

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİTLİS İLİ VE İLÇELERİNDE YERALTI SUYU KAYNAKLARININ SU KALİTE
PARAMETRELERİ BAKIMINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

RABİA BUŞRA KUL

ŞUBAT 2021

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİTLİS İLİ VE İLÇELERİNDE YERALTI SUYU KAYNAKLARININ SU KALİTE
PARAMETRELERİ BAKIMINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Hazırlayan
RABİA BUŞRA KUL

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül DEMİR YETİŞ

Jüri Üyeleri
Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül DEMİR YETİŞ
Dr. Öğr. Üyesi Ayşe ÖZGÜVEN
Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem ÖZER

ŞUBAT 2021

ONAY

Rabia Buşra Kul tarafından hazırlanan “**Bitlis İli ve İlçelerinde Yeraltı Suyu Kaynakların Su Kalite Parametreleri Bakımından Değerlendirilmesi**” adlı tez çalışması .../.../2020 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Ayşe ÖZGÜVEN

(Başkan)

Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül DEMİR YETİŞ

(Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem ÖZER

(Üye)

İmza

Bu tezin kabulü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../...gün ve .../... sayılı kararı ile onaylanmıştır

Prof. Dr. Zeki ARGUNHAN
Enstitü Müdürü

BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS / DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum “**Bitlis İli Ve İlçelerinde Yeraltı Suyu Kaynaklarının Su Kalite Parametreleri Bakımından Değerlendirilmesi**” adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim. 01/02/2021

Rabia Büşra KUL
İMZA

ÖZET

BİTLİS İLİ VE İLÇELERİNDE YERALTI SUYU KAYNAKLARININ SU KALİTE PARAMETRELERİ BAKIMINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Rabia BUŞRA KUL

Yüksek Lisans Tezi

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül DEMİR YETİŞ

Şubat 2021, 53 sayfa

Yeraltı suları, Dünya üzerinde 1,5 milyar insan tarafından içme suyu kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu kaynaklar genel olarak içme, kullanma ve sulama gibi amaçlar için kullanıldıklarından dolayı, kalite bakımından iyi olması önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında Bitlis İli ve İlçelerinde yeraltı suyunun (YAS), su kalite parametreleri bakımından değerlendirilmesi amacıyla Haziran 2019 - Eylül 2019 tarihleri arasında dönemsel incelemeler yapılmıştır. İncelemeler sonucu elde edilen su numunelerinde; sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik (Eİ) parametre değerleri yerinde (in-situ) ölçülmüştür. Geriye kalan diğer parametreler; Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , klorür (Cl^-), sülfat (SO_4^{-2}), bikarbonat alkalinitesi (HCO_3^-), gibi anyon ve katyonlar laboratuarda ölçülmüştür. Sonuç olarak; Sıcaklık, genel itibariyle tüm örnekleme noktalarında yaklaşık olarak aynı değeri seyir etmekte ve SKKY (2004) sınır değerleri baz alındığında I. sınıf su kalitesi özelliği göstermektedir. EC değeri, bölgedeki örnekleme noktalarından sadece 3 tanesinde yüksek çıkmış olup, TS266(2005)'e göre ise B7,B21 ve B29 noktaları insani tüketim amaçlı kullanılmaya uygun değilken, diğer tüm noktalar insani tüketim amaçlı kullanılmaya uygun çıkmıştır. Bazı noktalarda klorür'ün yüksek çıkması, volkanik kayalara bağlanabilir. Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ değerleri ise, ölçülen Eİ değeri ile aynı değişimi gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yeraltı Suyu, Su Kalitesi, İçme-Kullanma Suyu, Bitlis.

ABSTRACT

THE EVALUATION OF GROUNDWATER RESOURCES IN BITLIS PROVINCES AND DISTRICTS IN TERMS OF WATER QUALITY PARAMETERS

Rabia BUŞRA KUL

Master Thesis

BitlisEren University Graduate Education Institute
Department of Environmental Engineering
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ayşegül DEMİR YETİŞ

January 2021, 53 pages

Groundwater is used as a source of drinking water by 1.5 billion people around the world. Since these resources are generally used for humanitarian activities such as drinking water, utility water and irrigation water, it is important that they are good in quality. Within the scope of this study, periodic examinations were carried out between June 2019 and September 2019 in order to evaluate the groundwater (YAS) in terms of water quality parameters in Bitlis Province and its districts. In the water samples obtained as a result of the investigations; temperature, pH, electrical conductivity (EC) parameter values were measured in-situ. Other remaining parameters; Anions and cations such as Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ chloride (Cl^-), sulphate (SO_4^{-2}), bicarbonate alkalinity (HCO_3^-) were measured in the laboratory. As a result; the temperature has generally remained approximately the same value in all sampling points and when the SKKY (2004) limit values are taken as basis, it shows the characteristics of first class water quality. The EC value was higher in only 3 of the sampling points in the region, and according to TS266 (2005), the B7, B21 and B29 points were not suitable for human consumption, while all other points were found suitable for human consumption. Chloride rising at some points may be attributed to volcanic rocks. Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ values were found to show the same change with the measured EC value.

Keywords: Groundwater, Water Quality, Drinking- Domestic Water, Bitlis

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmamın her aşamasında bana maddi ve manevi yardımlarını bir an olsun esirgemeyen, engin görüş ve önerileriyle bana daima yol gösterici olan ve beni her türlü tecrübesiyle aydınlatan danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Ayşegül DEMİR YETİŞ' e ve kıymetli eői Recep YETİŞ' e sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Şanlıurfa Su ve Kanalizasyon İdaresi (ŞUSKİ) Genel Müdürlüğü, İçme Suyu Arıtma Tesisinin tüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Kimyager Cumali TÜRKOĐLU' na teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım ve eğitimim boyunca her yönüyle maddi ve manevi olarak benim yanımda olan ve beni destekleyen başta babam Şaban TEKE' ye, annem Pervin TEKE' ye ve kardeşlerime teşekkürü bir borç bilirim. Ve hayatıma girdiğı günden beri attığım her adımda yanımda olan benden desteklerini esirgemeyen biricik eőim Muhammed İsa KUL' a teşekkürlerimi sunarım.

ÖNSÖZ

Hızla gelişen dünyada teknolojik gelişmeler, nüfus artışı, tüketim çılgınlığı insanları bilinçsiz ve plansız su tüketimine itmiştir. Su kullanımının artmasıyla birlikte su kirlilikleri meydana gelmiş, buna bağlı olarak da çeşitli hastalıklar baş göstermeye başlamıştır. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de su kaynaklarının korunması belli ulusal ve uluslararası kanun ve yönetmeliklerle koruma altına alınmıştır. Su kaynaklarının içme- kullanma, tarımsal ve endüstriyel faaliyetler gibi birçok alanda kullanılabilmesi için belli standartlar uygulamaya koyulmuştur. Bu standartlar çevre ve insan sağlığı açısından önem arz etmektedir.

Geçmişten günümüze kadar kullanımı devam eden yer altı suları son yıllarda popüler hale gelmiştir. Özellikle Bitlis ilinde içme- kullanma ve tarımsal faaliyetlerde yer altı sularının kullanılması insan ve çevre sağlığı açısından bu tez çalışmasının ana fikrini oluşturmuştur. Bu kapsamda il ve ilçelerde yer altı sularında su kalitesi çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar da yer altı sularının içme- kullanım ve tarımsal alandaki faaliyetlerde kullanımları değerlendirilmiştir.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	İ
ABSTRACT	İİ
TEŞEKKÜR	İİİ
ÖNSÖZ	İV
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	Vİİ
ŞEKİLLER DİZİNİ	Vİİİ
1. GİRİŞ	1
1.1. Yerüstü Ve Yeraltı Su Kaynakları	2
1.2. Yeraltı Suyunun Doğal Niteliği	3
1.3. Akifer Türleri	3
1.3.1. Serbest Yüzeyle Akiferler	3
1.3.2. Basıncılı Akiferler.....	4
1.3.3. Sızıntılı Akifer	4
1.3.4. Tünek Akifer.....	4
1.4. Yeraltı Suyu Kirliliği Ve Kirlenme Kaynakları	5
1.4.1. Doğal Kaynaklı Kirlilik	5
1.4.1.1. Jeolojik yapıdan kaynaklanan kirlenme:.....	5
1.4.1.2. Deniz suyu girişimi.....	6
1.4.1.3. Jeotermal alan etkileri.....	6
1.4.2. Antropojenik Kaynaklı Kirlilik.....	6
1.5. Yeraltı Suları Üzerindeki Baskı Ve Etkiler.....	8
2. MATERYAL VE YÖNTEM	12
2.1. Materyal	12
2.1.1. Çalışma Alanı	12
2.1.1.1. Topografik Özellikler	13
2.1.1.2. İklim Şartları.....	13
2.1.1.3. Tarım ve Hayvancılık	13
2.1.1.4. Jeolojik Özellikler.....	14
2.1.1.5. Hidrojeolojik özellikler.....	15
2.1.2. Arazi Çalışmaları	17
2.2. YÖNTEM.....	21
2.2.1. Verilerin Elde Edilmesi	21

2.2.2. Verileri Değerlendirme Metodolojisi.....	22
2.2.3. Hidrokimyasal Fasiyes Sınıflaması	24
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	27
3.1. İçme Ve Kullanma Suyu Açısından Değerlendirme	27
3.1.1. Sıcaklık	27
3.1.2. pH.....	28
3.1.3. Elektriksel İletkenlik(EC)	30
3.1.4. Bikarbonat Alkalinitesi	31
3.1.5. Klorür (Cl-)	32
3.1.6. Sülfat (SO ₄ -2).....	33
3.1.7. Kalsiyum (Ca ⁺²) ve Magnezyum (Mg ⁺²)	34
3.1.8. Sodyum (Na ⁺) Ve Potasyum (K ⁺).....	36
3.2. Sulama Suyu Özellikleri Ve Sınıflaması	38
3.2.1. Sodyum Adsorpsiyon Oranı(SAR)	38
3.2.2. Sodyum Yüzdesi (%Na)	39
3.2.3. Kalıcı Sodyum Karbonat (RSC)	40
3.2.4. Wilcox Diyagramı.....	41
3.2.5. ABD Tuzluluk Diyagramı	43
3.3. Hidrokimyasal Fasiyes Sınıflaması	44
3.3.1. Piper Sınıflaması.....	44
3.3.2. Schoeller Sınıflaması	47
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	49
4.1. Sonuç	49
4.2. Öneriler	50
5. KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Yer Altı Sularının Kimyasal Yapısını Oluşturan Ana Elementler	3
1.2. İnsan Kaynaklı Kirlilik Kirleticiler.....	7
2.1. Tatvan akifer sahasında yer alan DSİ kuyuları pompaj verileri (DSİ, 2013).....	15
2.2. Ahlat akifer sahasında yer alan DSİ kuyuları pompaj verileri (DSİ, 2013)	16
2.3. Adilceviz akifer sahasında yer alan DSİ kuyuları pompaj verileri (DSİ, 2013).....	17
2.4. Örnek Alma Noktaları Ait Bilgi ve Koordinatlar	18
2.5. Parametrelerin Analizlerinde Kullanılan Cihazlar	21
2.6. Suların Tuzluluk Ve Sodyum Miktarlarına Göre Sınıflandırılması	24
2.7. Piper diyagramını ayırmış olan numaraların açıklamaları	25
3.1. Sıcaklık için ulusal mevzuattaki sınır değerler.....	28
3.2. Suların sıcaklıklarına göre sınıflandırılması.....	28
3.3. pH'ın ulusal ve uluslararası standartlardaki sınır değerleri.....	30
3.4. EC için ulusal mevzuattaki sınır değerler.....	31
3.5. Ca ve Mg için ulusal mevzuattaki sınır değerler	36
3.6. Na için ulusal mevzuattaki sınır değerler	38
3.7. SAR'a göre sulama suyu sınıfı	39
3.8. Suların %Na'a göre sınıflandırılması	40
3.9. Wilcox diyagramına göre tüm örnekleme noktalarına ait dönemsel ortalamalar.....	42
3.10. ABD tuzluluk diyagramına göre tüm gözlem noktalarının dönemsel ortalamaları.....	43
3.11. Piper'a göre suların hidrokimyasal tipleri	45
3.12. Örnekleme noktalarına ait yeraltı sularının su tipi	46

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Akifer ve Türleri (Anonim, 2020)	4
2.1. Bitlis ili ve ilçeleri (İÇDR, 2013)	12
2.2. Örnekleme noktaları ait lokasyon haritası	19
2.3. Yağışlı Dönem numune alma çalışmalarına ait görüntüler	20
2.4. Kurak Dönem numune alma çalışmalarına ait görüntüler	20
2.5. Hidrokimyasal verilerin değerlendirilmesi için kullanılan Piper Diyagramı	26
3.1. Su sıcaklığının örnekleme noktalarına göre dönemsel değişimi	27
3.2. pH' ın örnekleme noktalarına göre dönemsel değişimi	29
3.3. EC' nin örnekleme noktalarına göre dönemsel değişimi	30
3.4. Alkalinite' nin örnekleme noktalarına göre dönemsel değişimi	32
3.5. Klorür' ün örnekleme noktalarına göre dönemsel değişimi	32
3.6. Sülfat'ın örnekleme noktalarına göre dönemsel değişimi	33
3.7. Ca' nin örnekleme noktalarına göre dönemsel değişimi	34
3.8. Mg ⁺² ' nin örnekleme noktalarına göre dönemsel değişimi	35
3.9. Sodyum' un örnekleme noktalarına göre dönemsel değişimi	37
3.10. Potasyum'un örnekleme noktalarına göre dönemsel değişimi	37
3.11. Örnekleme Noktalarının Dönemsel Ortalamasına Ait SAR Değerler	39
3.12. Örnekleme Noktalarının Dönemsel Ortalamasına Ait %Na Değerleri	40
3.13. Örnekleme noktalarının mevsimlik ortalamasına ait RSC değerleri	41
3.14. Örnekleme noktalarına ait dönemsel ortalamanın Wilcox diyagramındaki gösterimi	42
3.15. Gözlem noktalarının dönemsel ortalamasını ABD tuzluluk diyagramında gösterimi	44
3.16. Piper'a göre aynı hidrokimyasal fasiyese sahip örnekleme noktaları (1)	46
3.17. Piper'a göre aynı hidrokimyasal fasiyese sahip örnekleme noktaları (2)	47
3.18. Schoellere göre aynı hidrokimyasal fasiyese sahip örnekleme noktaları (1)	48
3.19. Schoellere göre benzer hidrokimyasal fasiyese sahip örnekleme noktaları (2)	48

SİMGELER DİZİNİ

°C	Santigrant
Cl-	Klorür
Ca ⁺	Kalsiyum
K	Potasyum
L	Litre
Mg ⁺	Magnezyum
Na	Sodyum
SO ₄	Sülfat
%	Yüzde



KISALTMALAR DİZİNİ

Eİ	Elektriksel İletkenlik
SÇD	Su Çerçeve Direktifi
SKKY	Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
YAS	Yeraltı suyu
YASS	Yeraltı suyu seviyesi



1. GİRİŞ

Hayatın başlangıcını ve devamını sağlayan, toplumların gelişmesindeki en temel ihtiyaç olan su, kullanılabilir miktarının sınırlı olduğu doğal bir kaynaktır (Demir, 2005). Dünya yüzeyinin % 70 'i sularla kaplı olmasına rağmen küresel ölçekte su rezervlerine bakıldığında dünyadaki suların % 3,5' lik bir kısmını tatlı suları oluşturmaktadır. Bu tatlı su kaynaklarının %1,8' ini yerüstü su kaynakları (deniz, göl, akarsu, vb.) oluştururken, % 1,7' sini ise yeraltı su kaynakları oluşturmaktadır (Ghobadi vd., 2020).

Tatlı su rezervleri, insanların ihtiyaçlarını yıllarca karşılayacak gibi dursa da; Son yıllarda artan nüfus patlamaları ve teknolojideki ilerlemeler ile birlikte su kaynakları kirletilmekte ve tükenmektedir. Özellikle yirminci yüzyılın ikinci yarısından sonra tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerin baş göstermesi ile birlikte mevcut su kaynakları üzerindeki baskı artmış ve insanlar farklı su kaynakları arayışına girmiştir. Su kaynakları arasında birçok avantajı ile dikkatleri üzerine çeken yeraltı su kaynakları popüler hale gelmiş ve kullanımı büyük ölçüde artmıştır (Ghobadi vd.,2020; Herojeet vd., 2015).

Yer altı suyu; ana beslenme kaynağını yağıştan alan, toprağa düştükten sonra toprağın emilimiyle yerin alt tabakalarındaki doymuş zonda biriken ve deniz, göl, akarsu, kuyu gibi kaynakları besleyen sudur (Gültekin, 2015; Taştekin, 2019). Yeraltı suyu, buzullardan sonra yerkürede en fazla bulunan tatlı su kaynağı olarak bilinmektedir (Brindha ve Elango, 2011).Günümüzde dünya popülasyonunun çoğunluğu içme ve kullanma gibi ihtiyaçları için gerekli olan suyu yer altı sularından karşılamaktadır. Yeraltı suları; yaygın olmanın yanı sıra diğer kaynaklara göre de avantajlı olması ile ilgi çekmektedir. Yeraltı sularının;

- Her yerde gerekli derinliğe kuyular vasıtasıyla ulaşılır olması,
- Yüzeysel kirlenmelere karşı korunaklı olması,
- Sıcaklıklarının yaz ve kış aylarında fazla değişiklik göstermemesi,
- Mevsimsel olarak biyolojik ve kimyasal özelliklerinin değişmemesi,
- Buharlaşımdan korundukları için kayıpları en az olması
- Depolama ihtiyacına gerek duyulmaması

Gibi avantajları vardır (Uğurluoğlu, 2013).

Yeraltı suyu; evsel, endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerde ana tedarikçidir (Narsimha vd., 2012). Bu sebeple suyun kalitesinin iyi olması ve çeşitli kullanımlara olması insan ve çevre sağlığı için önem arz etmektedir. Toprağın alt tabakalarında yer alan suların doğal kimyasal kalitesi genellikle kullanıma uygundur, ancak su yüzeyden aşağıya doğru hareket ederken belli bir süre tabakalardaki organik madde, toprak ve kayalar ile temasta bulunur. Bundan dolayı bazı

bileşenlerin konsantrasyonlarının yüksek çıkması sonucu yeraltı suyu kalitesinde değişiklikler meydana gelerek bazı sorunlara neden olabilir (Nagaraju, 2016; Demir Yetiş; 2013). Bu yüzden yeraltı suyunun kalitesinin ve hidrojeokimyasal özelliklerinin anlaşılması ve çeşitli kullanımlara uygunluğunun belirlenmesi hayati önem taşımaktadır (Brindha ve Elengo, 2011).

