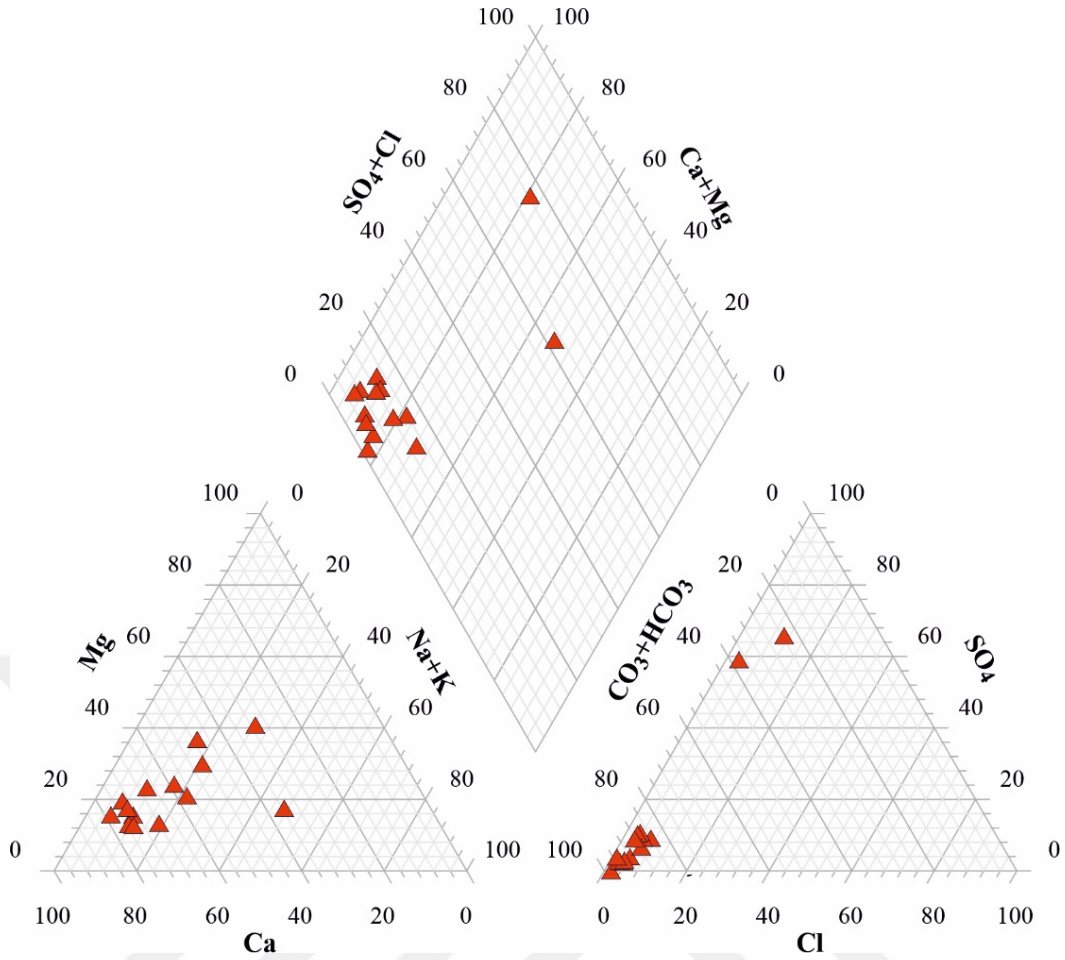
Suların tiplerini belirlenebilmekte kullanılan Piper diyagramı (Piper 1944) sulardaki temel anyon ve katyonların meq/l oranları kullanılarak oluşturulmakta olup, iyon miktarları bu diyagramda % ile gösterilmektedir. Diyagramda ki üçgenin

birincisinde esas anyonlar (SO_4^{-2} , CO_3^{-2} , HCO_3^- ve Cl^-), ikincisinden ise esas katyonlar (Ca^{+2} , Mg^{+2} ve Na^+ , K^+) yer almaktadır.

Piper diyagramına göre yapılan bu sınıflama jeolojik ve diğer verilerle suların kökeni hakkında bilgi verebilmektedir. Ancak şunu da belirtmek gerekir ki, suların geldiği kaya hakkında kesin kanıya ulaşılamayacağını da ifade etmektedir. Bingöl il merkezi ve Genç ilçesinden alınan su örneklerinin analiz sonuçlarından elde edilen anyon ve katyonlara ait meq/l cinsinden konsantrasyon değerleri genel olarak incelendiğinde, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , SO_4^{-2} , Cl^- ve HCO_3^- konsantrasyonlarının ortalamasının sırasıyla 1.52 meq/L, 0.44 meq/L, 0.31 meq/L, 0.04 meq/L, 0.55 meq/L, 0.12 meq/L ve 2.48 meq/L (Tablo 7) olduğu görülmektedir. Bu verilere göre inceleme alanındaki suların bikarbonatlı (HCO_3^-) ve Mg'lu, düşük $\text{SO}_4^{-2}+\text{Cl}^-$ içeren $\text{Ca}+\text{Mg}$ 'lu karışık bileşimli olduğu açıkça anlaşılmaktadır (Şekil 19).