Su kalitesi; genel anlamda, suyun kimyasal, biyolojik ve radyolojik özelliklerini ifade eder (Alemdar vd., 2009). Su kirliliği ise, suyun kullanılabilir kısmındaki kimyasal ve biyolojik özelliklerinin, suyun işlevini bozacak şekilde değişmesi olarak ifade edilmektedir. Yerleşim alanları, evsel, ticari, endüstriyel ve zirai aktiviteler yeraltı suyu kalitesini etkileyen faktörler arasında olup, yeraltı suyunun düzenli olarak izlenmesi oldukça önemlidir (Jassas ve Merkel, 2015).

Yapılan incelemelerle Bitlis ili ve ilçelerinde yeraltı sularının kaliteleri belirlenip, Yer altı sularının hidrokimyasal fasiyes tipinin saptanması ve içme- sulama suyu kalitesi açısından mevcut standartlara göre sınıflandırmalarının yapılması bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Bitlis masifinde hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal inceleme çalışma yapılması, yeraltı suyunun mevcut durumdaki su kalitesinin ve kullanılabilirliğinin belirlenmesi bu mevcut durumdaki yeraltı suyunun sürdürülebilir bir şekilde korunması için yapılan araştırmalar bir bütün olarak incelenip bir yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

1.1.Yerüstü Ve Yeraltı Su Kaynakları

Dünyamızın üzerinde bulunan yerüstü suları ve yer kabuğunun alt kısmında yer alan yeraltı suları, genel tabirle su kütleleri olarak sınıflandırılmaktadır. Su Çerçeve Direktifi'ne göre ise su kaynağının yönetilebilir en küçük parçası su kütlesi tanımını oluşturmaktadır. SÇD, yeraltı sularını ve yerüstü sularını kütlelere bölümlenmiş ve yine bu suları farklı yaklaşımlar uygulayarak incelemiştir. Yerüstü su kütleleri fizyolojik ve morfolojik özelliklerine göre birbirinden ayrıştırılmış ve bu sular da doğal su kaynakları, yapay su kaynakları ve büyük ölçüde değiştirilmiş su kaynakları olarak adlandırılmıştır. Yeraltı sularında ise su kütlesi kavramı yerini akiferlere veya akiferler içinde yer alan yeraltı sularına bırakmıştır. SÇD, bu akiferleri özelliklerine göre parçalara ayırarak birtakım önlemlerle sistemi ayrıntılı bir şekilde değerlendirmeyi hedeflemektedir (Gök vd., 2019).

1.2.Yeraltı Suyunun Doğal Niteliği

Su, hiçbir zaman doğada “ katıksız” halde bulunmaz. Kaynağını kar ve yağmur sularından aldığı için içerisinde çok az miktarda da olsa erimiş mineral, tuzlar, gazlar ve kirleticiler bulundurur. Yeraltı suyunun doğal niteliği suyun kalitesinden anlaşılır. Kalite kavramı ise suyun temas ettiği toprak ve kayaçla etkileşim süresine bağlıdır.

Su asidik çözücü özelliğine sahip olduğu için temas ettiği kayacın karakteristiklerini ve özelliklerini kendi bünyesine alır. Böylece bu karakteristik özelliklere bakarak yer altı sularının kimyasal bileşimi ve kökeni hakkında bilgi sahibi oluruz. Yeraltı suları toprağa düştükten sonra birçok çeşit kayaçla temas ederler. Fakat sadece 9 adet element yer altı suyunun kimyasal yapısının oluşturur. Yer altı suyunun %95’ i ise 6 ana iyon oluşmaktadır. Bu iyonlar Çizelge 1.1’ de gösterilmiş olup; Sodyum (Na), Kalsiyum (Ca), Magnezyum (Mg) ve kimyasal bileşik halinde bulunan Klorür, Bikarbonat ve Sülfat’tan oluşmaktadır (Ünal, 2001).

Çizelge 1.1. Yer Altı Sularının Kimyasal Yapısını Oluşturan Ana Elementler

Katyonlar	Anyon
Sodyum (Na) ⁺¹	Klorür(Cl) ⁻
Kalsiyum (Ca) ⁺²	Bikarbonat(HCO ₃) ⁻
Magnezyum(Mg) ⁺²	Sülfat(SO ₄) ⁻²

1.3.Akifer Türleri

Genel olarak su taşıyan sistemler olarak tanımlanan akiferler; yeterli miktarda yeraltı suyu akışına ya da içerdiği yeraltı suyunun yeterli miktarda kullanılmasına izin veren gözeneklilik ve geçirgenliğe sahip litolojik birimdir. Diğer bir deyişle; suyu depolayan ve ileten geçirgen kayaçlardır (Öztaş, 1982). Akiferler; su bulundurma şekline kendi aralarında dörde ayrılır.

1.3.1. Serbest Yüzeyle Akiferler

Sadece alt katmalarının geçirimsiz olduğu üst katmanları ise kireçtaşı, silt, çakıl ve kum gibi geçirimli yapılardan oluştuğu ve alt kısımdaki tabakada yağış sularının sızması ile oluşan akiferlere denir. Bu tür akiferler genel olarak sığ derinliklerde bulunur. Bu tür akiferler karalarda yağmur sularının sızması, kıyı kesimlerde ise denizin yükselip alçalması ile değişir (Demir Yetiş 2013).

1.3.2. Basınçlı Akiferler

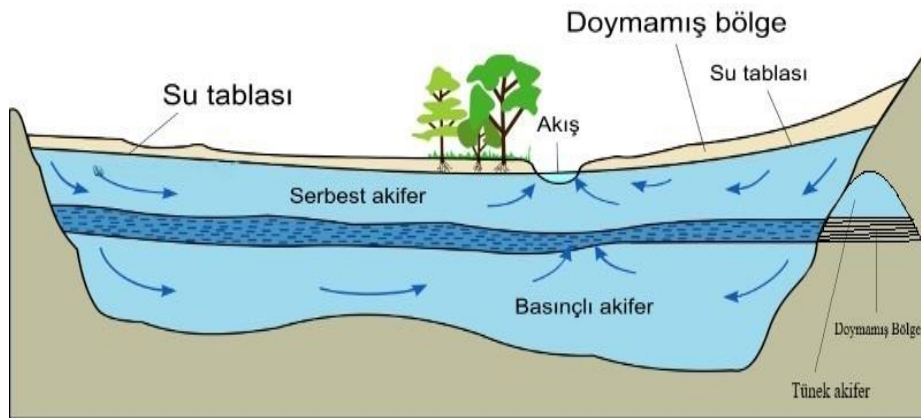
Hem alt kısmının hem de üst kısmının geçirimsiz yapılardan oluştuğu, iki ağız kısmının da yüzeyle temas ettiği ve kaynağını da bu yüzeyden alarak oluşan ve yeraltı suyunun basınç altında olduğu akiferlere denir. Bu tür akiferler genel olarak derinlerde bulunur (Demir Yetiş 2013).

1.3.3. Sızıntılı Akifer

Su temini yapılan bir akiferin yakınında bulunun ve yarı geçirgen olan başka bir akiferden su giriş çıkışı oluyorsa, bu tip akiferlere sızıntılı akifer denir. Bu tür akiferlerde su temini yapılan akifer basınçlı ise "sızıntılı basınçlı akifer" denir. Eğer su temini yapılan akifer serbest yüzeyli ise "sızıntılı serbest akifer" olarak adlandırılır (Demir Yetiş 2013).

1.3.4. Tünek Akifer

Serbest akiferin doymamış olmayan kuşağında merccek şeklindeki geçirimsiz seviyeler üzerindeki gözenekli kısımda yeraltı sularının birikmesiyle oluşan akiferdir (Demir Yetiş, 2013; Öztaş, 1982).



Şekil 1.1. Akifer ve Türleri (Anonim, 2020)

1.4.Yeraltı Suyu Kirliliği ve Kirlenme Kaynakları

Yaklaşık 40 yıl öncesine kadar yeraltı suyu kirliliği alanında çalışmalar yok denecek kadar azdı. Çünkü yeryüzü suyu ile yeraltı suyu seviyesi arasındaki toprak ve kayaç tabakaların yeraltı suyunu korunduğuna inanıldığı için yeraltı suyu kirliliği önemsenmeyen bir problemdi. Ancak 1970' lı yıllardan sonra yaşanan olaylar ve hastalıklar neticesinde yeraltı suyu kirliliğine dikkat çekilmiş ve bu alanda çalışmalar önem kazanmıştır (Ünal, 2001).

Son yıllarda yeraltı suyu üzerindeki en büyük baskı unsurları tarımsal, endüstriyel ve kentsel faaliyetler olarak tanımlanmıştır. Bu baskı unsurlarının artmasıyla bilim insanlarının su kirliliği konusundaki endişeleride artmıştır (Babanezhad vd., 2018). Böylelikle her ülke kendi yeraltı suyu kaynaklarını kanunlar ve yönetmeliklerle koruma altına almaya çalışmıştır. Her ülkede olduğu gibi ülkemizde de yeraltı suları devletin koruması altına alınmıştır. 1961 yılında "167 sayılı Yeraltı suları Hakkında Kanun" çıkarılmış ve yeraltı suları ile ilgili bütün çalışmaları adına Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü yürütmeye başlamıştır (Demir Yetiş, 2013).

Kullanımı her geçen gün daha da fazlalaşan yeraltı suları farklı sebeplerden dolayı kirlenebilmektedir. Bu sebepler doğal kaynaklı kirlilik ve insan kaynaklı kirlilik olmak üzere ikiye ayrılır.

1.4.1. Doğal Kaynaklı Kirlilik

Su organik bir çözücü olduğu için yüzeyden aşağıya doğru hareket ederken, temas ettiği organik madde, toprak ve kayaçlar da bulunan bazı bileşenlerin bünyesine alır. Birleşenlerin su içerisinde konsantrasyonları kalite ve kirlilik düzeyinin belirlenmesindeki faktördür. Yeraltı suyun da bulunan demir, manganez, zehirli elementler ve radyoaktif çekirdekler kirliliğine sebep olan doğal kirleticiler olarak bilinmektedir (Demir Yetiş, 2013; Ünal, 2001). Suyun kirlenme nedenlerine göre doğal kirlilik kaynakları kendi aralarında başlıklar halinde ayrılabilir.

1.4.1.1.Jeolojik yapıdan kaynaklanan kirlenme:

Yeraltı suyunun doğal yollarla kirlenmesinin başlıca nedeni jeolojik formasyonlardır. Tuzlu, jipsli, susuz kalsiyum sülfatlı ve borlu kayaçların aşınması yeraltı sularına yüksek miktarda iyon girmesine neden olur. Buda yer altı suyunda istenmeyen minerallerin konsantrasyonlarının fazla olmasına neden olmaktadır. Bu mineraller arasında, Ca^{+2} ve Mg^{+2} gibi elementler yüksek konsantrasyonlarda su sertliğine neden olmaktadır (Güner, 2016). Yeraltı suları genel olarak

içme ve kullanma suyu amacıyla kullanıldıkları için sertlik parametresinin istenilen değerlerde olması insan sağlığı için oldukça önemlidir. Toprakta oldukça fazla bulunan demir (Fe) elementinin yeraltı su yönetmeliğinde konsantrasyonunun 0.3 mg/L' den fazla olması sağlık açısından problemlere yol açmasa da suyun tadını ve görünümünü bozabilmektedir. Toprakta ve kayaçlarda ametal olarak doğal halde bulunan ve kaynağını volkanik patlamalardan alan selenyumun elementi düşük konsantrasyonlarda bile (0.01 mg/L) zehirleyici olabilmek de uzun zaman bu elemente maruz kalınması halinde sinir sisteminde bozulmalar meydana gelebilmektedir. Florür ise diş hastalıklarının önlenmesi de faydalı olarak görülse bile yüksek konsantrasyonlarda (2 mg/L' den fazla) dişlerde veya iskelet sisteminde hasar oluşturmaktadır. Bu nedenle yeraltı sularını hidrojeoloji ve jeokimya çalışmaları oldukça önemlidir. Bu maddeleri içeren yeraltı suyu genelde içme suyu ve diğer evsel amaçlar için kullanılmaz ya da bu maddeler arıtıldıktan sonra kullanılabilir (Demir Yetiş, 2013).

1.4.1.2. Deniz suyu girişi

Yeraltı sularının fazlaca kullanıldığı durumlarda, komşu akiferlerden ve denizlerden akifer içine su girişi olmaktadır (Güner,2016).

1.4.1.3.Jeotermal alan etkileri

Özellikle tarımsal faaliyetlerde kullanılan yeraltı sularına Jeotermal suların karışması sonucu sularda bor kirlenmesi ortaya çıkmaktadır (Güner, 2016).

1.4.2. Antropojenik Kaynaklı Kirlilik

Yeraltı sularının yapay yollarla kirlenmesi İnsan etkinlikleri sonucu gerçekleşmektedir. Yeraltı sularının kirlenmesine neden olan insan etkinliklerinden bazıları şunlardır;

- ✓ Evsel etkinliklerden kaynaklanan deterjanlar, kanalizasyon vb. kimyasal atıklar,
- ✓ Tarım alanlarında kullanılan ilaç ile gübrelerden gelen pestisit, azot bileşikleri vb. kimyasal atıklar,
- ✓ Sanayi etkinlikleri sonucunda oluşan fabrika atık suları ve ağır metallere kaynaklanan kimyasal atıklar,

- ✓ Yeraltı suyunun bulunduğu havzalarda araştırma çalışmaları sonucu oldukça fazla kuyunun açılması ve işletilmesi ile havza koruma alanlarının belirlenmemiş olması (Yıldız, 2009)

Yeraltı sularının kirlenmesini neden olan kirleticiler aşağıdaki tabloda Çizelge 1.2' de detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 1.2. İnsan Kaynaklı Kirlilik Kirleticiler (Ünal, 2001)

Şehir kökenli	- Katı Atık Bertarafı
	- Atık su Çukurları Ve Havuzları
	- Kanalizasyon Çamuru Bertarafı
	- Kanalizasyon Sızıntısı
	- Yeraltı Tanklarından Sızıntı
	- Tekniğine Aykırı Terk Edilen Kuyular
Sanayi kökenli	- Sıvı Atık Bertarafı
	- Tehlikeli Atık Depolaması Ve Bertarafı
	- Depolama Alanları Ve Boru Hatlarından Sızıntılar
	- Kimyasalların Dökülmesi
	- Maden Atıkları(Çamur Lagünleri)
	- Enjeksiyon Kuyuları
	- Atık Yığınları
- Petrol Alanlarındaki Tuzlu Sular	
- Kirlilikten Arındırılmamış Alanlar	
Evsel kökenli	- Fosseptik Çukurları Ve Kanallar
	- Tekniğine Aykırı İnşa Ve Terk Edilen Kuyular
	- Yeşil Alanların Gübrenmesi
Tarım kökenli	- Hayvan Besleme Yerleri
	- Hayvan Atık Depoları(Hayvan Gübresi Çukurları)
	- Gübre Kullanımı Ve Depolama
	- Tarımsal İlaç Kullanımı Ve Depolama
	- Silaj

1.5.Yeraltı Suları Üzerindeki Baskı ve Etkiler

Su kaynakları üzerinde büyük, küçük birçok baskı bulunmaktadır. Baskı kelimesindeki amaç su kütlesini hedefe ulaştırmaktan alıkoyan faktörler olarak tanımlanır. Noktasal ve yayılı kirlilik kaynakları yeraltı suları için “baskı” olarak nitelendirilir. Yüzeiden aşağıya doğru süzölen su karşılaştığı kirleticiler yüzünden kirlenip kalitesinin bozulması ve buna bağılı olarak canlı yaşamın kötü yönde etkilenmesi “etki” olarak nitelendirilir. Bu neden sonuç bağılantısı genel olarak “Baskı ve Etki Analizi” olarak adlandırılır (Günhan, 2014). İnsan etkinlikleri sonucu Yüzeiy ve yeraltı sularında meydana gelen riskli durumlar Baskı ve Etki Analizleriyle incelenmektedir. Yeraltı kaynakları üzerinde alınacak olan önlemler, baskıları ortadan kaldırmak veya en aza indirmek için geliştirilen yöntemlerdir. En doğru ve en uygun önlemlerin belirlenmesi için su kaynaklarının sürdürülebilirliği için oldukça önemlidir (Sahtiyancı Özdemir vd., 2019).

Demir Yetiş (2013), Ceylanpınar Ovasında mevsimsel olarak bir yıl süreyle yürütmüş olduğu çalışmada yeraltı suyu (YAS) kalitesini izlemek ve kirlenme potansiyelini tespit etmek amacıyla YAS dağılım haritaları oluşturmuştur. Çalışmada, alınan yeraltı suyu örneklerinde laboratuvar çalışmaları ve hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, ulusal ve uluslararası bir takım standart ve sınıflamalarına tabi tutulmuş, yeraltı sularına ait hidrokimyasal fasiyes tipi (Piper ve Schoeller) ve sulama suyu kalitesi (Wilcox ve ABD tuzluluk diyagramı) açısından sınıflamaları yapılmıştır. Hidrokimyasal fasiyes açısından piper sınıflamasına göre sular; 5. tip Ca-HCO³'lı sular ve 9. tip karışık sular (Ca-Mg-Cl-SO₄) olmak üzere 2 farklı tipte sular olarak belirlenmiştir. Sulama suyu kalitesi açısından Wilcox diyagramına göre sular; 1 adet örnekleme noktası “şüpheli kullanılabilir”, 6 adet örnekleme noktası “iyi kullanılabilir” ve diğer örnekleme noktaları ise “çok iyi-iyi” olarak tespit edilmiştir. Suların tarımsal kullanım için sulama suyu açısından uygun olduğu ifade etmiştir.

Yetiş (2015), yapmış olduğu bu çalışmada Balıklıgöl havzasında yapılan izleme çalışmasında, havzanın memba kısmında sudaki kirliliğin mevcut durumunu tespit etmek ve havzanın nihai noktası olan mansaptaki Balıklıgöl' e ne kadarının taşındığını belirlemeyi amaçlanmıştır. Nisan 2014- Ocak 2015 tarihleri arasında mevsimsel olarak havza içerisinde temsil edici 8 noktadan su örnekleri alınmıştır. Alınan numunelerin laboratuvar ortamında analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, ulusal ve uluslararası bir takım standart ve sınıflamalara tabi tutulmuş ve kaynak sularına ait hidrokimyasal fasiyes tipi (Piper ve Schoeller) ve sulama suyu kalitesi (Wilcox ve ABD tuzluluk diyagramı) açısından sınıflamalar yapılmıştır. Sonuç olarak; su

kalite parametreleri açısından elde edilen sonuçlar ulusal ve uluslararası sınıflamalara tabi tutulduğunda sınır değerleri aşmadığı ve limit değerlerin altında olduğu gözlemlenmiştir. Hidrokimyasal fasiyes açısından piper sınıflamasına göre sular; 5. tip Ca-HCO₃'lı sular olarak belirlenmiştir. Suların tarımsal kullanım için sulama suyu açısından uygun olduğu ifade edilebilir.