Tablo 7. Piper diyagramında kullanılan anyon ve katyonların değerleri (meq/L)

Numune no	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^+	K^+	SO_4^{-2}	Cl^-	HCO_3^-
B1	1,57	0,65	0,36	0,09	0,00	0,07	4,12
B2	1,13	0,41	0,34	0,09	0,32	0,24	2,98
B3	1,76	0,38	0,21	0,06	0,05	0,07	1,86
G1	0,44	0,27	0,16	0,03	2,88	0,47	1,03
G2	1,66	0,44	0,14	0,01	0,08	0,09	1,84
G3	0,22	0,29	0,19	0,02	0,16	0,09	1,53
G4	0,55	0,43	0,19	0,00	0,08	0,07	2,82
G5	0,78	0,38	1,01	0,02	2,90	0,15	1,86
G6	2,10	0,50	0,25	0,00	0,34	0,11	2,69
G7	2,33	0,47	0,15	0,02	0,07	0,08	2,14
G8	2,22	0,38	0,27	0,07	0,23	0,07	1,97
G9	0,78	0,15	0,19	0,02	0,08	0,07	1,03
G10	1,99	0,70	0,25	0,08	0,37	0,12	3,61
G11	3,69	0,63	0,59	0,05	0,21	0,06	5,22
Ortalama	1,52	0,44	0,31	0,04	0,55	0,12	2,48
Minimum	0,22	0,15	0,14	0,00	0,00	0,06	1,03
Maksimum	3,69	0,70	1,01	0,09	2,90	0,47	5,22

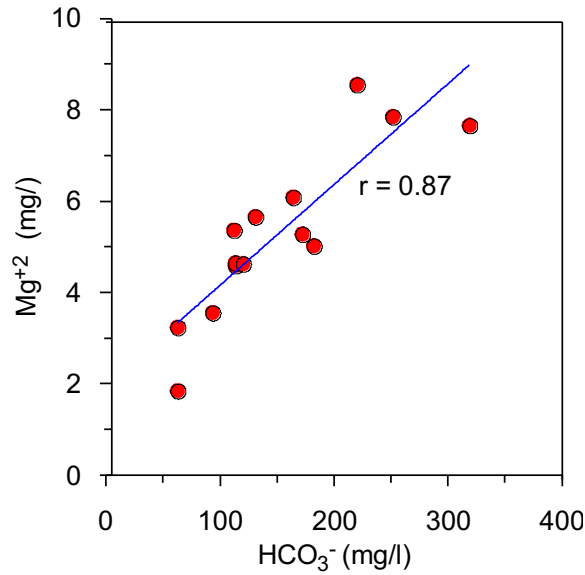


Şekil 19. Örneklerin Piper diyagramındaki dağılımı.

Çalışma alanından derlenen tüm su örneklerine ait anyon ve katyonlar arasındaki ilişkiyi belirlemek adına yapılan korelasyon analizi (Tablo 8) sonucu; katyonlar arasında en belirgin ilişki Ca ve Mg iyonu arasında ($r=0.65$), anyonlar arasında en belirgin ilişki ise Cl ve SO_4 iyonları arasında ($r=0.74$) tespit edilmiştir. Genel olarak anyon ve katyonlar arasındaki en kuvvetli pozitif korelasyonun Mg ve HCO_3 iyon çifti ($r=0.87$) arasında (Şekil 20) gerçekleştiği belirlenmiş olup, bu durum Varol ve Şekerci, (2018) tarafından kaya su etkileşimi sonucu meydana gelmesi ile açıklanmaktadır.

Tablo 8. Korelasyon analiz sonuçları

	Na	K	Ca	Mg	HCO_3^-	Cl ⁻	SO_4^{2-}
Na	1,00	0,07	0,12	0,19	0,29	-0,02	0,52
K		1,00	0,30	0,46	0,48	0,00	-0,21
Ca			1,00	0,65	0,66	-0,41	-0,38
Mg				1,00	0,87	-0,29	-0,28
HCO_3^-					1,00	-0,30	-0,34
Cl ⁻						1,00	0,74
SO_4^{2-}							1,00