Taştekin (2019), yaptığı çalışmasında Beyşehir (Konya) Ovasının jeolojik, hidrolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bölgede bulunan sondaj kuyularında yer altı suyu seviyeleri ölçülmüş ve yer altı suyu akımının Beyşehir Gölü'ne doğru olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanındaki göl ve yeraltı sularının hidrojeokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla su örnekleri alınarak hidrojeokimyasal analizleri yapılmıştır. Bu analizlerden elde edilen sonuçlara göre, bölgedeki su kaynaklarının, Ca-Mg-HCO₃ ve Ca-HCO₃'lı sular fasiyesinde olduğu belirlenmiştir. Analiz sonuçları TSE-266 ve WHO tarafından belirtilen içme suyu limit değerleri ile karşılaştırıldığında genel olarak su kaynakları içilebilir özelliktedir. Ancak bölgesel olarak As ve Fe konsantrasyonlarının limit değerlerin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Bu durum bölgedeki kaya-su etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Çalışma alanındaki su kaynaklarının sulama suyu olarak ise kullanılabilir özellikte olduğu belirlenmiştir.

Şener ve Güneş(2014), yaptıkları çalışmalarında Aksu (Isparta) ovasının jeolojik, hidrolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri incelenmişlerdir. Ayrıca, çalışma kapsamında bölgedeki yeraltı suyu dinamiği yanı sıra mevcut durumdaki su kalitesinin ve kullanılabilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Mayıs-2013 döneminde su kaynakları üzerinde insitu ölçümler ve kimyasal analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, bölgedeki su kaynaklarının Mg-HCO₃, Ca-HCO₃, ve Mg-Ca-HCO₃ sular fasiyesinde olduğu belirlenmiştir. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre çalışma alanındaki yüzey ve yeraltı suyu örneklerinin tamamı sülfür parametresinden ötürü IV. su kalite sınıfında yer almaktadır. Bu durum bölgedeki kaya-su etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Kullanım özellikleri bakımından yapılan değerlendirmeler ise su kaynaklarının genel olarak içme ve sulama suyu kullanımına uygun olduğunu göstermektedir.

Güner (2016), bu çalışmada, Yeraltı suyunun (YAS) kalitesini izlemek ve kirlenme potansiyelini tespit etmek amacıyla Mayıs 2012- Nisan 2013 dönemleri arasında bir yıl süreyle incelemeler yapmıştır. Göksu bölgesinde 13, Silifke bölgesinde 12 adet DSİ' ye ait yeraltı suyu gözlem kuyusu belirlenmiş ve yeraltı su numunelerinin fiziksel ve kimyasal parametre değişimleri aylık periyotlarla izlenmiştir. Sonuç olarak; SAR ve RSC durumlarını gösteren değerlerin güven

sınırları içinde kaldığı görülmüştür. Sülfat değerinde fazla dalgalanmanın olmaması ve yüksek değerlere ulaşması da, deltanın deniz girişimine maruz kaldığının bir ifadesidir. Nitrat değerinde çok yüksek sonuçlara rastlanmamış, ancak tarımsal etkiyi ifade edebilecek düzeylere ulaştığı görülmüştür. Yapılan katyon analizleri sonucuna göre sığ akifer sularının kalite değişiminde etken mekanizmaların deltadaki antropojenik etkiler ve kayaç çözünmesi olduğu tespit edilmiştir. Alüvyon akiferdeki kuyu suları uluslararası ve ulusal sınır değerler ile kıyaslanmıştır. TSE' e göre Na⁺ iyonu dışında hiç bir değerinde sınırlar aşılmamıştır. Yapılan diyagram çalışmalarında suların denizden etkilenmiş çok tuzlu su sınıfına girdiği tespit edilmiştir. Ağır metal değerleri ise genelde çok düşük seviyelerde olduğu saptanmıştır.

Yıldız (2009), Bu çalışma ile Çayyolu- Konya Yolu arasındaki (Ankara) akiferlerde, yeraltı sularının kalitesinin incelenmemiştir. Kuyulardan alınan yeraltı suyu örneklerinin pH, sıcaklık, elektriksel iletkenlik parametreleri yerinde ölçülmüş, laboratuvar da ise katyon ve anyon analizleri yapılmıştır. Sonuçlar grafiksel yöntemlerle, standartlar ve yönetmeliklerle karşılaştırılmıştır. İnceleme alanına ait su kimyası verileri Piper, Schoeller, Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramları çizilerek değerlendirilmeleri yapılmış, yeraltı sularındaki baskın hidrokimyasal fasiyesin sodyum ve bikarbonat olduğu tespit edilmiştir. Bölgenin jeolojisi ile suların mineral doygunlukları karşılaştırılarak; su örneklerinin hangi jeolojiye ait akiferden geldiği yorumlanmıştır.

Brindha ve Elango (2011), Hindistan'ın Tamil Nadu kentinde Madhuranthakam'da yaptıkları çalışmalarında yerel yeraltı suyu kalitesinin evsel ve sulamaya uygunluğunu anlamak amacıyla hidrokimyasal çalışma gerçekleştirmişlerdir. Şubat 2002'de, 20 yeraltı suyu örneği toplanmış ve fiziksel ve kimyasal parametreler açısından analiz edilmiştir. Bu bölgedeki yeraltı suyunun arzu edilen Hint Standartları Bürosu ve Dünya Sağlık Örgütü içme suyu sınırları dâhilinde olduğu görülmüştür. Ca-HCO₃, baskın yeraltı suyu türüdür. Bu bölgedeki yeraltı suyu, sulama amaçlı olarak sodyum yüzdesi (% Na), magnezyum tehlikesi (MH), artık sodyum karbonat (RSC), sodyum absorpsiyon oranı (SAR), geçirgenlik indeksi (PI) ve Amerika Birleşik Devletleri Bakanlığı'na göre değerlendirildi. Tarım (USDA) sınıflandırması. Yeraltı suyu örneklerinin çoğu, MH' ye dayalı birkaç konum (% 15) dışında sulama için uygundur. Genel olarak yeraltı suyu kalitesi içme ve evsel amaçlara uygun ve sulama faaliyetleri için izin veriliyordu.

Narsimha ve arkadaşları (2012), çalışmalarında yer altı suyunun evsel ve tarımsal amaçlara uygunluğunun değerlendirmişlerdir. Yeraltı suyu, çalışma alanındaki evsel ve tarımsal faaliyetlerin ana kaynağıdır. Yeraltı suyu numunelerindeki F- miktarının% 70'i 1.5 mg / L içilebilir

limit içindedir. Yeraltı suyunun sulama amacına uygunluğu, toplam yeraltı suyunun% 80'inin yüksek tuzluluk tehlikesi (C3) ve düşük sodyum tehlikesi (S1) türü bölgesinde düştüğünü gösteren ABD Tuzluluk diyagramına göre değerlendirilmiştir. Wilcox diyagramı, yeraltı sularının çoğunun (% 70) sulama amaçlı izin verilenler kategorisine girdiğini göstermektedir. Yeraltı suyundaki kalıntı sodyum karbonat (RSC) 1,25 meq/ L' den azdır ve bu nedenle sulama için uygundur. Kalıntı sodyum bikarbonat konsantrasyonu, çalışma alanında -1.39 ile 0.86 meq/ L arasında değişmiştir. Çalışma alanından toplanan tüm numuneler sulama amaçları için tatmin edici (<5 meq / L) bulunmuştur.



2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

2.1.1. Çalışma Alanı

Doğu Anadolu Bölgesi sınırları içinde kalan Bitlis ilinin yüzölçümü 6.707 km²' dir. Van Gölü'nün 1.876 km²' lik kısmını da sınırları içinde barındıran ilin genel yüzölçümü 8.645 km² dir. İl bu yüzölçümü ile Türkiye topraklarının %1'ini, Doğu Anadolu Bölgesi topraklarının ise %5,5'ini kapsamaktadır (İÇDR, 2013).

Tarihin her döneminde medeniyetlere ev sahipliği yapan Bitlis ili, il ve ilçelerinde Urartu, Selçuklu Beylikler ve Osmanlı uygarlıklarına ait izlerini günümüze kadar getirmiştir. Türkiye'nin en büyük yanardağlarından biri olan Nemrut Dağı ve Krater Gölünü, Tatvan-Ahlat-Adilcevaz ilçelerinde yer alan Van Gölünü ve Süphan Dağı gibi birçok doğal yapılarda yine il sınırları içerisinde bulunmaktadır (İÇDR, 2013).

Bitlis'in Merkez ilçesi dâhil olmak üzere Adilcevaz, Ahlat, Güroymak, Hizan, Mutki ve Tatvan olmak üzere toplam 7 ilçesi vardır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Bitlis ili ve ilçeleri (İÇDR, 2013)

2.1.1.1. Topografik Özellikler

Bitlis ili Doğu Anadolu Bölgesinde kalan ve Yukarı Fırat ve Yukarı Murat bölümlerinin sınırı üzerinde bulunan bir ildir. $41^{\circ} 33'$ ve $43^{\circ} 11'$ doğu boylamlarıyla $37^{\circ} 54'$ ve $38^{\circ} 58'$ kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. İlde çok sayıda volkanik ve normal özellik gösteren dağlar, bu dağlar üzerindeki düzlükler ve Göller bölgenin yeryüzü şekillerini belirler. Bitlis İli deniz seviyesinden 1.545 metre yüksekliktedir. Arazi yapısı diğer bölgelere göre daha yüksek ve daha girintili çıkıntılıdır. Bu bölgedeki yeryüzü şekillerinin dağılımı; %71'ini dağlar, %19'sını platolar ve %10'unu da ovalardan oluşturmaktadır (İÇDR, 2013; Ekinci vd., 2020).

2.1.1.2. İklim Şartları

İlde kış ayları soğuk ve karlı, Yaz ayları ise sıcak ve kurak geçer. İlin sıcaklıkları ortalama -19°C ile $36,8^{\circ}\text{C}$ arasında değişir. Karın yerde kalma süresi uzundur. Yazları ise kısa sürer (150 gün) ve sıcaktır. Mayıs ayından itibaren kurak dönem baş gösterir. İl deniz seviyesinden yüksekte olduğu için karasal iklim hakimdir. Yağış miktarı 958 mm' dir. Yağışın % 45'i kışın, % 31'i ilkbahar ve % 24'ü sonbaharda düşer. İl için yağış miktarının yeterli olduğu görülmektedir. Fakat yazın içme suyu sıkıntısı çekilmektedir (İÇDR, 2018).

2.1.1.3. Tarım ve Hayvancılık

Bitlis ilinin temel geçim kaynağı tarım ve hayvancılıktır. İlde yeryüzü şekilleri dağlık, kayalık ve ormanlık olduğu için tarım yapılan alanları sınırlıdır. Şehir topraklarının sadece %18,9'u tarım arazisidir. Tarım alanlarının ise %73,61'i ekili alanlardan oluşmaktadır. En çok buğday, çavdar, darı, arpa, baklagillerden özellikle fasulye yetiştirilmektedir. Meyvecilik sebzeçilikten daha çok gelişmiştir. Ve ağırlıklı olarak ceviz, armut, Antep fıstığı, meyan kökü, elma, kiraz ve dut yetiştirilmektedir. İlin tarımsal ekonomisi hayvancılığın gerisinde kalmaktadır. Yeryüzü şekillerinin engebeli olmasından dolayı ilde ağırlıklı olarak küçükbaş ve büyükbaş hayvancılık yapılmaktadır (İÇDR, 2018).

2.1.1.4. Jeolojik Özellikler

Dicle Havzasının kuzey bölümünde geniş yer kaplayan Bitlis ili ve güroyamak ilçesi orta dicle alt havzasında, Van kapalı havzasının kuzeyinde yer alan Tatvan ve Ahlat ilçeleri ise hidrojeolojik etüt raporunda Van kapalı havzası içerisinde incelenmektedir.

Dicle alt Havzasının kuzey kısmında büyük bir alanı kapsayan ve yine Dicle alt Havzasının en yaşlı birimini (Prekambriyen – Devoniyen) olan Bitlis Metamorfikleri, Anadolu Platformu içerisindeki Bitlis Masifini ve naplarını ifade eder. İlkel zamanda oluşmuş olan Bitlis Metamorfiklerinin içeriği metagabro, metalav (metavolkanitler), serpantinit, amfibolit, gnays, şist, fillat, rekristalize kireçtaşı, mermer, kuvarsit, pelajik kireçtaşı, radyolarit birçok metamorfik temel kayalar oluşmaktadır (DSİ, 2015).

Bitlis Metamorfikleri bazı araştırmacılar tarafından, alt birlik kayalar ve üst birlik kayalar olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Alt birlik kayaların içeriği; yeşil renkli magnetit ve anfibolca zengin olan gnayslar, gri renkli, biyotitli, granatlı feldspat-kuvarşlı yapılardan ve Granitler olarak adlandırılan yapılar ise açık renkli, mafik mineralce fakir, ince ve orta kristalli ve eş taneli kuvarsit, albit ve az oranda amfibol, mukovit, biyotit, klorit, magnetit ve hematiten oluşmaktadır. Prekambriyen yaşlı olduğu belirlenen Alt birlik kayalar birbirleri içinde uyumsuz olarak yer almaktadır (DSİ, 2015).

Devoniyen yaşlı olduğu belirlenen üst birlik kayalar ise alt birlik kayaların üzerinde tektonik hareketlerden etkilenerek meydana gelen şist – mermerlerden oluşmuştur. Şistlerin farklı renklerde olduğu gözlemlenirken; yapı içinde yer yer kuvarsit ve fillat yapılarına rastlanmıştır. Genel olarak masif bir özellik gösteren mermerler ise 2 çeşit şekilde görülmektedir. Gri renkli mermerler kalın, orta katmanlı yer yer masif olan birimlerdir. Beyaz renkli mermerler ise, orta – kalın tabakalı, bol kıvrımlıdır (DSİ, 2015).

Van kapalı havzasının kuzeyinde yer alan Tatvan alt havzası metamorfik, mağmatik ve sedimanter birimlerden oluşmakta olup; Nemrut Dağ'ında oluşan volkanizma sonucu havzanın kuzeybatısında (Tatvan Bitlis yolu mevki) volkanik birimlerden oluşurken, havzanın doğusu ise Sedimanter birimlerden oluşmaktadır. Yine aynı havza içerisinde bulunan Ahlat alt havzasında da mağmatik ve sedimanter birimler yer almaktadır. Nemrut Dağ'ında meydana gelen volkanizmadan kaynaklı olarak havzanın batısı kuzeyi ve güneyi volkanik birimlerden oluşurken, doğusunda ise Sedimanter birimler ise yayılım göstermektedir. Adilcevaz alt havzasında mağmatik ve sedimanter birimler yer alır. havzanın kuzeydoğu sınırı yakınlarında bulunan Süphan Dağ'ında meydana gelen

volkanizma sonucunda havzanın doğu-kuzeydoğusu volkanik birimlerden meydana gelmektedir. Sedimanter birimler ise havzanın güneyinde ve batısında yayılım göstermektedir (DSİ, 2013)

2.1.1.5. Hidrojeolojik özellikler

Bitlis Metamorfikleri Metagabro, metalav, serpantin, amfibolit, gnays, şist birimleri teşkil etmektedir. Bu birimlerin kaynak debi ölçümleri 0.1 – 1.1 L/sn arasında olup, birimlerin akifer özelliği düşüktür. Bölgedeki yağış suları ise topoğrafik kotlara bağlı olarak vadi tabanındaki dere, nehir veya düşük debili kaynakların çıkış noktalarına boşalım yaparlar (DSİ, 2015).

Van kapalı havzasının Tatvan alt havzası; Nemrut Dağında meydana gelen volkanizma sonucu oluşmuş tuf ve andezit birimlerinden oluştuğu için Tatvan andezit-tuf akifer sahası olarak tanımlanmaktadır. Akifer sahasında yüzeylenen Kuvaterner yaşlı alüvyon birimi, Kuvaterner yaşlı volkanik birimlerin üzerinde ince bir tabaka halinde yer aldığı için ve az bir bölgede yayılım gösterdiği için alüvyon birimi akifer olarak görülmemiştir. Tatvan volkanik birimler akiferinde Çizelge 2.1’ de gösterildiği gibi, DSİ tarafından açılmış sadece 1 adet kuyu yer almaktadır (DSİ, 2013).

Çizelge 2.1. Tatvan akifer sahasında yer alan DSİ kuyuları pompaj verileri (DSİ, 2013)

DSİ NO	Yeri	Der. (m)	St. Sev. (m)	Din. Sev. (m)	Debi (l/s)	Özgül verim (l/s/m)	akifer kalın. (m)	Akifer cinsi	Litoloji
6236	Tatvan	90,80	26,30	30,00	3,00	0,81	68,00	Serbest	0-22m Alüvyon 22-29m tuf 29-33m bazalt 33-90m tuf 90-90,80m kireçtaşı

Tatvan alt havzasında ki kuyuların çoğunluğu andezit-tuf birimi içinde kaldığı için andezit-tuf kalınlığını ortaya koyacak derinlikte kuyuya rastlanılmamıştır.

Van kapalı havzasının Ahlat volkanik birimler akiferi; alt havzasında yüzeylenen Alt Pliyosen Kuvaterner yaşlı volkanik birimler ile havza içerisinde yüzeylenmiş bulunan alüvyon biriminin altında yer alan yine aynı yaşlı volkanik birimlerden oluşmaktadır. Ahlat Akifer sahası

batıda Güzelsu Köyü, kuzeyde Ovakışla Beldesi doğuda Ahlat ilçesi, güneyde Yumurta Tepe ile sınırlı kalmaktadır. Ahlat akifer sahasında yüzeyleyen Kuvaterner yaşlı alüvyon birimleri Alt Pliyosen- Kuvaterner yaşlı volkanik birimleri üzerinde çok ince bir tabaka halinde yer almasından dolayı alüvyon birimi akifer olarak görülmemiştir. Alüvyon birimi üzerinde açılmış DSİ kuyusu bulunmadığından yapılan gözlemler sonucunda alüvyon kalınlığının çok ince bir tabakadan oluştuğu kabul edilmiştir (DSİ, 2013).

Akifer üzerinde açılmış ve mevcut olan kuyulardan elde edilen verilere göre akifer toplam kalınlığının en az 150-200 m arasında değişmekte olduğu görülmüştür. Kuyular incelendiğinde akifer özelliğindeki kuyu sonuna kadar volkanik birimlerin olduğu ve geçirimsiz taban kayacına girilmediği görülmüştür. Ancak havzanın jeolojik yapısına bakıldığında akifer sahasını oluşturan volkanik birimlerin altında Neojen (20 milyon sene önce) yaşlı marn birimlerinin olduğu tahmin edilmektedir. Ahlat volkanik birim akiferin de açılmış 2 adet DSİ kuyusu ve özellikleri Çizelge 2.2.'te gösterilmiştir (DSİ, 2013).