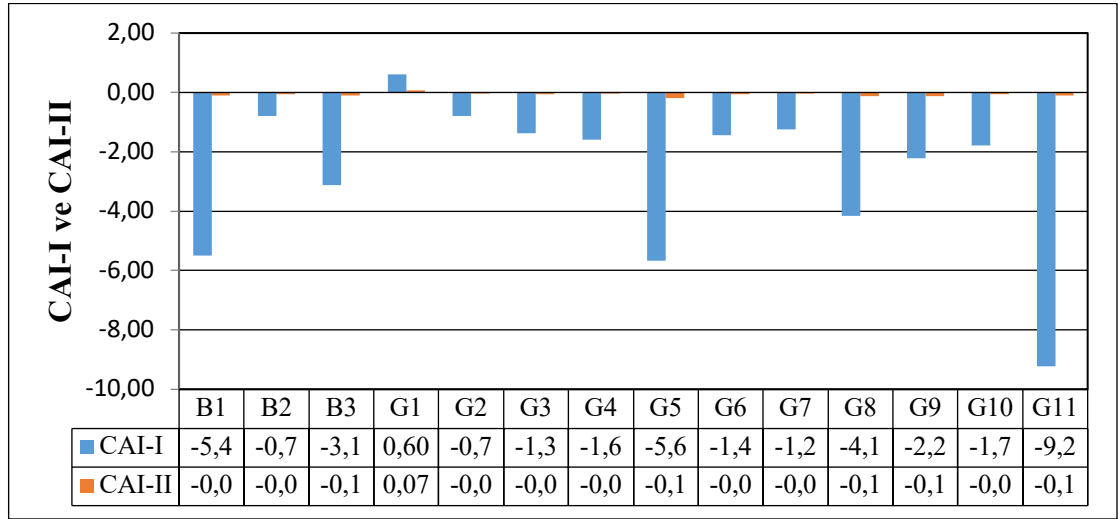


Şekil 20. Mg⁺² ve HCO₃⁻ iyonları arasındaki pozitif korelasyon

3.4. Hidrojeokimyasal Süreçler

Hidrojeokimyasal süreç kapsamında bu bölümde, inceleme sahasından alınan 14 adet su numunesinin sonuçlarından yararlanılarak; ayrışma, iyon değişimi ve çözünme gibi süreçler incelenmiştir. Yousef vd., (2009), iyonların göreceli hareketliliği ve su-kayaç etkileşiminin, su kalitesini ve suların içilebilirliğini kontrol eden mekanizma olduğunu, Gibbs, (1970) ise sularının bileşimini, kayaç etkileşimini, akifer litolojisi ile ilişkisini ve buharlaşma baskınlığını tespit edebilmek için majör anyon ve katyonların derişim değerlerinin kullanıldığını ifade etmektedirler. Bu tez çalışmasının amacına bağlı olarak, inceleme sahasından alınan su numunelerinin Cl/(Cl+HCO₃) oranlarının, Bingöl il merkezinde 0.01-0.04 arasında, Genç ilçesindeki 0.01-0.21 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Su-kayaç arasındaki iyon değişimini açıklamak için Schoeller (1965 ve 1967) tarafından önerilen CAI (Chloro Alkaline Indices) indislerinden yararlanılmıştır.

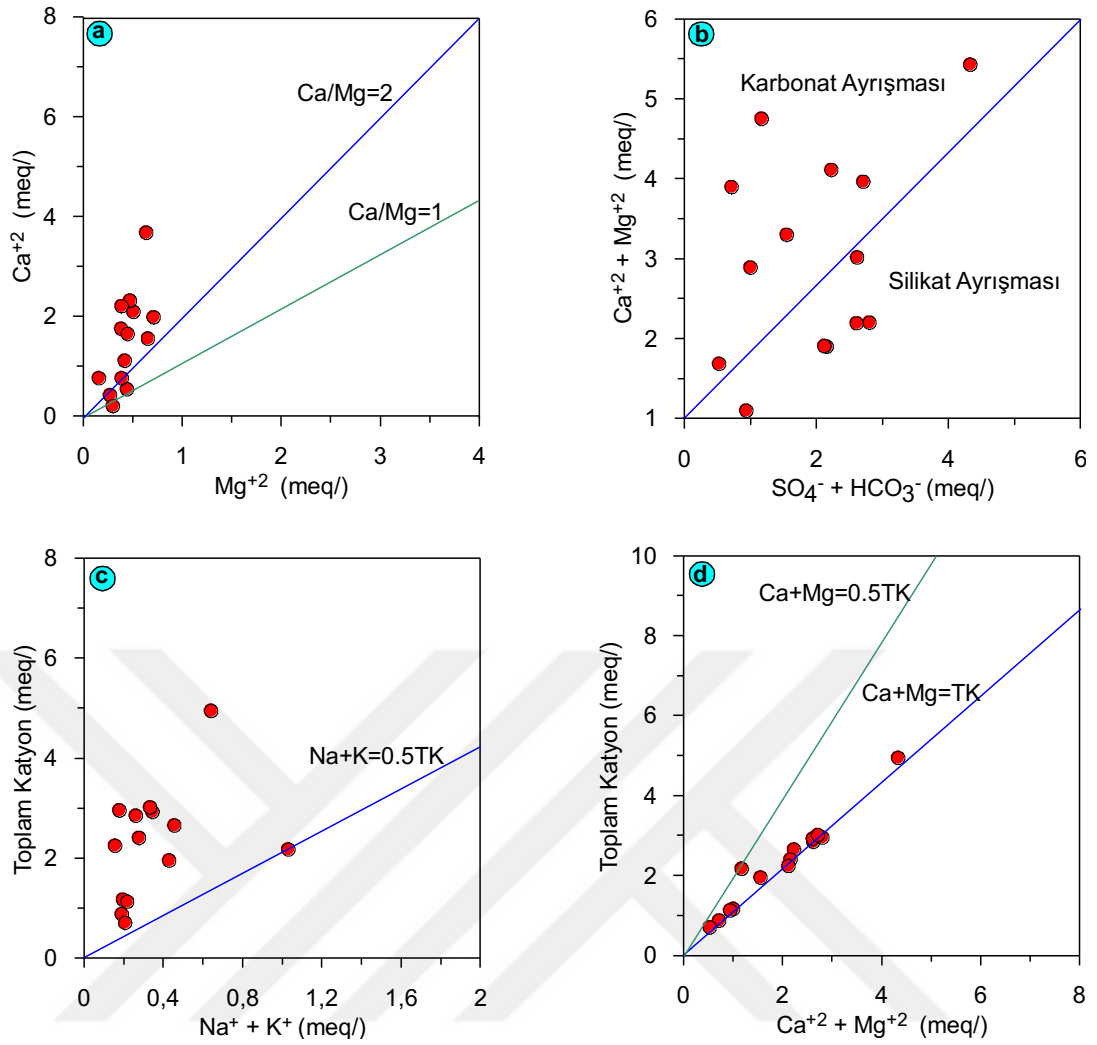
Sulardaki sodyum ve potasyum ile kayaçlardaki kalsiyum ve magnezyumun yer değiştirmesi doğrudan değiş tokuş (pozitif CAI-II değerleri), değişimin tersi olduğu durumda ise ters değiş tokuş (negatif CAI-II değerleri) olarak adlandırılmaktadır (Bastam ve Gültekin, 2017). (2) ve (3) nolu Schoeller (1965 ve 1967) tarafından belirtilen formüllerle hesaplanan CAI-I değerleri 0.60 ile -9.23 arasında, CAI-II değerleri ise 0.07 ile -0.18 arasında değişim göstermektedir (Şekil 21).