Çizelge 2.2. Ahlat akifer sahasında yer alan DSİ kuyuları pompaj verileri (DSİ, 2013)

DSİ NO	Yeri	Der. (m)	St. Sev. (m)	Din. Sev. (m)	Debi (l/s)	Özgül verim (l/s/m)	akifer kaln. (m)	Akifer cinsi	Litoloji
50404	Taşharman Köyü	123,0	60,45	68,16	20,20	2,61	63	Serbest	0-26 m bazalt cürufu 26-50 m bazalt 50-123 m tüf
39440	Ahlat Merkez	62,0	42,20	51,90	24,97	2,57	20	Serbest	0-52 m tüfit 52-62 m bazalt

Ahlat alt havzasında yapılan çalışmalarda DSİ kuyuları haricinde YAS kullanma belgeli 78 adet şahıs kuyusu olup, bunun dışında 13 adet de YAS kullanma belgesi tespit edilemeyen arazi kuyusuna rastlanmıştır. Fakat sadece DSİ tarafından açılmış olan 2 adet sondaj kuyusu statik seviyeleri dikkate alınmış ve tavanı, yüzeyden itibaren yaklaşık 42-60 m arasında değişmektedir. Ayrıca akifer de serbest akifer özelliği görülmüştür (DSİ, 2013).

Adilcevaz alt havzası, Kuvaterner yaşlı alüvyon, Pliyosen-Kuvaterner yaşlı volkanik birim ve alt katmanların Neojen yaşlı kireçtaşı birimlerinden oluşturmuş akifer sahasıdır. Akiferin düzlük alanları oluşturan alüvyon birimi, genel olarak kil, silt, kum ve çakıl malzemesinden oluşur ve kalınlığı 142 metredir. Daha yüksek kesimlere gidildikçe alüvyon birimin alt kısmında volkanik

birimler yer almaktadır. Çizelge 2.3’ de gösterildiği gibi Adilcevaz akiferinde DSİ tarafından 9 adet sondaj kuyusu açılmış ve statik seviyeler dikkate alındığı zaman tavanı ve yüzeyi arasında yaklaşık toplam kalınlık 80-100 m arasında değişmektedir. Akifer sahasında açılmış olan kuyular incelendiğinde; akiferin geçirimsiz taban kayacını Neojen yaşlı geçirimsiz killi marnlı birimlerin oluşturduğu görülmektedir (DSİ, 2013).

Çizelge 2.3. Adilcevaz akifer sahasında yer alan DSİ kuyuları pompaj verileri (DSİ, 2013)

DSİ NO	Yeri	Der. (m)	Debi (l/s)	Özgül verim (l/s/m)	akifer kalın. (m)	Akifer cinsi	İletkenlik(T) (m ³ /gün/m)
57983	Yolçatı	142	18.4	0.85	117	Serbest	76,5
57984	Aşağı Süphan	92	29.33	7.65	52	Serbest	652,70
35241	Süphan Köyü	101	25.3	9.03	47	Serbest	399,74
35242	Süphan Köyü	150	0	0	-	Serbest	-
38657	Yukarı Süphan	120	30	6.6	85	Serbest	-
38658	Süphan Köyü	122	30.02	8.26	114	Serbest	474,32
38655	Y.AşağıSüphan	120	30.27	2.93	87	Serbest	159,53
20872	Süt fab.	50	10.5	5.53	40	Serbest	-
41036	-	71	23.46	14.22	29	Serbest	699,37

2.1.2. Arazi Çalışmaları

Bu çalışmada arazi çalışmalarına başlamadan önce inceleme alanımız olan Bitlis il ve ilçeleri sınırları içerisinde bulunan yerleşim yerleri belirlenmiş, yeraltı su numunesi alınacak noktaların ulaşım durumları tespit edilmiştir. Yeraltı su numunesi alınacak noktaların lokasyonları kabaca belirlenerek GPS yardımı ile koordinatları alınmıştır.

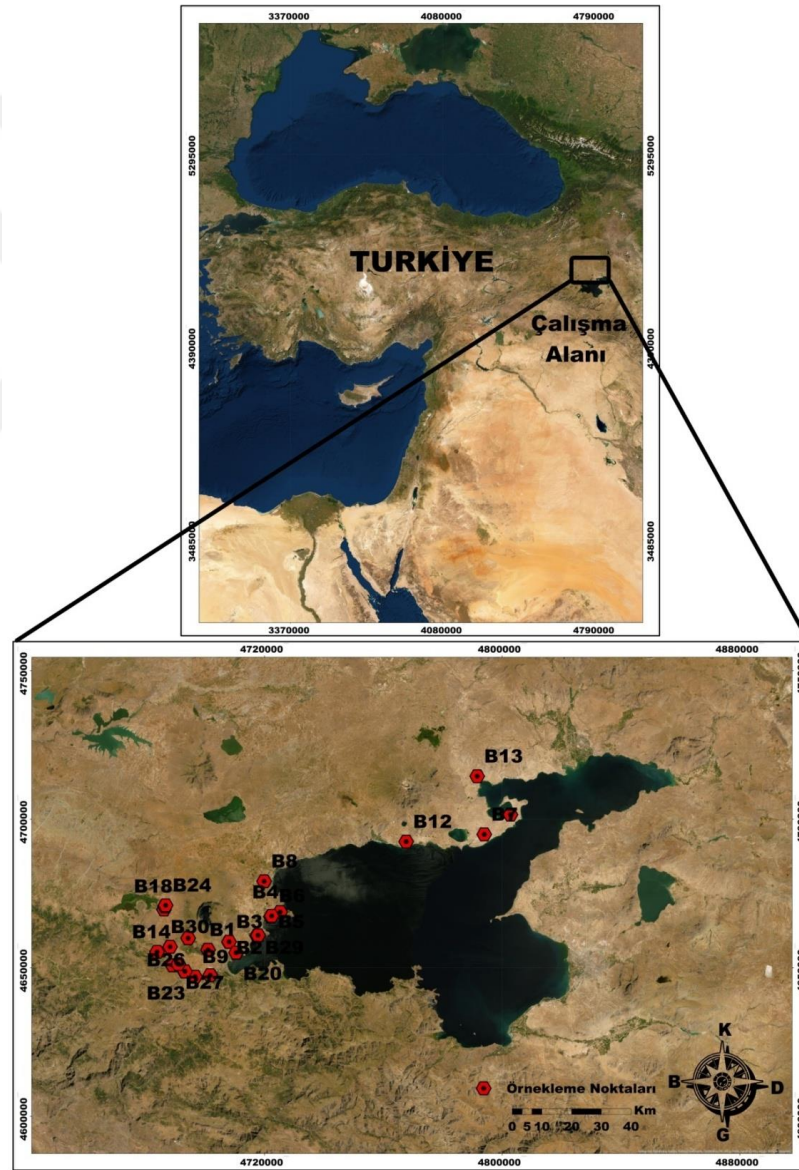
Bitlis ili ve ilçelerinde doğal kökenli (jeojenik) kirlenme ve insan faaliyetlerinden kaynaklı (antropojenik) kirlenme ihtimali bulunan kaynak ve sondaj sularından yeraltı suyu örnekleri alınmıştır. Örnekleme çalışmaları yağışlı ve kurak dönem olacak şekilde; yağışlı dönem 18-25 Haziran 2019 tarihi ve kurak dönem 17-18 Eylül 2019 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda 30 noktadan yer altı su numunesi alınmıştır. Alınan yeraltı su numunelerinde; pH, sıcaklık, Alkalinite, Eİ, Cl⁻, Na⁺, K⁺, Ca⁺² ve Mg⁺² gibi fiziksel ve kimyasal parametrelere

bakılmıştır. Numune noktalarından alınan su örnekleri 1.5 L olacak şekilde plastik numune kaplarına, “TS ISO 5667-11 Su Kalitesi – Numune Alma – Bölüm 11- Yeraltı Sularından Numune Alma Kılavuzu” ve “TS 9359 Su Kalitesi – Yeraltı Suyu Kontrol Kuyularından Numune Alma Rehberinde yer alan koşullara uygun olarak alınmıştır. Numune alma noktalarının koordinatları ve lokasyonları Çizelge 2. 4’ de ve Şekil 2. 2’ de görülmektedir. Ayrıca örnekleme çalışmalarını yansıtması açısından arazide yapılan numune alma çalışmalara ait görüntüler Şekil 2. 3 ve Şekil 2. 4’ de yer almaktadır.

Çizelge 2.4. Örnek Alma Noktaları Ait Bilgi ve Koordinatlar

Lokasyonlar	Örnek No	Kotlar (m)	Koordinat	
			X	Y
Benekli 1	B1	1859	258591	4269430
Yumurtatepe 1	B2	1881	264146	4271317
Yumurtatepe 2	B3	1879	264194	4271350
Adabağ 1	B4	1675	277855	4278766
Sarıkum 1	B5	1659	275390	4277626
Sarıkum 2	B6	1679	275591	4277834
Kavuştuk 1	B7	1666	331994	4297783
Saka 1	B8	1689	273878	4286944
Küllüce 1	B9	1819	254940	4262463
Gölbaşı 1	B10	1332	247293	4280361
Gölbaşı 2	B11	1331	247586	4281155
Yolçatı 1	B12	1735	311459	4296354
Heybeli 1	B13	1710	330465	4313004
Kekliktepe 1	B14	1607	245144	4269289
Örenlik 1	B15	1871	258948	4262746
Yazıkonak 1	B16	1837	249112	4265631
Yazıkonak 2	B17	1831	249099	4265663
Gölbaşı 3	B18	1330	247562	4281191
Toki 1	B19	1683	265963	4268401
Toki 2	B20	1686	265960	4268454
Yarımada 1	B21	1654	338979	4302811
Koruk 1	B22	1808	252263	4263908

Koruk 2	B23	1808	252332	4263953
Gölbaşı 4	B24	1336	247766	4281436
Oduncular 1	B25	1882	253420	4272638
Oduncular 2	B26	1883	253430	4272638
Tahtalı Köyü	B27	1806	250635	4265929
Kıyıldüzü 1	B28	1677	271602	4272725
Kıyıldüzü 2	B29	1662	271865	4272848
Aşağı kolbaşı	B30	1639	248601	4270524



Şekil 2. 2. Örnekleme noktaları ait lokasyon haritası



Şekil 2. 3. Yağışlı Dönem numune alma çalışmalarına ait görüntüler



Şekil 2. 4. kurak Dönem numune alma çalışmalarına ait görüntüler

2.2. Yöntem

2.2.1. Verilerin Elde Edilmesi

Bitlis ili ve ilçelerinde yeraltı suları kuyu ve kaynak sularından numune alma çalışmaları yağışlı ve kurak dönemi temsilen Haziran 2019 ve Eylül 2019 dönemlerinde toplam 2 dönem olmak üzere yürütülmüştür. Örnekleme çalışmaları “ TS ISO 5667-11 Su Kalitesi – Numune Alma – Bölüm 11- Yeraltı Sularından Numune Alma Kılavuzu” ve “TS 9359 Su Kalitesi – Yeraltı Suyu Kontrol Kuyularından Numune Alma Rehberi” yer alan koşullar dikkate alınarak yapılmıştır (Sancak, 2014). Çalışmalar sırasında alınan numuneler için 1,5 lt’ lik plastik numune kapları kullanılmış olup, çalışma sonrasında numuneler, Bitlis Eren Üniversitesi Çevre Mühendisliği laboratuvarına getirilmiştir. Alınan kaynak ve yeraltı suyu numunelerinde; su sıcaklığı, pH, elektriksel iletkenlik (EC) parametre değerleri yerinde ölçülmüştür. Geriye kalan diğer bütün parametreler ve Major anyon ve katyon parametrelerinin analizleri Şanlıurfa Belediyesi İçme Suyu Arıtma Tesisi Laboratuvarında yapılmıştır. Analiz sonuçlarında elde edilecek veriler RockWare Aq.QA 1.1 (1.1.4.1) yazılımı kullanılarak analiz sonuçlarına göre her istasyon için bir veri tabanı oluşturulmuştur. Yeraltı suları kuyu ve kaynak sularında yerinde (in-situ) olarak sıcaklık, EC ve pH ölçümleri WTW marka, cihaz ile ölçülmüştür. Alınan su numunelerinde Fiziksel ve kimyasal parametreler ŞUSKİ içme suyu arıtma tesisinde yapılmıştır. Tesiste yapılan Fiziksel ve kimyasal parametrelerin analizleri Çizelge 2. 5’ te gösterilen cihazlar ile yapılmıştır.

Çizelge 2.5. Parametrelerin Analizlerinde Kullanılan Cihazlar

Parametreler	Metotlar	Cihazlar
pH	Elektrometrik Metod (4500B)	WTW Marka pH metre
Sıcaklık	Laboratuar ve Alan Metodu (2550B)	WTW Marka pH metre
Elektriksel iletkenlik	İletkenlik Metodu (2510A)	WTW Marka iletkenlik ölçer
Alkalinite	Titrasyon metodu (2520B)	-
Klorür	Civa tiyosiyanat metodu	Klorür Spektrofotometre
Sodyum, Potasyum,	Metal indiksiyonu ile birleşmiş plazma, Kütle spektrometresi	Birleşmiş plazma (ICP) Emisyon Spektrometresi

Magnezyum,

Kalsiyum

Sülfat

Sulfaver 4 method

Sülfat spektrofotometre

2.2.2. Verileri Değerlendirme Metodolojisi

Yerüstü ve yeraltı sularında; su miktarının ve su kalitesinin belirlenmesi canlı yaşamı için oldukça önemlidir. Suların sürdürülebilirliği veya mevcut durumlarının korunması amacıyla kalite kavramı belli standartlara bağlanmış bu kapsamda birçok ulusal ve uluslararası kanun ve yönetmelik çıkarılmıştır. Bunlar; Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği SKKY (2004) Tablo 1: Kıta içi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri (RG-Değişik tablo 1:RG-13/2/2008-26786), Türk Standartlar Enstitüsü TS-266, Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, gibi standartlarıdır.

Bitlis ili ve ilçelerinde yeraltı suyu kaynaklarının su kalite parametreleri bakımından değerlendirilmesi kapsamında elde edilen analiz dataları ile toplam sertlik, SAR, % Na ve RSC değerleri, Excel 2016 Microsoft Office programı ile hesaplama yöntemiyle kullanılarak belirlenmiştir. Bu parametreler % Na, SAR, toplam sertlik gibi bir takım değerler Aqqa 1.1.1 rockware yazılımı ile hesaplanmış olup analiz sonuçlarına göre her istasyon için bir veri tabanı oluşturulmuştur. Ayrıca bu yazılım ile her bir nokta için ortak bir değerlendirme yapılmış ve bu noktalara ait hidrokimyasal fasiyes tipi (Piper, yarı logaritmik Schoeller vb. diyagramları) saptanmıştır. Analiz sonuçlarından elde edilen verilerde; sulama suyu kalitesi sınıflandırılması yapılırken Wilcox ve ABD tuzluluk diyagramları kullanılmıştır (Demir Yetiş, 2013).

Sulama suyu sınıflamasında ve bu çalışmada kullanılanlar:

SAR (%Na): Sulama amacıyla kullanılan sulardaki sodyum iyonunun miktarı gösteren bir yöntemdir. Toprakta bulunan sodyum, toprağın içeriğini bozarak, geçirgenlik oranını düşürür. Toprakta sulama yapıldıktan sonra toprağın üst kısmında biriken sodyum, yumuşak ve yapışkan bir macunumsu tabaka oluşturarak bitki köklerinin oksijen almasını engeller (Yıldız, 2009). Sulama sularında % Na şu şekilde ifade edilir.

$$\%Na = \frac{100 * Na}{Na + K + Ca + Mg} \quad (2.1)$$

Bu bağıntı yerine, daha kullanışlı olan eşitlik şöyledir:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}} \quad (2.2)$$

SAR' a göre sulama sularında sınıflama aşağıdaki gibi yapılır.

	<u>SAR (%)</u>
Çok iyi özellikte sulama suları	10'dan az
İyi özellikte sulama suları	10-18
Orta özellikte sulama suları	18-26
Fena özellikte sulama suları	26'dan fazla

Sulama sularının sınıflandırılmasında çeşitli diyagram kullanılır. Bunlar;

- Wilcox diyagramı
- ABD tuzluluk diyagramı

Wilcox diyagramı: Sulama suları sodyum yüzdesi ve elektriksel iletkenlik değerlerine göre sınıflandıran diyagramdır. Bu diyagramın yatay çizgisi EC değerini, dikey çizgisi ise sodyum yüzdesinin değeri göstermektedir. % Na dikey çizgi üzerine işaretlenir ve bu noktadan yatay eksene bir paralel çizilir. Aynı şekilde elektriksel iletkenlik değeri içinde yatay çizgi üzerinden çizgi çizilir. Çizilen paralellerin birleştiği nokta sulamada kullanılacak suyun özelliklerini verir. Wilcox Diyagramı sulama sularını, çok iyi-iyi, iyi kullanılabilir, şüpheli-kullanılabilir, şüpheli-kullanılamaz, sulamaya uygun değil şeklinde sınıflandırmaktadır (Yetiş, 2015).

ABD tuzluluk diyagramı: Sulama sularının sınıflandırılmasında en çok tercih edilen diyagram ABD Tuzluluk diyagramıdır. Düşey çizgisinde SAR değeri, yatay çizgisinde elektriksel iletkenlik (EC) değeri yer alır. Bu diyagram sulama sularını 16 ayrı sınıfa tabi tutar. Diyagramda yer alan sınıflandırmalar; tuzluluklarına göre C1, C2, C3, C4 ve sodyum miktarlarına göre S1, S2, S3 ve S4 alt sınıflarıdır. Bu alt sınıfların açıklamaları çizelge 2.6' da gösterilmiştir (Demir Yetiş, 2013).

Çizelge 2.6. Suların tuzluluk ve sodyum miktarlarına göre sınıflandırılması (Demir Yetiş, 2013)

C1	Tuz miktarı az olan sular. Bitkiler için sulama suyu olarak kullanılabilir.
C2	Tuz miktarı orta derecede olan sular. Suya Orta derecede ihtiyaç duyan bitkiler için kullanılabilir.
C3	Tuz miktarı fazla olan sular. Drenaj yapılmaksızın bitkiler için kullanılamaz. Fakat tuza ihtiyaç duyan bitkiler için kullanılabilir.
C4	Tuz miktarı çok fazla olan sular. Sulamada kullanma için uygun değil. Geçirgenliği ve drenajı çok iyi topraklarda, zeminin yıkanmasını sağlamak için bu sular kullanılabilir.
S1	Sodyum miktarı az olan sular. Sodyuma karşı dayanıklı olan bitkiler dışında tarım için uygun değildir.
S2	Sodyum miktarı orta olan sular. Permabilitesi iyi olan jipsli topraklar için kullanılabilir.
S3	Sodyum oranı fazla olan sular. Ender hallerde sulama suyu olarak kullanılabilir.
S4	Sodyum oranı çok fazla olan sular. Bu sular, sulama için uygun değildir. Fakat suyun toplam tuz miktarının düşük olduğu topraklarda sulamada kullanılabilir.

Buna göre, C1S1, C2S1, C3S1 tüm sulama faaliyetleri için C4S1, C3S2 bazı özel durumlarda kullanılabilir. C4S2, C4S3 sulama sularında kullanılması uygun değildir. Sulamada kullanılan suların pH değerinin bilinmesi oldukça önemlidir ve pH değeri 9' u geçmemelidir. Bu çalışmadaki amaç sulama suyu faaliyetlerinde kullanılan suları yukarıda belirtilen sınıflara bölmektir.