Şekil 21. Örneklerin kloroalkalin indekslerine (CAI-I ve CAI-II) göre dağılımı

Hesaplanan CAI-I ve CAI-II değerleri değerlendirildiğinde; Bingöl il merkezinden alınan su numunelerinin tamamında ve Genç ilçesi su numunelerinden G1 nolu örnek hariç CAI-I ve CAI-II değerlerinin negatif olması sularda bulunan Mg^{+2} ve Ca^{+2} katyonları ile kayalardaki Na^{+} ve K^{+} katyonlarının yer değiştirdiği ve ters değiş tokuşun meydana geldiğini ifade etmektedir. Genç ilçesi G1 nolu örnekte CAI-I ve CAI-II değerlerinin pozitif olarak belirlenmesinin ise doğrudan değiş tokuşun meydana geldiğini göstermektedir.

Su örneklerinin analiz sonuçlarından yararlanarak, ayrışma indislerinin belirlenmesi kapsamında karbonat ve silikat ayrışma indisleri belirlenmiştir. Bu kapsamda hazırlanan grafiklerde (Şekil 22a ve 22b) sularda karbonat ve silikat ayrışmasının etkili olduğu açıkça görülmektedir. Bu durum kayalardaki silikat minerallerinin çözünmesi sonucu açığa çıkan Ca^{+2} ve Mg^{+2} 'nin sulara karışması şeklinde açıklanabilir (Katz vd., 1998). Sularda karbonat ayrışmasından ziyade silikat ayrışmasının daha etkili (Stallard ve Edmond, 1983; Aksever, 2019) olduğu ise Şekil 22c ve 22d' görülmektedir.



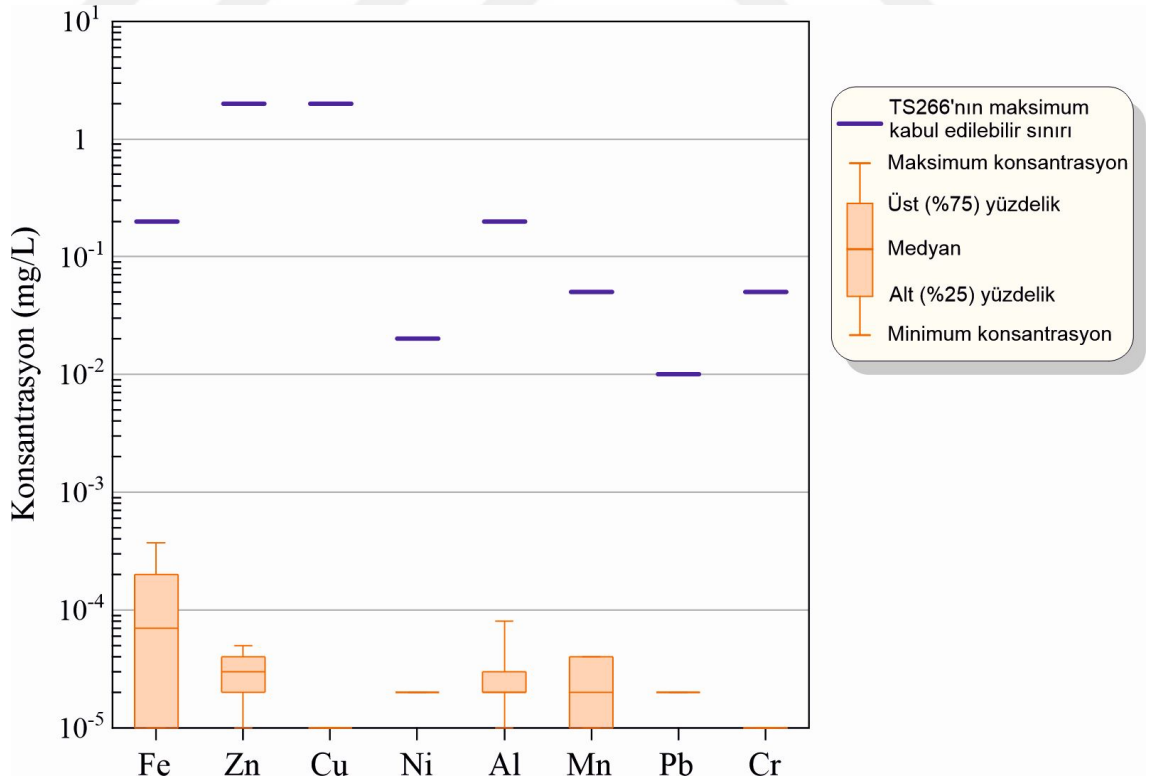
Şekil 22. Suların ayrışma diyagramları.

3.5. Potansiyel Toksik Element İçeriklerinin Değerlendirilmesi

Çalışma alanından alınan sularda kirletici unsurları tespit etmek için, su numunelerinde ağır metal analizleri de gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları Tablo 9’da, analiz sonuçlarına göre hazırlan diyagram ise Şekil 23’te verilmektedir. Ağır metal analiz sonuçları çalışma alanında genel olarak TS266 standartları ve Dünya Sağlık Örgütüne göre değerlendirilmiş olup gerek Bingöl il merkezi gerekse Genç ilçesinden alınan su numunelerine ait ağır metal konsantrasyonlarının standartların sınır değerlerini aşmadığı gözlenmiştir.

Tablo 9. İz element analiz ($\mu\text{g/L}$) sonuçları (ösa: ölçüm sınırı altında)

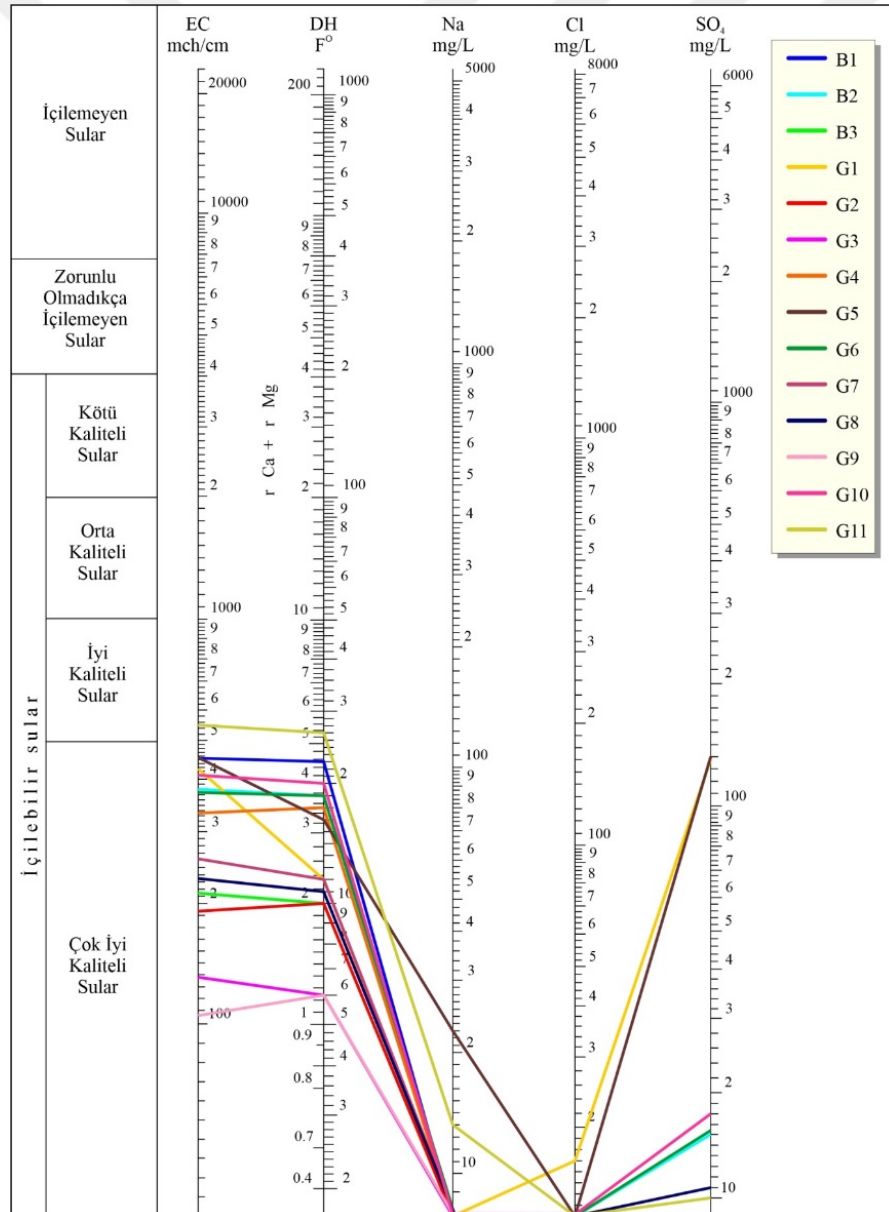
Örnek No	Fe	Zn	Cu	Al	Mn	Ni	Pb
B1	ösa	ösa	ösa	0,02	ösa	0,02	ösa
B2	ösa	ösa	ösa	0,03	ösa	ösa	ösa
B3	0,20	0,05	ösa	0,08	ösa	ösa	ösa
G1	ösa	0,01	ösa	0,02	ösa	ösa	ösa
G2	ösa	0,05	ösa	0,03	ösa	ösa	0,02
G3	0,09	0,02	ösa	0,02	0,02	ösa	ösa
G4	ösa	0,01	ösa	ösa	ösa	ösa	ösa
G5	0,05	0,04	0,01	0,03	ösa	ösa	ösa
G6	ösa	0,02	ösa	0,01	ösa	ösa	ösa
G7	0,01	0,04	ösa	0,02	0,01	ösa	ösa
G8	0,37	0,03	ösa	0,00	0,04	ösa	ösa
G9	0,01	0,03	ösa	0,02	ösa	ösa	ösa
G10	ösa	0,04	ösa	0,01	0,04	ösa	ösa
G11	0,03	0,06	ösa	0,02	0,03	ösa	0,02
Minimum	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02
Maksimum	0,37	0,06	0,01	0,08	0,04	0,02	0,02
Ortalama	0,05	0,03	0,00	0,02	0,01	0,02	0,02
TS-266	<200	<5000	<2000	<200		<20	<10
WHO	<300	<15000	<2000	<200		<20	<10



Şekil 23. Su örneklerinin potansiyel toksik element içeriklerinin dağılımı

3.6. Suların İçilebilirliği ve Kalitesi

Sertlik, Elektriksel iletkenlik, Na^+ katyonu ile Cl^- ve SO_4^{2-} anyonlarının konsantrasyon değerlerinin değerlendirilmesi ile suların içilebilirliği Schoeller içilebilirlik diyagramı kullanılarak belirlenmektedir. Bu çalışma kapsamında, TSE 266 ve WHO standartlarına göre değerlendirilen sular, Schoeller içilebilirlik diyagramı kullanılarak da değerlendirilmiştir (Şekil 24). İlgili şekilde görüleceği üzere Bingöl il merkezinden alınan su numunelerinin (B1,B2 ve B3 nolu örnekler) tüm parametreler açısından çok iyi kaliteli sular sınıfında yer aldığı, Genç ilçesindeki G1 nolu örneğin sertlik ve elektriksel iletkenlik parametresi açısından iyi kaliteli sular sınıfında yer aldığı, diğer tüm örneklerin ise tüm parametreler açısından çok iyi kaliteli sular sınıfında yer aldığı belirlenmiştir.