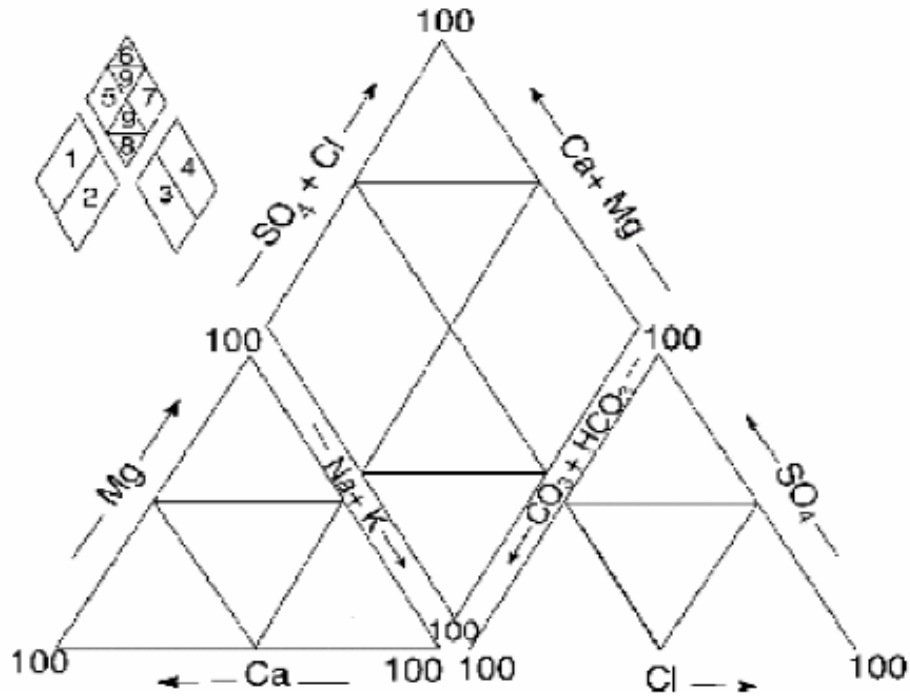
2.2.3. Hidrokimyasal Fasiyes Sınıflaması

Piper Diyagramı: Suları gruplandırmak ve hangi kökenden geldiğini belirlemek için kullanılan bu diyagramlar bir eşkenar üçgenden oluşmaktadır. Bu yöntemde iyonlar için % meq/L birimi hesaplanır ve bu değerler diyagramda kullanılır. Anyonlar ve katyonlar için ayrı ayrı birer üçgen kullanılabileceği gibi, tek bir üçgene hem anyon hem katyonlarda işaretlenebilir. Eşkenar dörtgende suyu temsil eden noktanın bulunduğu bölge, suyun ana karakterini gösterir. Bütün sular için noktalar işaretlendiğinde, aynı kökenli sular yaklaşık olarak aynı bölgede toplanır. Bu sınıflamaya göre her bir üçgende anyon ve katyonların kimyasal özelliklerini saptamak

mümkündür. Sınıflandırmada kullanılan paralel kenar diyagram Şekil 2.5' de gösterildiği gibi dokuz bölüme ayrılmıştır ve bu bölümler Çizelge 2.7' de gösterilmiştir (Yetiş, 2015).

Çizelge 2.7. Piper diyagramını ayırmış olan numaraların açıklamaları (Yetiş, 2015)

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



Şekil 2.5. Hidrokimyasal verilerin değerlendirilmesi için kullanılan Piper Diyagramı

Schoeller Diyagramı: Bu diyagramda yatay eksene belirli aralıklar ile rCa^{+2} , rMg^{+2} , $r(Na^{+}+K^{+})$, rCl^{-} , rSO_4^{-2} ve $rHCO_3^{-}$ iyonları sıralanır. Düşey eksen logaritmik ölçeklidir. Bir su örneği, schoeller diyagramda gösterilirken her iyonun meq/L (r) değeri için, kendine ait logaritmik eksende noktalar işaretlenerek birleştirilir. Böylece su örneğinin özellikleri tanımlanması ve ayırt edilebilmesi, kırık çizgiler halinde temsil edilmiş olur. Ayrıca bu diyagramda birden fazla su bir arada gösterilebilir. Yarı logaritmik diyagrama çizilen su analizlerinde, kırık çizgileri birbirine paralel sular, aynı tür formasyondan gelen suları gösterir (Yetiş, 2015; Demir Yetiş, 2013).

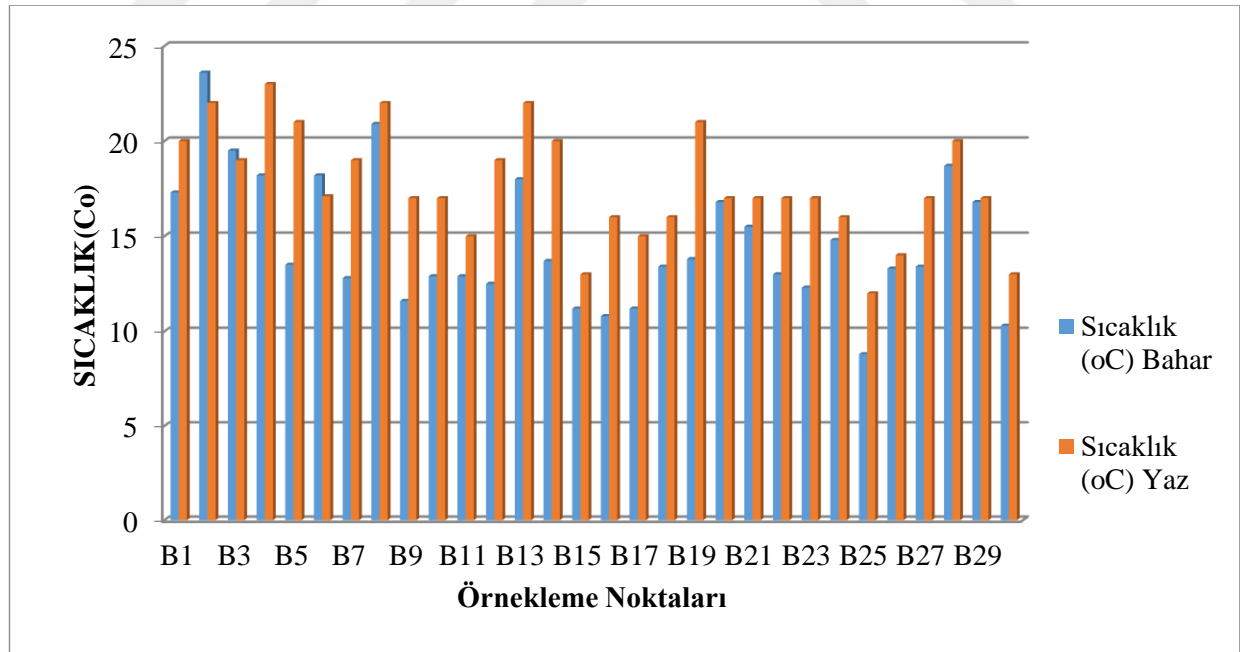
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bitlis ili ve ilçelerinde yeraltı sularının kalitelerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada, 30 örnekleme noktasında; sıcaklık, pH, Eİ, Cl⁻, SO₄⁻², Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, K⁺ gibi fiziksel ve kimyasal parametreler bakılmıştır. Bitlis ili ve ilçelerinde yeraltı su kaynaklarında su kalitesi izleme çalışmaları Haziran 2019–Eylül 2019 tarihleri arasında yürütülmüştür. Bu çalışmada ölçümü yapılan fiziksel ve kimyasal parametrelerden elde edilen verilerin dönemsel ortalamalarına ait alansal dağılımları ve örnekleme noktalarına göre değişimleri incelenmiştir.

3.1. İçme Ve Kullanma Suyu Açısından Değerlendirme

3.1.1. Sıcaklık

İçme ve kullanma sularında su sıcaklığı; mikroorganizma gelişimi, tat, koku, renk ve korozyon problemlerinde önemli rol oynar (Yetiş, 2015). Sıcaklık parametresi, su kütlesinin derinliğine, enleme, yüksekliğe, etkin volkanizma gibi etkenlere bağlı olup, suların kökeni ve geliş yeri hakkında bilgi verir (Demir Yetiş; 2013).



Şekil 3.1. Su sıcaklığının örnekleme noktalarına göre dönemsel değişimi

Bitlis ili ve ilçelerinde yapılan örnekleme çalışmalarında noktalara ait sıcaklık değeri Şekil 3.1' de gösterilmiştir. Şekil 3.1' e göre en düşük sıcaklık değeri yağışlı dönemde Oduncular

Çeşme 1 isimli B25 nolu noktada 8,8 °C, en yüksek sıcaklık değeri ise yine yağışlı dönemde Yumurtatepe1 isimli B2 nolu noktada 23,3 °C olarak ölçülmüştür. Dönemsel ortalama baz alındığında elde edilen sıcaklık verilere göre Bitlis ili ve ilçelerinde yer altı suyu sıcaklıklarında büyük bir değişim söz konusu değildir. Bitlis ili ve ilçeleri yer altı suları sıcaklık değerleri SKKY (2004) Tablo 1: Kıta içi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri (RG-Değişik tablo 1:RG-13/2/2008-26786) sınır değerleri baz alındığı zaman I. sınıf su kalitesi özelliği göstermektedir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Sıcaklık için ulusal mevzuattaki sınır değerler (SKKY(2004) Tablo 1)

Ulusal mevzuat	SICAKLIK			
	Sınıf I	Sınıf II	Sınıf III	Sınıf IV
SKKY	25	25	30	>30

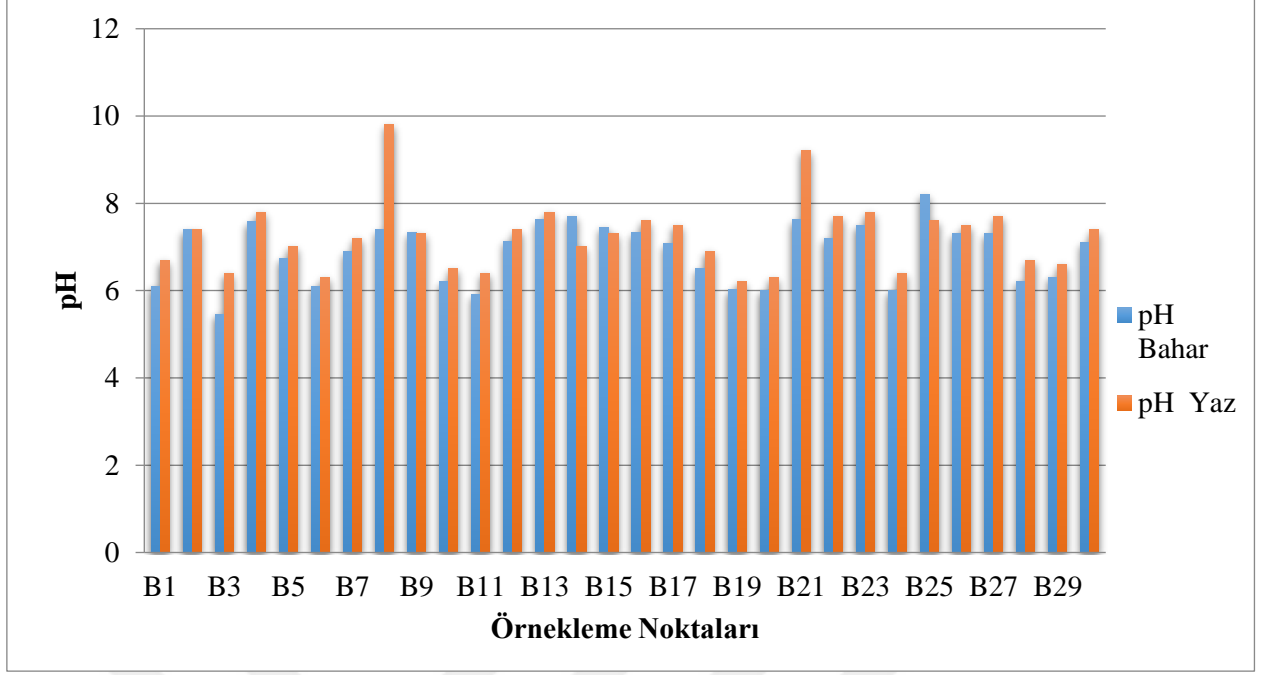
Çalışma alanındaki sular sıcaklıklarına göre de sınıflandırılmıştır. Buna göre çalışma alanında seçilmiş noktalardan 8 tanesi “Az ılık sular” sınıfına girerken, geriye kalan tüm noktalar “Çok az ılık sular” sınıfına girmektedir (Çizelge 3.2). Daha önce bu bölgede yapılan çalışmalara baktığımızda su sıcaklığının 9,3°C ile 15,3°C arasında değiştiği gözlenmiştir. Fakat mevsimsel sıcaklık ve suyun toprakla temas süresi su sıcaklığının artmasına neden olan etmenler arasındadır (Elmastaş vd., 2019)

Çizelge 3.2. Suların sıcaklıklarına göre sınıflandırılması

Sıcaklık	Çok soğuk sular	Soğuk sular	Çok az ılık sular	Az ılık sular	Ilık sular	Sıcak sular
Su Sıcaklığı	<5 °C	6-10 °C	11-18 °C	19-25 °C	26-37 °C	>40 °C

3.1.2. pH

pH; Sudaki asitlik veya bazlık durumunu gösteren bir ölçü olarak ifade edilmektedir. Düşük pH özelliğine sahip sular korozyona sebep olurken, yüksek pH özelliklerine sahip sular ise tortulara sebep olmaktadır. Aynı zamanda düşük pH' lı suların tadı acı iken yüksek pH' lı suların tadı sodalı olmaktadır. Bu yüzden içme ve kullanma suyu olarak kullanılacak sularda pH değerinin 6.5 ile 8.4 arasında olması beklenir. pH parametresi sularda meydana gelen birçok biyolojik ve kimyasal olayları etkiler (Yetiş; 2015, Akyüz; 2019). Çalışma alanındaki tüm örnekleme noktalarında dönemsel pH değerleri Şekil 3.2' de gösterilmiştir.



Şekil 3. 2. pH' ın örnekleme noktalarına göre dönemsel değişimi

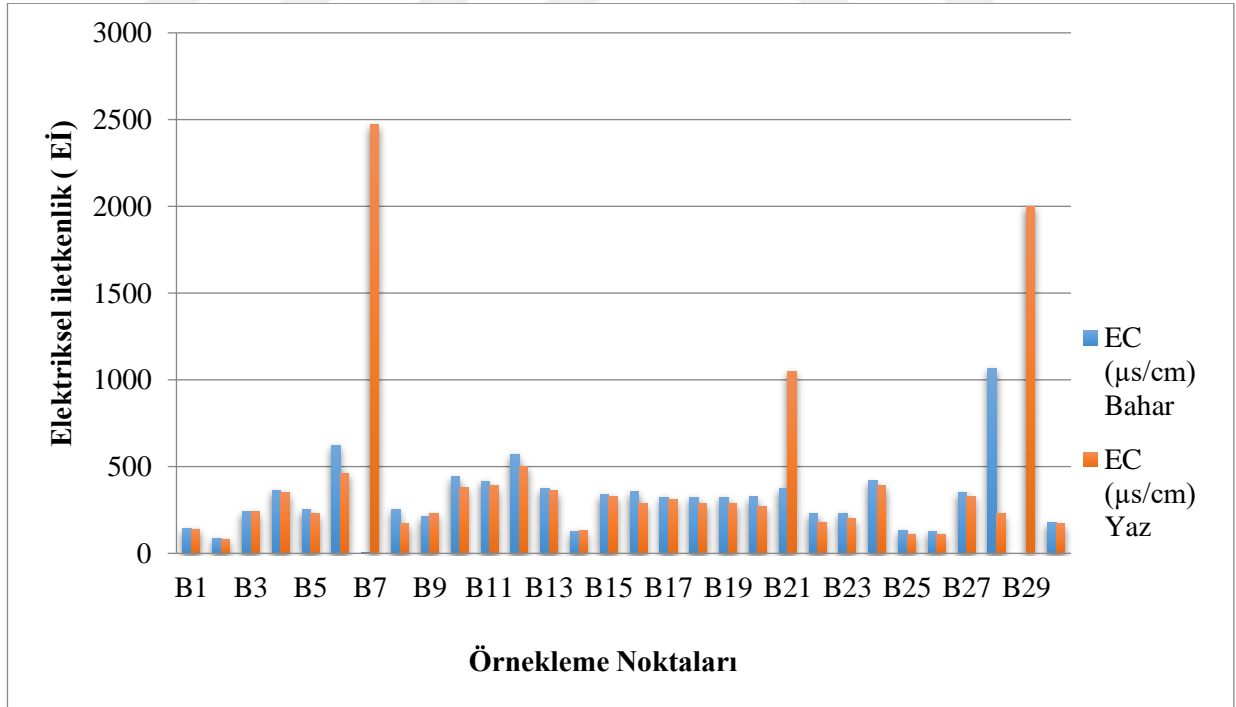
Örnekleme noktalarının pH değerleri incelendiği zaman en düşük değer yağışlı dönemde yumurtatepe2 isimli B3 nolu noktada 5,46, en yüksek değer ise kurak dönemde Saka 1 isimli B8 nolu noktada olduğu görülmüştür. pH değeri Çizelge 4.3 gösterilen sınır değerlerle karşılaştırıldığında SKKY ve WHO sınır değerlerine göre yağışlı dönemde 9 nokta sınır değerlere uygun çıkmamıştır. B3 ve B13 noktaları sınır değerlerin çok altında çıkarken, geriye kalan 7 nokta ise $Ph > 6$ değeri ve üzeri çıkmıştır. kurak dönemde ise; B8 ve B21 noktalarında su kalitesi III. Sınıf çıkarken, 6 noktada $Ph > 6$ değeri gözlemlenmiştir. B8 ve B21 noktaların pH değerinin yüksek olmasının nedeni, bu bölgede yapılan tarım faaliyetlerine bağlanabilir. Ulusal ve uluslararası standartlara göre değerlendirme yapıldığında, SKKY (2004) Tablo 1: Kıta içi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri (RG-Değişik tablo 1:RG-13/2/2008-26786)' ne göre 11 örnekleme noktası IV sınıf su kalitesine girmektedir. Geriye kalan noktalar ise I. Sınıf'tır. Geçmiş dönemlerde bu bölgede yapılmış olan çalışmalarda pH değeri yine bu değerlerde seyretmiştir. Bölgede daha önce yapılan çalışmalarda pH değerleri ortalama 7,3 olarak ölçülmüştür. Belirtilen sınır değerlerinin dışındaki değerler nadiren sorunlara yol açar (Elmastaş vd., 2019).