Şekil 24. Su örneklerinin Schoeller içilebilirlik diyagramındaki konumları.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bingöl İli Merkez ve Genç İlçesi'nde yeraltı su seviyesinin belirlenmesine yönelik olarak jeolojik-jeofizik çalışmalar birlikte değerlendirilmiştir. Jeofizik çalışmalarından Düşey Elektrik Sondajda Schlumberger elektrot dizilimi kullanılarak elde edilen veriler, kesitler ve haritalar elde edilmiş ve uygun sondaj noktaları belirlenmiştir. Sondaj çalışması sonrası 27 adet kuyudan alınan 14 su numuneleri alınmış bu numuneler üzerinde anyon ve katyon ölçümlerinin pH, sertlik (F°) ve elektriksel iletkenlik (EI) gibi fiziksel ve kimyasal parametrelerinin belirlenmiştir. Bu çalışmanın başlıca sonuçları aşağıda verilmiştir.

Çalışma alanı ve yakın çevresindeki yaşlıdan gence doğru; Bitlis Metamorfikleri, Guleman Ofiyoliti, Yüksekova Karmaşığı, Maden Karmaşığı, Gevlaçayı Formasyonu, Lice Formasyonu, Adilcevaz Formasyonu, Solhan Formasyonu, Palu Formasyonu ve Alüvyon birimleri yer almaktadır.

Çalışma sahası olan Bingöl İli Merkez ve Genç İlçesi'nde toplamda 27 noktada uygun su sondaj kuyularının yerlerinin tespit edilmesi için, yapılan jeofizik ölçümler sonucu DES verileri elde edilmiştir. Arazide elde edilen düşey elektrik sondaj verilerinin yorumlanmasında IPI2WIN programında tabakların öz direnç değerleri, derinlikleri ve kalınlıklarının belirlenmesi, alanın hidrojeolojik verilerinin belirlenmesi ve muhtemel yeraltı suyu veren formasyon profili çıkarılmıştır. Hesaplamalar yapılarak değerlendirilen veriler sonucunda su sondaj kuyuları açılmıştır. Su sondaj kuyuları açılması esnasında geçilen zemin DES verileri ile korelasyonu yapılmış ve sondaj sonrasında kuyuların su seviyeleri ve debileri tespit edilmiştir. SURFER 10 programı kullanılarak yeraltı suyu akış yönü, yeraltı suyu derinliği ve yeraltı su debisi haritaları çizilmiştir.

Bingöl İli Merkez'de yapılan jeofizik-rezistivite (DES) ve hidrojeolojik çalışmalar sonrasında 80-140 metre derinliklerinde 6 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Açılan sondaj kuyularının su seviyeleri 23-90 metre arasında ve su debileri ise 2-8 lt/sn arasında olduğu tespit edilmiştir. Bingöl İli Genç İlçesi'nde yapılan jeofizik-rezistivite (DES) ve hidrojeolojik çalışmalar sonrasında 65-165 metre derinliklerinde 21 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Açılan sondaj kuyularının su seviyeleri 33-115 metre arasında ve su debileri ise 1,2-28 lt/sn arasında olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında, su sondajı yapılan alandan alınan su örneklerinin pH değerleri Bingöl il merkezinde 7.48 ile 7.64 arasında değişmekte, Genç ilçesindeki

suların pH değerleri ise 7.13-8.02 arasında değiştiği, pH değerlerinin kullanılan her iki standartta göre suların I. sınıf (çok iyi) kalitede olduğunu belirtmektedir.

Bingöl il merkezinde alınan suların elektriksel iletkenlik değerlerinin 214,87-455.33 arasında, Genç ilçesinden alınan su numunelerinin Eİ değerleri ise 106.00-533.00 arasında değiştiği, buna göre her iki bölgeden de alınan suların Eİ değerlerinin her iki standartta göre I. sınıf su kalitesi sınıfında kalmaktadır.

Genç ilçesinden alınan örneklerde sertlik değerlerinin 5.53 ile 26.83 F° arasında değiştiği, Bingöl il merkezinden alınan örneklerde sertlik değerlerinin ise 10.17 ile 23.23 F° arasında değiştiği, buna göre su örneklerinin tamamının yumuşak su sınıfına girmektedir.

İncelenen suların Ca konsantrasyonları Bingöl il merkezinde 22.58-35.57 mg/L arasında, Genç ilçesinde 4.44-73.93 mg/L arasında; Mg konsantrasyonları Bingöl il merkezinde 4.59-7.85 mg/L arasında, Genç ilçesinde 1.85-8.55 mg/L arasında, Na değerleri Bingöl il merkezinde 4.88-8.34 mg/L arasında, Genç ilçesinde 3.33-23.21 mg/L arasında ve K katyonuna ait konsantrasyonlar Bingöl il merkezi ve Genç ilçesinde sırasıyla 2.41-3.50 mg/L, 0.13-3.22 mg/L arasında değişmektedir. Buna göre majör katyonların TS-266 standartını sağladığı tespit edilmiştir.