Çizelge 3.3. pH'ın ulusal ve uluslar arası standartlardaki sınır değerleri

Mevzuat	pH			
	I	II	III	IV
SKKY	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-9.0	6.5-8.5
TS266(2005)	6.5- 9.5			
Sağlık Bakanlığı(2005)	6.5-9.5			
WHO(2011)	6.5- 8.5			
USEPA(2021)	6.5-8.4			

3.1.3. Elektriksel İletkenlik(Eİ)

Elektriksel iletkenlik, suyun içindeki toplam çözünmüş tuz veya çözünebilir tuz miktarını ifade eder. EC ile iyon dengesi birbiriyle bağlantılı parametrelerdir. Suların iletkenliği negatif yüklü anyonlar ve pozitif yüklü katyonlar gibi inorganik çözünmüş katılardan etkilenir. Ayrıca bazı iyonların yüksek konsantrasyonlarında bitkilerde birikerek bitki gelişimini olumsuz etkilemektedirler. Bu ise bitki köklerinde su emilimini zorlaştırarak kuraklığa neden olmaktadır. Çalışma alanındaki tüm örnekleme noktalarında dönemsel EC değerleri Şekil 3.3.' de gösterilmiştir(Demir Yetiş; 2013, Akyüz; 2019).



Şekil 3.3. EC' nin örnekleme noktalarına göre dönemsel değişimi

Örnekleme noktalarında elde edilen EC değerleri dönemsel olarak değerlendirilecek olursa Şekil 4.4'e göre; yer altı suyunda en düşük EC değerine yağışlı dönemde Kıyıldüzü 2 isimli B29 noktasında ve kurak dönemde yumurtatepe1 isimli B2 noktasında rastlanmıştır. En yüksek EC değerleri ise yağışlı dönemde Kıyıldüzü 1 isimli B28 ve kurak dönemde kavuştuk 1 isimli B7 değerleri noktalarında tespit edilmiştir. Ulusal ve uluslararası standartlara göre değerlendirme yapıldığında, EPA(2021) ve Sağlık Bakanlığı sınır değerlerine göre EC değeri uygun çıkmıştır. TS266(2005)'e göre ise B7,B21 ve B29 noktaları insani tüketim amaçlı kullanılmaya uygun değilken, diğer tüm noktalar insani tüketim amaçlı kullanılmaya uygun çıkmıştır. Yeraltının farklı derinliklerinde bulunan sular, buralardaki değişik bileşimli kayaçlarla da sürekli temas halindedir. Bu kayaçların suda eriyebilme derecelerine göre az ya da çok oranda erimiş maddenin de yer altı sularına karışması kuvvetle muhtemeldir (Demir Yetiş, 2003).

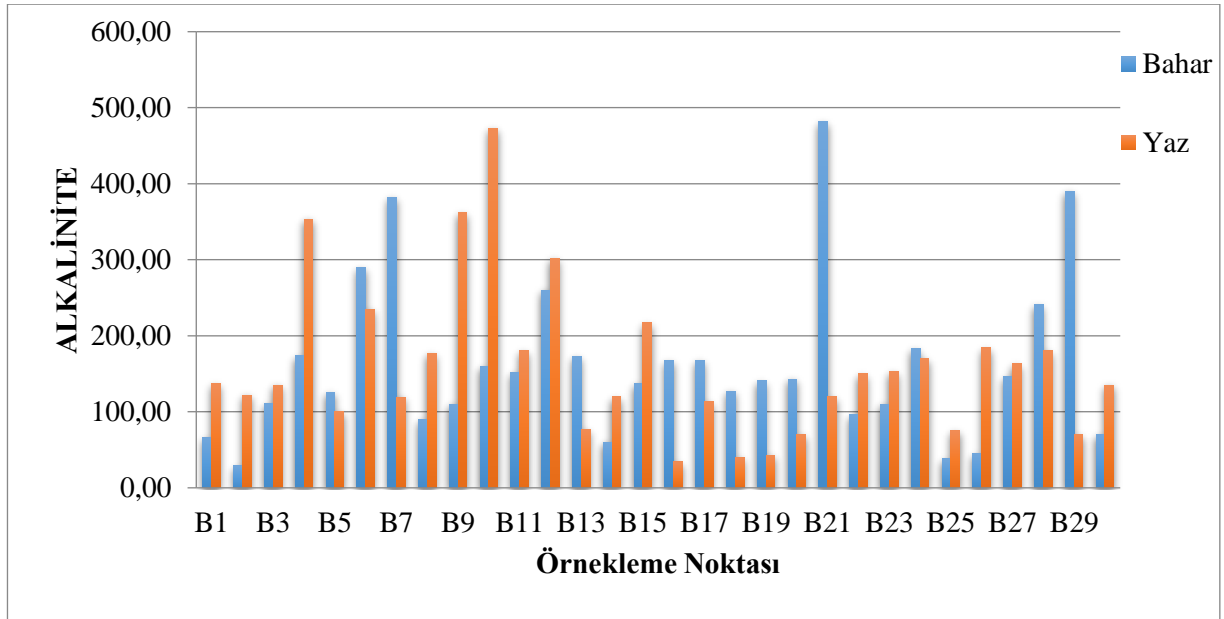
Çizelge 3.4. EC için ulusal mevzuattaki sınır değerler

Ulusal mevzuat	EC
Sağlık Bakanlığı(2005)	2500
TS266(2005)	Sınıf 1 ve 2 Tip 1 650
WHO(2011)	-
USEPA(2021)	MAC 3000

3.1.4. Bikarbonat Alkalinitesi

Alkalinite, atmosfer ve topraktaki CO₂ çözünmesi ve ana kayadaki karbonatlı kayaçları erimesiyle meydana gelir. Doğal suların alkalinitesi; OH⁻, CO₃⁻² ve HCO₃⁻ asitlerden ileri gelmektedir. Çalışma alanındaki tüm örnekleme noktalarında dönemsel alkalinite değerleri Şekil 3.4.' de gösterilmiştir.

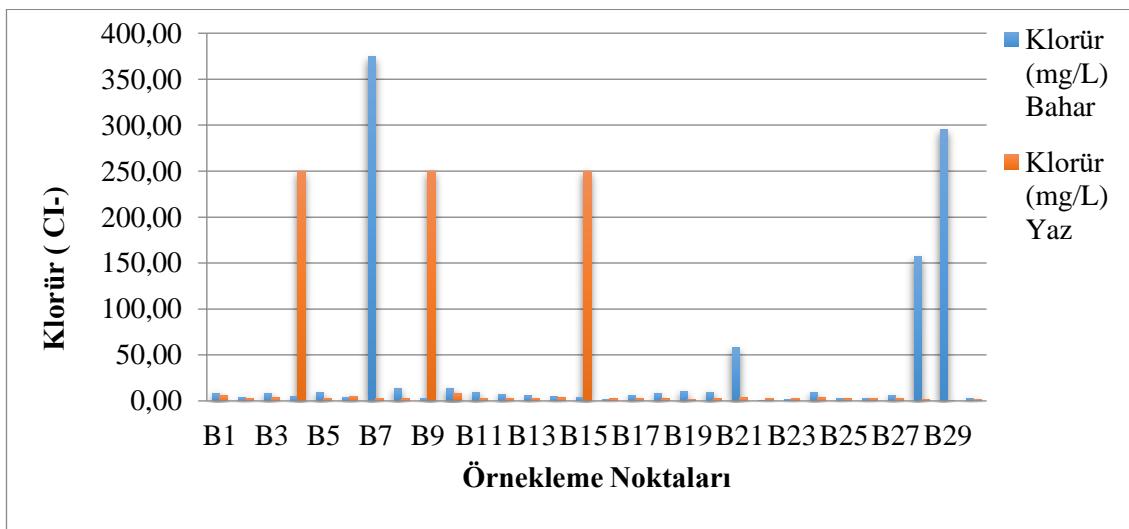
Örnekleme noktalarında elde edilen alkalinite değerleri dönemsel olarak değerlendirilecek olursa Şekil 3.4' e göre; yer altı suyunda en düşük alkalinite değerine yağışlı dönemde Yumurta tepe 1 isimli B2 noktasında ve kurak dönemde Oduncular çeşme1 isimli B25 noktasında rastlanmıştır. En yüksek Alkalinite değerleri ise yağışlı dönemde Kıyıldüzü 2 isimli B29 ve kurak dönemde Gölbaşı (Gültepe1) isimli B10 değerleri noktalarında tespit edilmiştir.



Şekil 3.4. Alkalinite' nin örnekleme noktalarına göre dönemsel değişimi

3.1.5. Klorür (Cl⁻)

Yeraltı sularına Cl⁻ anyonu genellikle sedimenter kayaların çözülmesi, yağmur ve kar suları, yapay tarım gübrelere, fabrika, evsel atıklar ve deniz girişimleri sonucu karışır. Bunlar arasında en fazla veren deniz suyudur. Cl⁻ iyonu konsantrasyonu deniz girişiminin olduğu yerlerde oldukça yüksek çıkmaktadır. Yüksek derişimdeki Cl⁻ iyonu bitkilerde büyüme ve gelişme faaliyetlerini engeller. Bunun yanı sıra bitkilerin yapraklarında biriken klorür iyonu bitkilerde yanmaya neden olur (Demir Yetiş,2003; Güner, 2016)

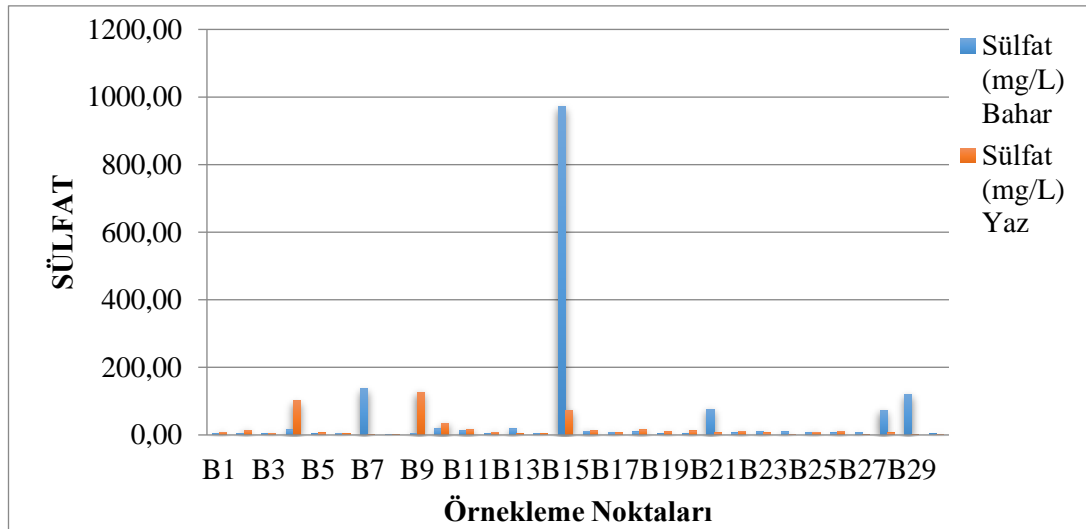


Şekil 3.5. Klorür' ün örnekleme noktalarına göre dönemsel değişimi

Çalışma alanı örnekleme noktalarında yapılan ölçümlerde Cl- değeri, Şekil 3.5.'de gösterilmiştir. Dönemsel olarak Cl- değeri, en düşük yağışlı dönemde koruk 1 isimli B27 noktasında, kurak dönemde ise Kıyıldüzü 2 isimli B29 noktasında gözlemlenmiştir. En yüksek değerler ise; yağışlı dönemde Kavuştuk 1 isimli B7 noktasında, kurak dönemde sırasıyla Adabağ 1 ve küllüce 1 isimli B4 ve B9 noktalarında görülmüştür. Sulardaki klorür miktarı genellikle yağışlı bölgelerde az, kurak bölgelerde çoktur. Klorür, sedimanter kayalarda, özellikle evaporitlerde bulunur. Sulardaki klorür iyonu, hidrolojik çevrim esnasında iyi bir şekilde korunabilen iyonlardandır. Bu sebeple iyi bir indikatör olarak bilinir (Yetiş, 2015).

3.1.6. Sülfat (SO₄²⁻)

Sülfat; sülfürik asitin tuz ya da ester hali olup, sülfürün en fazla üretilen kimyasal formudur. Yer altı sularındaki sülfatın büyük bir kısmı jips ve anhidritten oluşmaktadır. Bunun dışında doğal olarak pek çok maddede bulunur. Sülfatlar ve sülfürik asit ürünleri gübre, kimyasal, boya, cam, kâğıt, sabun, tekstil ve ilaç yapımı gibi alanlar kullanılmaktadır. Sülfatın tatlı sulardaki tipik değeri 20 mg/L, yeraltı sularında ise 0-230 mg/L arasında değişen konsantrasyonlar da olduğu sonucuna varılmıştır. Tarım alanında sülfat, toprağın tuzluluğunu artırır. Bunun dışında herhangi bir zararlı etkisi yoktur. Sülfat seviyelerinin insan üzerine etkileri ise çeşitli ve 500 mg/L ve üzerine çıkan sülfat seviyelerinde insanlarda ishal sorununa neden olmaktadır (Oğuz, 2019). Bitlis ili ve ilçelerine ait tüm örnekleme noktalarında dönemsel olarak sülfat değeri Şekil 3.6' da gösterilmiştir.



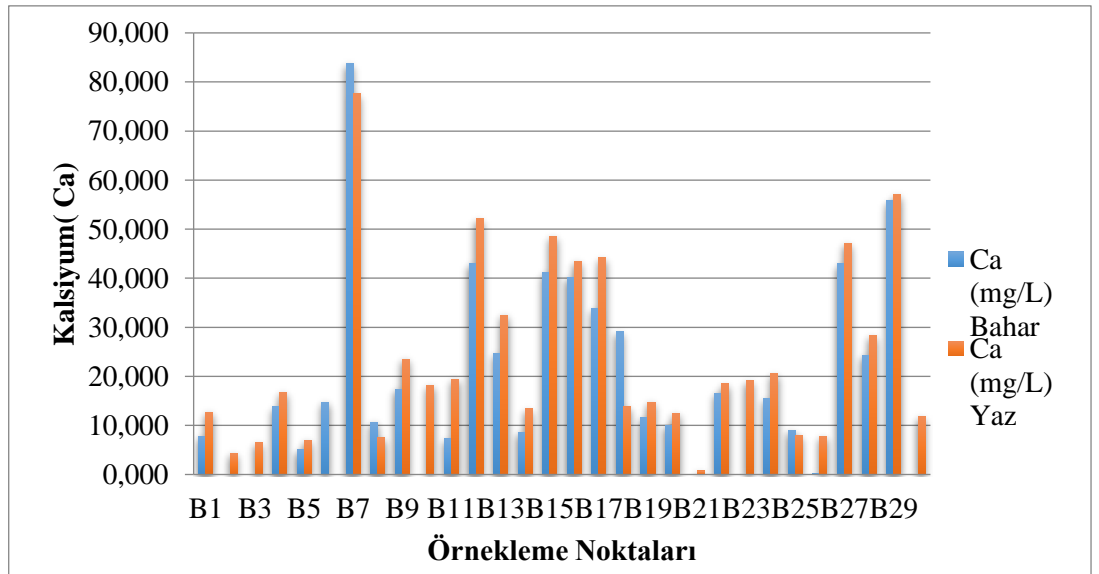
Şekil 3. 6. Sülfat'ın örnekleme noktalarına göre dönemsel değişimi

Çalışma alanı içersinde yapılan örnekleme noktalarındaki sülfat'ın değerini Şekil 3.6'de incelendiğinde en yüksek konsantrasyonlar yağışlı dönemde Örenlik 1 isimli B15 noktasında,

kurak dönemde ise Küllüce 1 isimli B9 nolu noktalarında görülmüştür. En düşük değerler ise sırasıyla yağışlı ve kurak dönemler için; Saka1 isimli B8 noktası ve kavuştuk 1 isimli B7 noktasından görülmüştür. Yeraltı sularındaki sülfatın büyük bir kısmı jips ve anhidritten ileri gelmektedir (Yetiş, 2015).

3.1.7. Kalsiyum (Ca⁺²) ve Magnezyum (Mg⁺²)

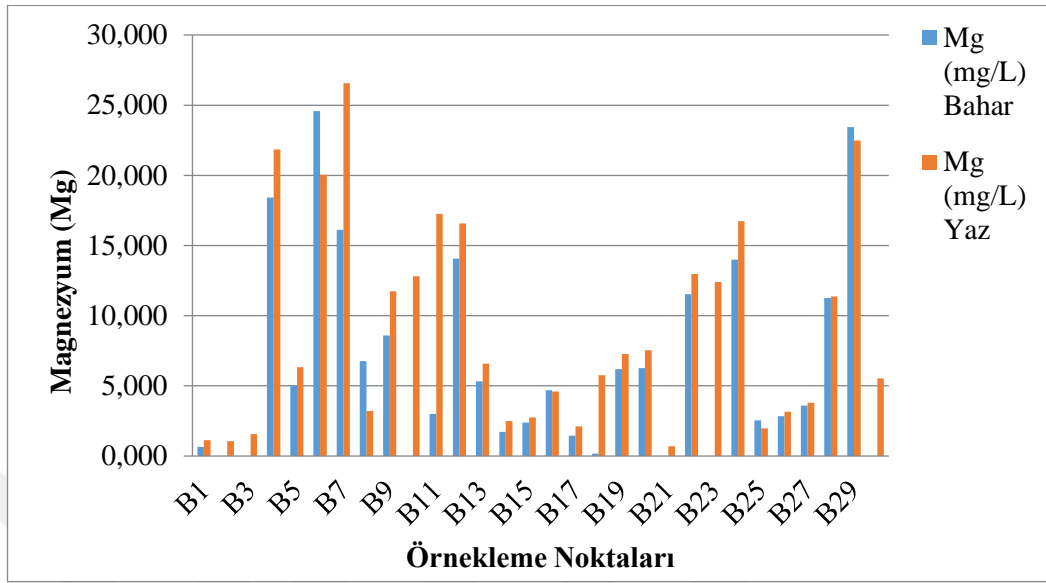
Kalsiyum, suyun yeraltına inerken kalsit, aragonit, dolomit, anhidrit ve jips gibi yapıları çözmesiyle meydana gelen mineraldir. Hareketli ve hafif tuzlu sularda bol miktarda bulunur. Sudaki kalsiyum miktarına, Atmosfer basıncının ve sıcaklığın artırıcı yönde etkisi vardır. Yeraltı sularında kalsiyumdan sonra en fazla rastlanan katyon ise, magnezyumdur. Magnezyum yeraltı sularında magnezyumlu kalker, dolomit ve serpantizasyon sonucu açığa çıkan magnezyum karbonatın eritilmesi ile karışır yer altı sularında kalsiyum iyonu, magnezyum iyonuna göre daha fazla bulunur. Ca⁺² ve Mg⁺²'un suda fazla miktarlarda bulunması sertliğe yol açarak suyun kalitesini etkiler. Ancak sulama sularında Ca⁺² ve Mg⁺² değerlerinin olması istenir. Çünkü Ca⁺² ve Mg⁺² değerlerinin azaldığında da ortamdaki Na oranına bağlı olarak SAR değeri artış gösterir (Demir Yetiş, 2003). Bitlis ili ve ilçelerine ait tüm örnekleme noktalarında dönemsel Ca⁺² ve Mg⁺² değerleri Şekil 3.6 ve Şekil 3.7.' de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Ca' nin örnekleme noktalarına göre dönemsel değişim

Çalışma alanı içerisinde yapılan örnekleme noktalarındaki Ca⁺² değerini Şekil 4.6' de incelendiğinde en yüksek konsantrasyonlar yağışlı dönemde Kıyıldüzü 2 isimli B29 noktasında, kurak dönemde ise Kavuştuk 1 isimli B7 nolu noktalarında görülmüştür. En düşük değerler ise

sırasıyla yağışlı ve kurak dönemler için; Oduncular Çeşme 2 (cami karşısı) isimli B26 noktası ve Sarıkum 2 isimli B6 noktasından görülmüştür.



Şekil 3.8. Mg⁺² nin örnekleme noktalarına göre dönemsel değişimi

Dönemsel olarak Magnezyum değeri için Şekil 4.7 incelendiğinde, en yüksek Mg değeri yağışlı dönem için Sarıkum 2 isimli B6 noktası ve kurak dönem için Kavuştuk 1 isimli B7 noktası olduğu görülmüştür. En düşük değerler ise yağışlı ve kurak dönemlerde sırasıyla, Saka 1 isimli B8 ve Yumurtatepe 1 isimli B2 noktaları olduğu tespit edilmiştir.

Ca ve Mg değerleri karşılaştırıldığında birbiriyle aynı dağılımı sergilediklerini ve bunlara bağlı olarak EC değerinin de aynı trendi gösterdiği gözlemlenmiştir. Çünkü Ca⁺² ve Mg⁺² gibi çözülmüş inorganikler, sulardaki EC değerini doğrusal yönde etkilenmektedir (US EPA, 2012). Bitlis ili ve ilçelerinde yapılan yer altı suyu örnekleme noktalarındaki Ca⁺² ve Mg⁺² değerleri Çizelge 3.5' teki ulusal ve uluslararası standartlara göre değerlendirilmiştir. TS266 (2005)'da kalsiyum için tavsiye edilen sınır değerler sınıf I ve sınıf II için sırasıyla 75 mg/L ve 200 mg/L; magnezyum için 50 mg/L ve 150 mg/L değerlerinde olup çalışmamızda ölçülen kalsiyum ve magnezyum değerleri, tavsiye edilen değerler arasındadır. Kalsiyum yeraltı sularına; kalsit, anhidrit ve jips gibi minerallerdeki kalsiyumun çözünmesi ile karışır ve hafif tuzlu sularda genellikle bol miktarda bulunur. Atmosferdeki basıncının ve sıcaklık derecesinde görülen artış, suda çözülmüş kalsiyum miktarını artırır. Magnezyum ise yeraltı sularına çoğunlukla magnezyumlu kalker ve dolomit sonucu açığa çıkan magnezyum karbonatın çözünmesi ile karışır (Yetiş, 2015).

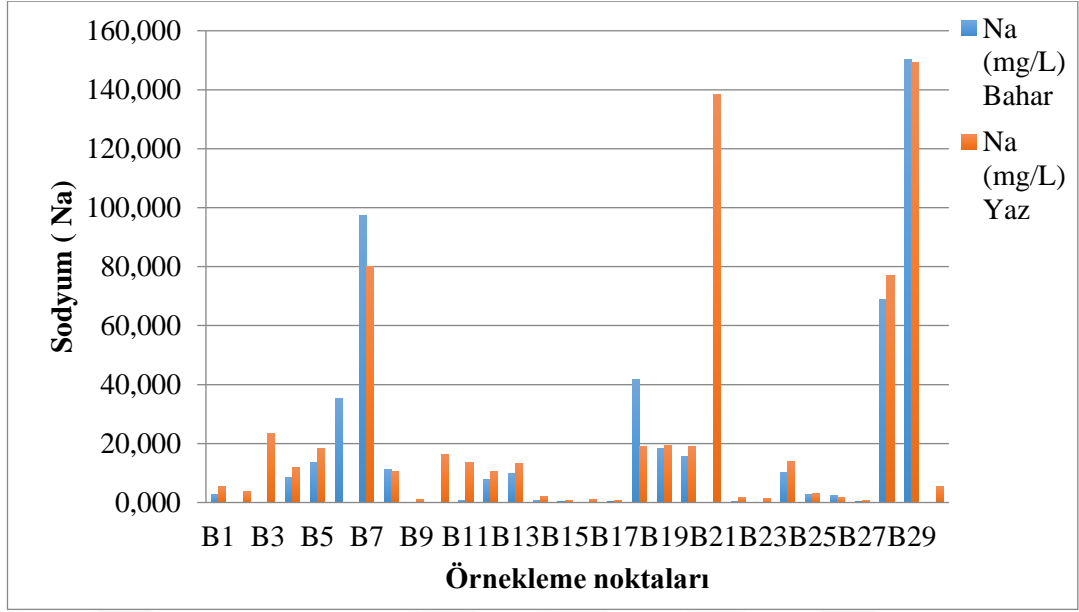
Çizelge 3.5 Ca⁺² ve Mg⁺² için ulusal mevzuattaki sınır değerler

Ulusal mevzuat	Ca ⁺²	Mg ⁺²
SKKY(2004)	-	-
Sağlık Bakanlığı(2005)	-	-
	Sınıf 1 ve 2 Tip1	Sınıf 1 ve 2 Tip 1
	75	50
TS266(2005)		
WHO(2011)	-	-
USEPA(2021)	-	-

3.1.8. Sodyum (Na⁺) ve Potasyum (K⁺)

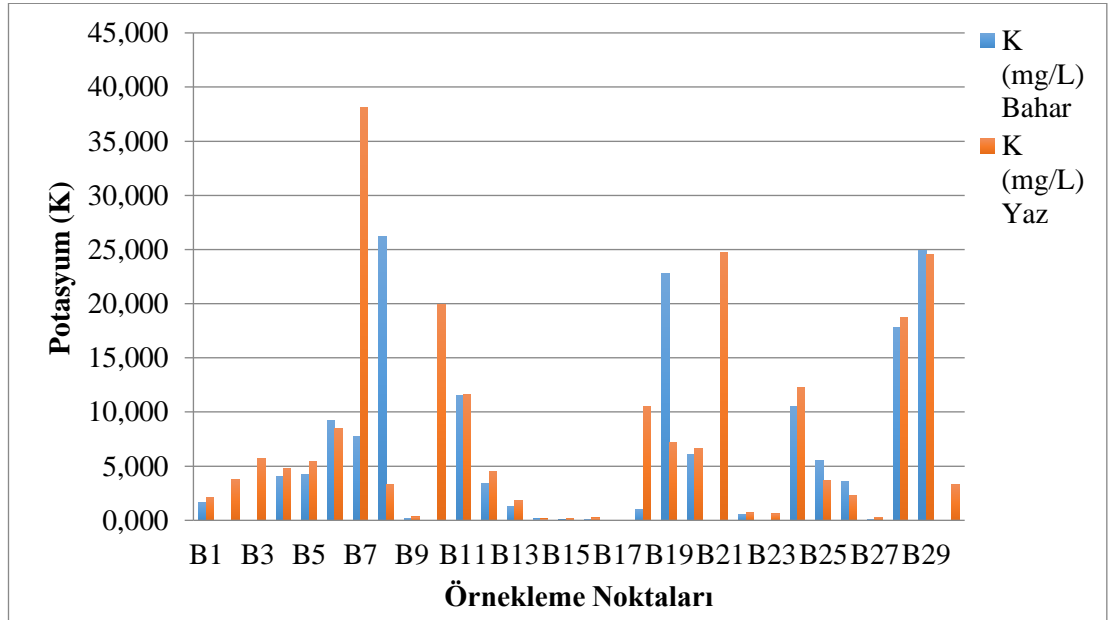
Doğada en yaygın olarak bulunan Sodyum alkali metali sulara kolayca çözünürler. Dolayısıyla sulama suyu vasıtası ile hızlıca toprağa geçmektedir. Yeraltı sularının sodyum konsantrasyonu 6-130 mg/L arasında değişmektedir. Fakat 200 mg/L'yi aşan konsantrasyonlarda suyun tadını bozabilir (US EPA, 2012), aynı zamanda doğrudan toprak tuzluluğuna katkı yaparak tuza duyarlı bitkilere zarar verebilmektedir. Bunların yanı sıra yüksek sodyum toprak geçirgenliği ve infiltrasyonu azaltmaktadır (Akyüz; 2019).

Potasyum doğada ve yer kabuğunun yaygın olarak bulunmasına rağmen sulara düşük düzeylerde bulunur. Sulara orta derecedeki potasyum derişimi suyun kullanımını olumsuz yönde etkilemez ve insan sağlığı üzerinde direk bir etkisi yoktur. Potasyum bitki ve hayvan yaşamı için ana elementlerden biridir. Toprak zeminini oluşturan ana kayalarda potasyum miktarı, sodyum miktarından fazla bulunmaktadır. Buna karşın zeminde potasyum iyonlarının bitkiler vekilli toprak tarafından tutulduğu için, suda Na⁺ iyonları fazladır (Demir Yetiş; 2013, Yetiş; 2015). Bitlis ili ve ilçelerine ait tüm örnekleme noktalarında dönemsel Na⁺ ve K⁺ değerleri Şekil 3.9 ve Şekil 3.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Sodyum' un örnekleme noktalarına göre dönemsel değişimi

Çalışma alanı içerisinde yapılan örnekleme noktalarındaki Na değerini Şekil 3.9'da incelendiğinde en yüksek konsantrasyonlar yağışlı ve kurak dönemde de Kıyıldüzü 2 isimli B29 noktasında görülmüştür. En düşük değerler ise sırasıyla yağışlı ve kurak dönemleri için; Oduncular Çeşme 2 (cami karşısı) isimli B26 noktası ve Sarıkum 2 isimli B6 noktasından görülmüştür.



Şekil 3.10. Potasyum'un örnekleme noktalarına göre dönemsel değişimi

Dönemsel olarak K^+ değeri için Şekil 3.10 incelendiğinde, en yüksek K^+ değeri yağışlı dönem için Kıyıldüzü 2 isimli B29 noktası ve kurak dönem için Kavuştuk 1 isimli B7 noktası

olduğu görülmüştür. En düşük değerler ise yağışlı ve kurak dönemlerde sırasıyla, Saka 1 isimli B8 ve Yazıkonak 2 çeşme isimli B17 noktaları olduğu tespit edilmiştir. Na ve K, grafik değişimlerine bakıldığı zaman birbiriyle aynı alansal dağılımı göstermektedirler. Aynı zamanda Na ve K'un; Ca, Mg ve EC ile aynı trendi izlediği görülmektedir. Çünkü Na, K, Ca ve Mg gibi inorganik çözünmüş maddeler sulardaki EC konsantrasyonunu doğrusal yönde etkilenmektedir (US EPA, 2012).

Bitlis ili ve ilçelerinde yer altı sularında yapılan örnekleme çalışmalarında Na ve K içeriği ulusal ve uluslararası standartlara göre değerlendirilecek olursa Çizelge 4.9 (SKKY (2004)) ' a göre B21 ve B29 (III. sınıf) dışında tüm örnekleme noktası I. sınıf kalite sınıfında yer almaktadır.

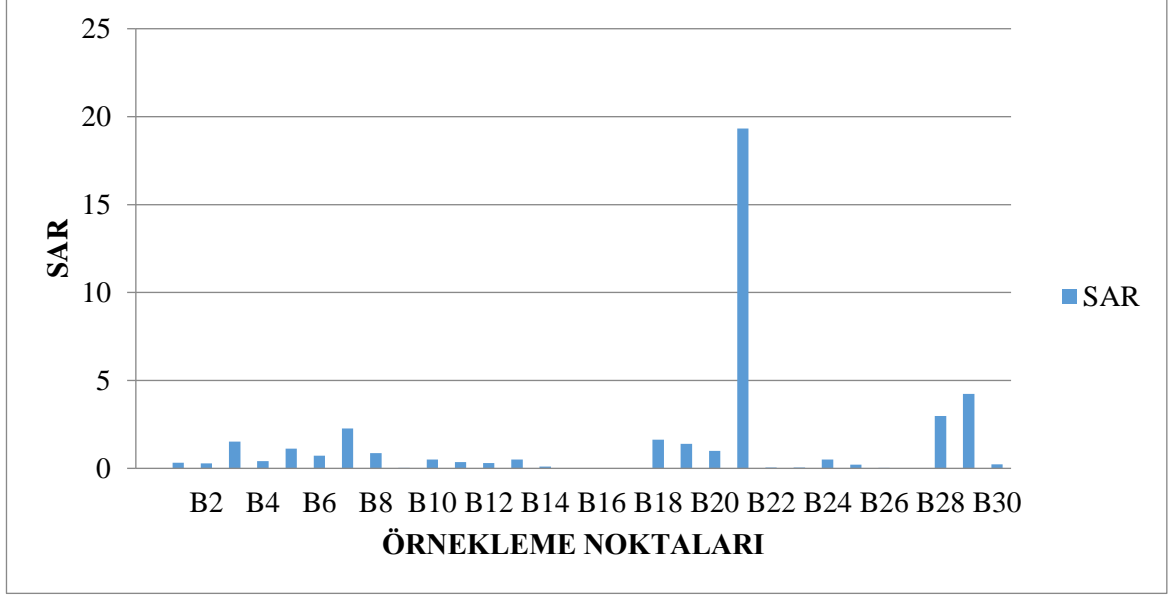
Çizelge 3.6. Na için ulusal mevzuattaki sınır değerler

	SKKY(2004)				SAĞLIK BAKANLIĞI(2005)	TS266 (2005)		WHO (2006)	US EPA(2012)	
	I	II	III	IV		Sınıf	Sınıf		ORTA	ŞİDDETLİ
						1 ve 2 Tip 1	2 ve Tip 2			
Na ⁺	125	125	250	>250	200	100	200	200	70-200	>200
K ⁺	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3.2. Sulama Suyu Özellikleri ve Sınıflaması

3.2.1. Sodyum Adsorpsiyon Oranı(SAR)

Sulama amaçlı kullanılan sulara su kalitesinin belirlenmesinde sodyum parametresi kullanılır. Yaklaşık Sodyum zararını SAR hesaplamasıyla yapmak mümkündür. Sulama sularında tespit edilen fazla sodyum konsantrasyonları toprağın yapısını bozar ve geçirgenliği azaltır (Demir Yetiş,2013; Şener, 2014). SAR değerine göre sulama suları kendi aralarında sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma çizelge 3.7 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Örneklem Noktalarının Dönemsel Ortalamasına Ait SAR Değerler

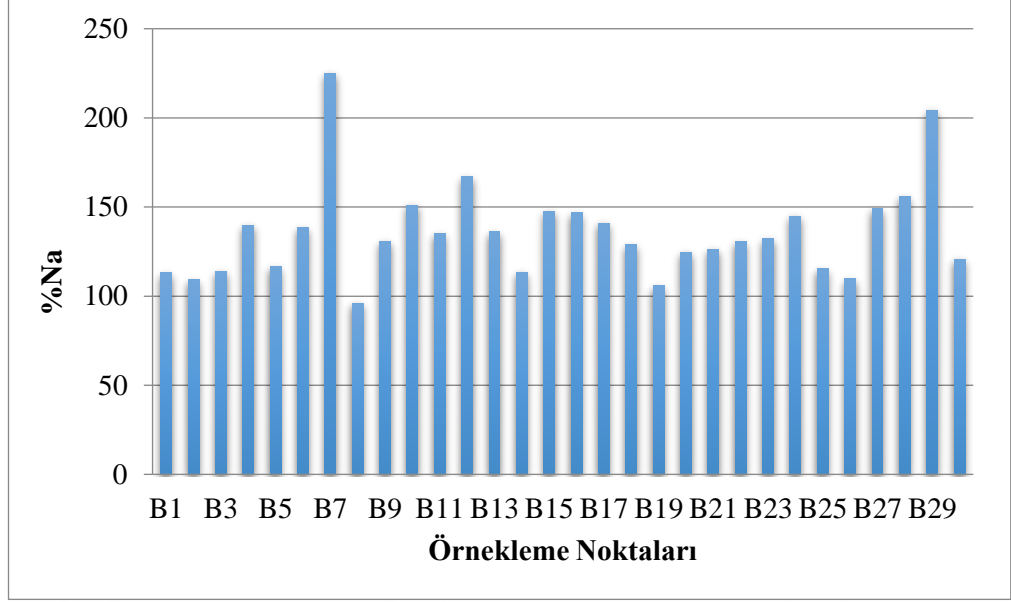
Çizelge 3.7 ve Şekil 3.11'e göre Bitlis ili ve ilçelerinden alınan yer altı su örneklem sonuçları SAR parametresine göre değerlendirildiğinde B21 noktası "orta" sınıfı çıkmıştır. Diğer tüm noktaların değerleri birbirlerine yakın olup 10'dan küçük yani "çok iyi" sınıfında çıkmıştır.

Çizelge 3.7. SAR'a göre sulama suyu sınıfı

SAR	Sulama Suyu Sınıfı
< 10	Çok İyi
10-18	İyi
18-26	Orta
>26	Kötü

3.2.2. Sodyum Yüzdesi (%Na)

Yer altı sularının sulama amacıyla kullanılmasında, kalite parametresi olarak kullanılanlardan biride sodyum iyonu yüzdesidir. Topraklarda % Na artışı, Ca^{+2} ve Mg^{+2} la baz değişimine neden olduğu için istenilmeyen bir durum olmaktadır. % Na değerlerinde meq/L birimi kullanılmaktadır (Şener, 2014).



Şekil 3.12. Örnekleme Noktalarının Dönemsel Ortalamasına Ait %Na Değerleri

Çizelge 3.8 ve Şekil 3.12'e göre Bitlis ili ve ilçelerinden alınan yer altı su örnekleme sonuçlarına göre %Na değeri hesaplandığında; 7 nokta "çok iyi" ve 15 nokta "iyi" sınıfında yer almaktadır. B5, B18, B28 ve B29 noktaları kullanılabilir durumda olup, B3 ve B19 noktaları şüpheli sınıftadır. B8 ve B21 noktaları ise "kullanılamaz" sınıfında çıkmış olup, bunun sebebi olarak da bölgede tarımsal faaliyetler yapılıyor olması öngörülebilir.