İnceleme sahasından toplanan su numunelerinin ana anyonlarına ait analiz sonuçlarına göre; SO_4^{2-} değerinin Bingöl il merkezinden alınan su örneklerinde 2.40-15.57 mg/L arasında, Genç ilçesinden alınan sularda 26.63-139.31 mg/L arasında, Cl^- iyonuna ait konsantrasyonun Bingöl il merkezinden alınan su örneklerinde 2.36-8.45 mg/L arasında, Genç ilçesinden alınan sularda 2.21-16.60 mg/L arasında ve HCO_3^{2-} anyonuna ait konsantrasyonlar Bingöl il merkezi ve Genç ilçesinde sırasıyla 113.33-251.33 mg/L, 62.67-318.67 mg/L arasında değiştiği, buna bağlı olarak TS-266, standartında her iki anyonun da standartlar içerisinde kaldığı belirlenmiştir.

Bingöl il merkezinden ve Genç ilçesinden derlenen sular klorür içeriğine göre, G1 nolu (Oligoklorürlü sular) örnek hariç diğer tüm örneklerin normal klorürlü sular, sülfat içeriğine göre tüm suların normal sülfatlı sular, karbonat sınıflamasına göre ise hipokarbonatlı sular sınıfında yer almaktadır. Piper diyagramına göre inceleme alanındaki sular bikarbonatlı (HCO_3^-) ve Mg'lu, düşük $\text{SO}_4^{2-}+\text{Cl}^-$ içeren Ca+Mg'lu karışık bileşimlidir.

Bingöl il merkezinden alınan su numunelerinin tamamında ve Genç ilçesi su numunelerinden G1 nolu örnek hariç CAI-I ve CAI-II değerlerinin negatif olmasına bağlı olarak, sularda bulunan Mg^{+2} ve Ca^{+2} katyonları ile kayalardaki Na^+ ve K^+ katyonlarının yer değiştirdiği şeklinde, Genç ilçesi G1 nolu örnekte CAI-I ve CAI-II

değerlerinin pozitif olarak belirlenmesi sulara bulunan Na^+ ve K^+ katyonlarının kayalarındaki yer alan Mg^{+2} ve Ca^{+2} iyonları ile yer değiştirdiği tespit edilmiştir.

Su örneklerinin analiz sonuçlarından yararlanarak, hesaplanan karbonat ve silikat ayrışma indislerine göre hazırlanan grafiklere göre sulara karbonat ve silikat ayrışmasının etkili olduğu belirlenmiştir.

Çalışma alanındaki su numunelerinin ağır metal analiz sonuçları TS266 standartlarına göre ve Dünya Sağlık Örgütüne göre tüm örneklere ait ağır metal konsantrasyonlarının standartları sağlamaktadır.

Bingöl il merkezinden alınan su numunelerinin (B1,B2 ve B3 nolu örnekler) sertlik, Elektriksel iletkenlik, Na^+ katyonu ile Cl^- ve SO_4^{-2} anyonları açısından çok iyi kaliteli sular sınıfında yer aldığı, Genç ilçesindeki G1 nolu örneğin elektriksel iletkenlik ve sertlik parametresi açısından iyi kaliteli sular sınıfında yer aldığı, diğer tüm örneklerin ise bütün parametreler açısından çok iyi kaliteli sular sınıfında yer aldığı belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

- Altunbey, M. Sağıroğlu, A., 1995. Koçkale-Elazığ manganez cevherleşmelerinin özellikleri ve kökeni. MTA Dergisi 117, 139-148.
- Bakır, M. F., 2014. Lice-Kulp (Diyarbakır) Bölgesi Mermerlerinin Özellikleri Ve Kullanım Alanlarının Belirlenmesi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- Candansever, M.E., 2007. II- Doğru Akim Özdirenc Yöntemi. Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Ders notları, Ankara.
- Çelebi, H., 1992. Avnik (Bingöl) Metamorfik Manyetit Oluşuklarının Jeokimyası, Jeostatiksel İncelenmesi ve Kökenlerinin İrdelenmesi, Türkiye Jeolojisi Bülteni, 35, 115-126.
- Çelebi, H., 2009. Türkiye Apatitli Demir Yatakları: Jeolojisi, Jeokimyası ve Ekonomik Potansiyeli, İstanbul Yerbilimleri Dergisi, 22, 67-83.
- Egemen, U. (2021). Manisa'nın Salıhlı İlçesi'nin jeotermal kaynak potansiyelinin jeolojik ve jeofizik yöntemlerle incelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Erdoğan, B., Dora, O.Ö., 1983. Bitlis Masifi Apatitli Demir Yataklarının Jeolojisi ve Oluşumu, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 26, 133-144.
- Gelişli, K., Babacan ve A.E. (2021). Yeraltı suyu aramalarında jeofizik özdirenc uygulamaları. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(2), 535-543.
- Helvacı, C., 1984. Bitlis Masifi Avnik (Bingöl) Yöresindeki Zengin Demir Yataklarının Oluşumu, Dergipark, 8, 1, 11-15.
- Herece, E. (2008). Atlas of East Anatolian Fault. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Special Publication Series-13, 359, 13 appendices as separate maps.
- Hidromark, 2011. Bingöl Göltepesi Göleti ön raporu. Yayınlanmamış rapor, DSİ 9.Bölge Müdürlüğü, Elazığ.
- Hidromark, 2011. Bingöl Servi Göleti ön raporu. Yayınlanmamış rapor, DSİ 9.Bölge Müdürlüğü, Elazığ.
- Kerey, E. ve Türkmen, İ., 1991. Palu Formasyonu'nun (Pliyosen-Kuvaterner) Sedimentolojik Özellikleri, Elazığ Doğusu. Türkiye Jeoloji Bülteni, 34, 21-26.

- Kıranşan, K., Akbayram, K. ve Avcı, V. (2021). Bingöl havzası ve çevresinde aktif tektonizmanın jeomorfolojik yapı üzerindeki etkileri. Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi, 12(3), 1110-1129.
- Koç, H., 2007. Kahramanmaraş Kartalkaya Barajı sağ sahil sulama alanı topraklarının taban suyu ve hidromorfik özelliklerinin öz direnç (rezistivite) yöntemi ile belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş.
- Koç, S., 2022. Bingöl Üniversitesi Bümak B Blok içme ve kullanma suyu için (jeolojik-jeofizik) arama raporu (yayınlanmamış), Bingöl.
- Koray, M., 2006. Çatalca – İstanbul Bölgesinde yeraltı suyu araştırması ve hidrojeolojik yapısının jeofizik yöntemlerle araştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Mirze, S.H., 2013. Varto Havzası (Muş) ve çevresinin jeomorfolojisi. Fırat Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- Oudeika, M.S. (2021). Hidrojeolojik çalışmalarda laboratuvar destekli jeofizik yöntemlerin kullanımı. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Önalın, M., 1988. Kahramanmaraş Tersiyer Kenar Havzasının Jeolojik Evrimi T.J.K. Bülteni, 31(2), 1-9, Ankara.
- Önenç, D.İ., 1988. Bingöl İli-Genç İlçesi- Servi Nahiyesi-Kavaklı (Şardan) Arduvan-Kelme Tepe-Kılhaz Tepe-Gözücek-Dereikeşkan Hamak 1860 Nolu Öir Apatitli Manyetit Yatağının Maden Jeoloji Raporu, MTA Rap. (Yayınlanmamış), Ankara.
- Perinçek, D., 1978. Çelikhan-Sincik-Koçali (Adıyaman ili) alanının jeolojisi ve petrol olanaklarının araştırılması. Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Tatbiki Jeoloji Kürsüsü, 212.
- QUDE E., 2001. Improving Fresh Groundwater Supply Problems and Solution. Ocean & Coastal Management Vol. 44, 429-449.
- Rizeli, M.E., 2014. Guleman (Elazığ) Ofiyoliti manto peridotitlerinin kökeni. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ.
- Seymen, İ., ve Aydın, A., 1972, Bingöl deprem Fayı ve Kuzey Anadolu Fay Zonu ilişkisi MTA yayınları, Ankara.

- Sirel, E., Metin, S. ve Sözeri, B., 1975. Palu (KD Elazığ) denizel Oligosen'in stratigrafisi ve mikropaleontolojisi. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 18, 175-180.
- Sümengen, M. (2011). 1/100.000 Türkiye Jeoloji Haritaları Elazığ K 44 Paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Sümengen, M. (2011). 1/100.000 Türkiye Jeoloji Haritaları Elazığ K 45 Paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Şaroğlu, F. ve Güner, Y. (1981). Doğu Anadolu'nun Jeomorfolojik Gelişimine Etki Eden Ögeler, Jeomorfoloji, Tektonik, Volkanizma İlişkileri. Türkiye Jeolojisi Kurumu Bülteni 24(2), 39-50.
- Şaroğlu, F. ve Yılmaz, Y. (1984). Doğu Anadolu'nun Neotektoniği ve İlgili Magmatizması. Türkiye Jeoloji Kurumu Ketin Simpozyumu Bildiriler Kitabı, 149-162.
- Şeker, E., 2019. Afyonkarahisar İli jeotermal alanlarının elektrik özdirenç yöntemi ile değerlendirmesi ve yorumu. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Tonbul, S. (1990). Bingöl Ovası ve Çevresinin Jeomorfolojisi ve Gelişimi. Coğrafya Araştırmaları Dergisi, Sayı: 2, Ankara.
- Varol, S. ve Şekerci, M. (2018). Korkuteli (Antalya) su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri ve kullanılabilirliğinin belirlenmesi. Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, 39 (1), 1-18.
- Yılmaz, A., vd., 1987, Doğu Anadolu Bölgesinde Solhan- Kızılağaç Yöresinin bazı stratigrafik ve tektonik özellikleri ve Solhan Volkanitleri MTA. Dergisi 107. 73-94, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Nurettin KOŞAN ilkokul, ortaokul ve lise öğrenimini Bingöl'ün Genç İlçesi'nde tamamladıktan sonra 1998 Yılında Fırat Üniversitesi T.B.M.Y. O İnşaat programı bölümünü, 2002 Yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği, 2016 Yılında ise Bingöl Üniversitesi T.B.M.Y.O. Harita ve Kadastro bölümünü bitirdi. İstanbul Esenyurt Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği tezli yüksek lisans bölümünü tamamladı. 2021 Yılında Gümüşhane Üniversitesinde Jeoloji Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2002–2009 yılları arasında serbest jeoloji mühendisi olarak çalışan KOŞAN, 2009–2011 yılları arasında Bingöl İl Özel İdaresinin çeşitli birim müdürlüklerinde jeoloji mühendisi olarak görev yaptı. 2011-2020 tarihleri arasında Bingöl İl Özel İdaresi Su ve Kanal Hizmetleri Müdürlüğünü vekâleten yürüttü. 2020 tarihinden itibaren Bingöl İl Özel İdaresinde Jeoloji Mühendisi olarak çalışmaktadır.