Çizelge3.8. Suların %Na'a göre sınıflandırılması

%Na	Su sınıfı
< 20	Çok iyi
20–40	İyi
40–60	Kullanılabilir
60–80	Şüpheli
> 80	Kullanılamaz

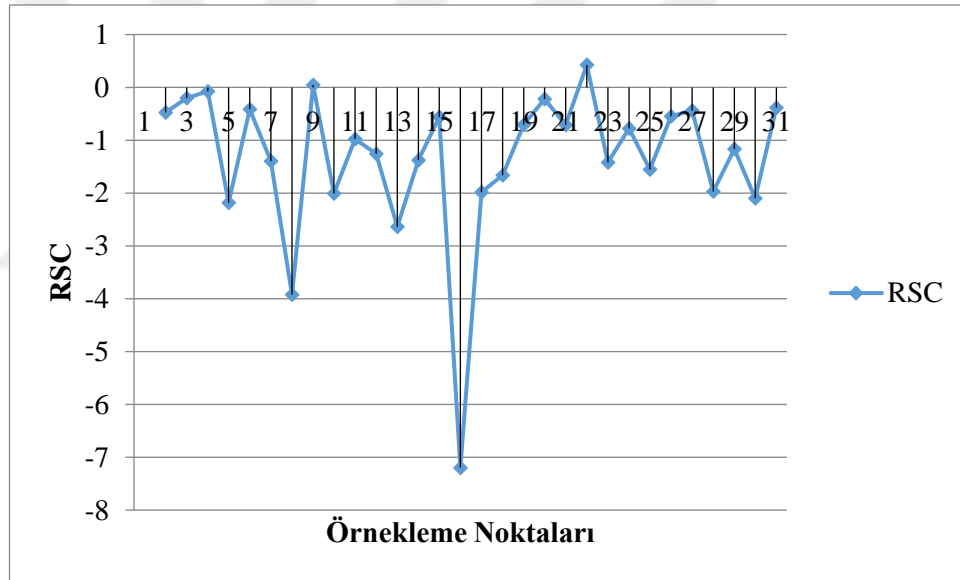
3.2.3. Kalıcı Sodyum Karbonat (RSC)

Sulama suyu amacıyla kullanılan sularda RSC değeri, kalite sınıflandırılmasında bazı araştırmacılar tarafından istenilen bir parametre olmaktadır (Demir Yetiş, 2013). Ortamda bulunan karbonat ve bikarbonat konsantrasyonu ile Ca^{+2} ve Mg^{+2} konsantrasyonu arasındaki farka

bakılarak olası sodyum karbonat oluşumu tahmin edilir. RSC değeri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır;

$$RSC = (CO_3 - HCO^-) - (Ca^{++} + Mg^{++}) \quad (2.3)$$

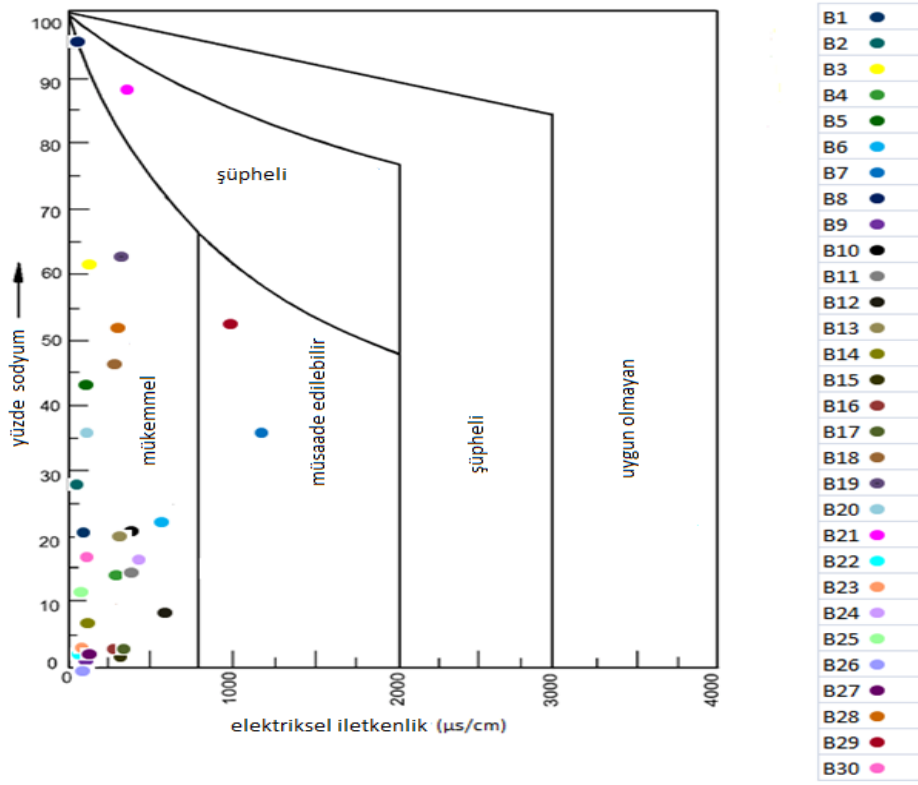
Burada bağlantıda değerler meq/L olarak verilmektedir. Eşitliğin (+) çıkması halinde ortamda kalıcı sodyum karbonat oluşturabilecek miktarda karbonat ve bikarbonat bulunmakta olup burada oluşan sodyum zarar yaratabilecek bir risk faktörüdür. Eşitliğin (-) çıkması durumunda ise sodyumun zarar verme olasılığının olmadığı anlamına gelmektedir. Genel olarak $RSC > 2.5$ olan suların sulamada kullanılmaları sakıncalıdır (Demir Yetiş, 2013). Bu çalışmada elde edilen veriler doğrultusunda tüm RSC değerleri 2.5' ten küçük çıkmış ve bu sular 'çok iyi sular' sınıfında yer almaktadır.



Şekil 3.13. Örnekleme noktalarının mevsimlik ortalamasına ait RSC değerleri

3.2.4. Wilcox Diyagramı

Örnekleme noktalarında yapılan hesaplamalara göre dönemsel ortalama değerleri baz alınarak, tüm örnekleme noktalarının girdiği sınıf, Wilcox sulama suyu diyagramında gösterilmiştir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14.Örnekleme noktalarına ait dönemsel ortalamaların Wilcox diyagramındaki gösterimi

Wilcox sulama suyu diyagramına göre tüm örnekleme noktalarının dahil olduğu sınıflar Çizelge 3.9’ da gösterilmiştir. Buna göre B8 ve B21 nolu örnekleme noktaları “şüpheli”; B7 ve B29 nolu örnekleme noktaları “Müsaade edilebilir” geriye kalan diğer tüm örnekleme noktaları ise “Mükemmel iyi” kalitede sular sınıfında yer almaktadır.

Çizelge 3.9. Wilcox diyagramına göre tüm örnekleme noktalarına ait dönemsel ortalamalar

Sınıf	Örnekleme Noktaları	Adet	%
Şüpheli	B8, B21	2	6,67
Müsaade edilebilir	B7, B29	2	6,67
Mükemmel iyi	B1,B2,B3,B4 B5,B6,B9,B10,B11,B12,B13, B14, B15, B16,B17,B18,B19,B20, B22, B23,B24,B25,B26,B27,B28, B30	26	86,66
Toplam		30	100

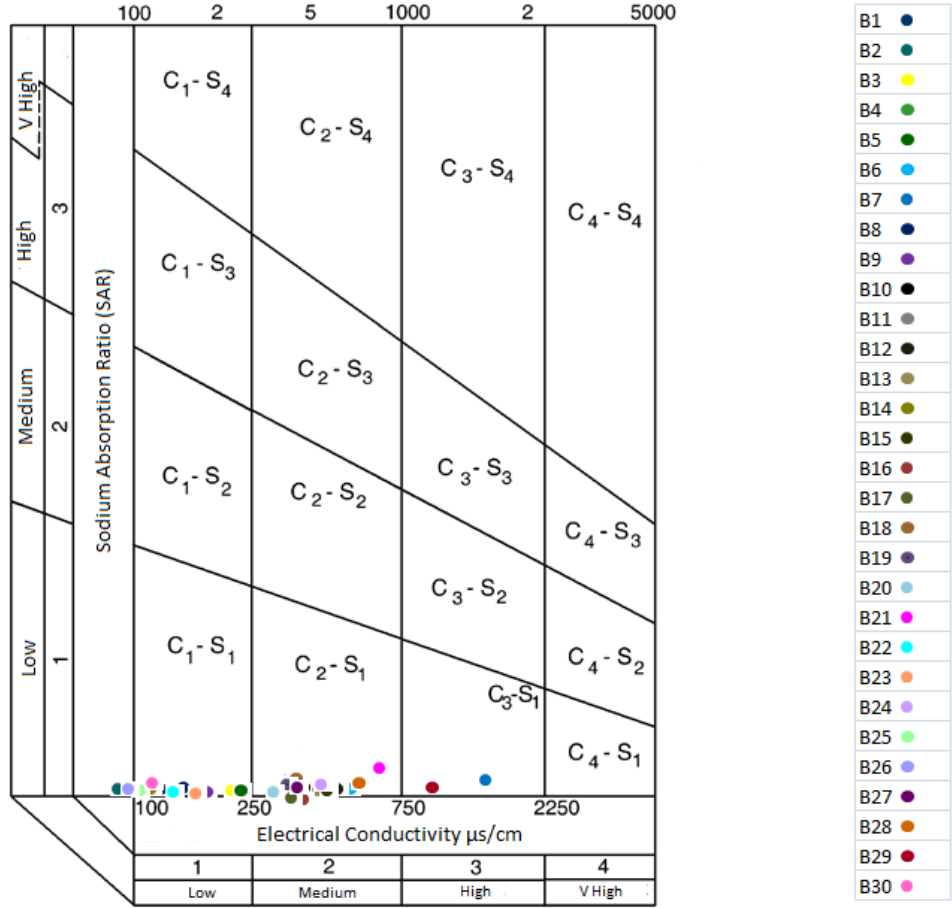
3.2.5. ABD Tuzluluk Diyagramı

Wilcox diyagramında değişiklikler yapılarak hazırlanan ABD tuzluluk diyagramı suları bu 16 sınıfa ayrılmıştır. Örnekleme noktalarında yapılan hesaplamalara göre dönemsel ortalama değerleri baz alınarak, tüm örnekleme noktalarının girdiği sınıf ABD tuzluluk diyagramında gösterilmiştir. Ayrıca, ABD tuzluluk diyagramına göre tüm örnekleme noktalarının dahil olduğu sınıf ve yüzde dağılımları Çizelge 3.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.10. ABD tuzluluk diyagramına göre tüm gözlem noktalarının dönemsel ortalamaları

Sınıf		Örnekleme noktaları	Adet	%
C3- S1	SAR düşük	B7, B29	2	6,66
	EC yüksek			
C2- S1	SAR düşük	B4, B6, B10, B11, B12, B13, B15, B16, B17, B18, B19, B20, B21, B24, B27, B28	16	53,7
	EC orta			
C1- S1	SAR düşük	B1, B2, B3, B5, B8, B9, B14, B22, B23, B25, B26, B30	12	40
	EC düşük			
Toplam			30	100

Tüm örnekleme noktalarının ABD tuzluluk diyagramı üzerinde dönemsel ortalamaları göz önüne alınarak buldukları bölgelere göre sınıfları Şekil 3.15'de gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Gözlem noktalarına ait dönemsel ortalamaların ABD tuzluluk diyagramında gösterimi

3.3. Hidrokimyasal Fasiyes Sınıflaması

3.3.1. Piper Sınıflaması

Bu sınıflamada gösterilen her bir üçgende anyon ve katyonların kimyasal özelliklerini belirlemek mümkündür; ayrıca, paralel kenar diyagram dokuz bölüme ayrılmıştır.

- **1 nolu alan:** Alkali toprak elementler (Ca+Mg)>Alkali elementler (Na+K)
- **2 nolu alan:** (Ca+Mg) < (Na+K)
- **3 nolu alan:** Zayıf asit kökleri (CO₃⁼+HCO₃⁻)>Güçlü asit kökleri (Cl⁻+SO₄⁼)
- **4 nolu alan:** (SO₄⁼+Cl⁻)>(CO₃⁼+HCO₃⁻)
- **5 nolu alan:** Karbonat sertliği %50'den fazla olan sular

- **6 nolu alan:** Karbonat olmayan sertliği %50'den fazla olan sular; CaSO₄, MgSO₄, CaCl₂, MgCl₂
- **7 nolu alan:** Karbonat olmayan alkalinitesi %50'den fazla olan sular: NaCl, KCl, Na₂SO₄, alkaliler ve güçlü asitler egemendir. Deniz ve çok acı sular bu alanda yer alır;
- **8 nolu alan:** Karbonat alkalileri %50'den fazla olan sular. Doğada az rastlanan aşırı yumuşak sular bu alana girer.
- **9 nolu alan:** İyonların hiçbirini %50'yi geçmeyen, karışık sular bu alana girer (Yetiş, 2015).

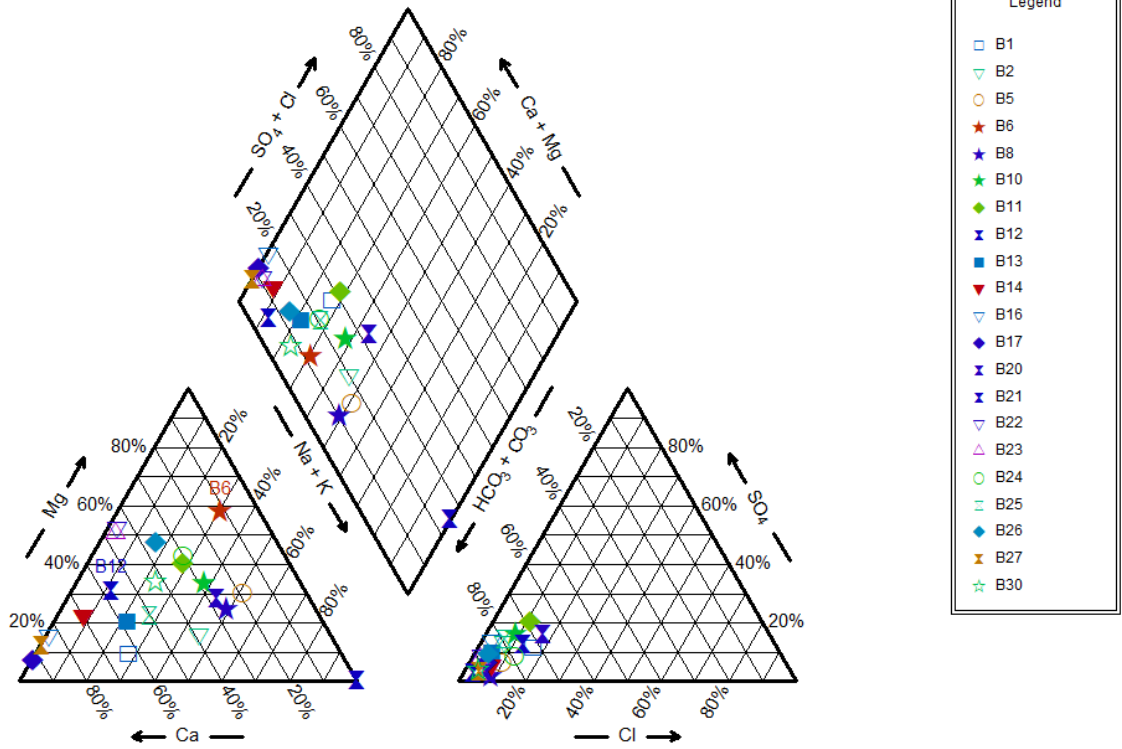
Çalışma alanındaki tüm örnekleme noktalarının dataları Piper sınıflamasına tabi tutulduğunda sular, genel olarak 5. sınıf su tipine girmektedir. Anyon ve katyonların oluşturduğu üçgenlere göre sular (Ca-HCO₃, Mg-HCO₃, Ca-Cl, Na-HCO₃, Na-Cl, Ca-SO₄) altı sınıfa ayrılır. Buna göre çalışma alanındaki hakim olan su tipi Ca-HCO₃ tipi sulardır. B28 ve B29 kod nolu noktaların 7. sınıf su tipinde çıkmasının nedeni Van gölünden kaynaklı göl veya acı su girişi olduğunun göstergesidir. Bitlis ili ve ilçelerinin büyük bölümü metamorfik kayalardan oluşmuştur. Dolayısıyla bu bölgedeki baskın olan fasiyes tipi “karbonat sertliği %50'den fazla olan sular” sınıfı olan 5. sınıf su tipine girmektedir.

Çizelge 3.11. Piper'a göre suların hidrokimyasal tipleri

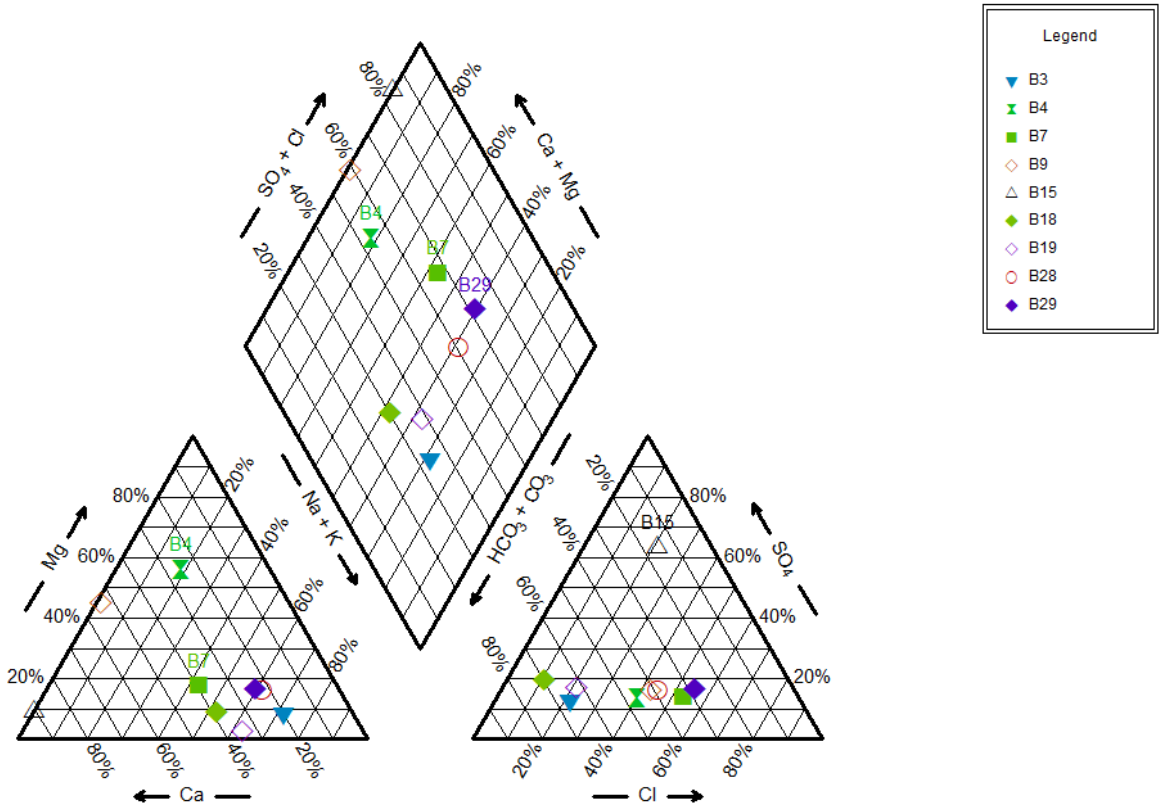
Sınıf	Açıklama	Örnekleme Noktaları	Adet	%
5	Karbonat sertliği %50'den fazla olan sular	B1, B2, B5, B6, B8, B10, B11, B12, B13, B14, B16, B17, B20, B21, B22, B23, B24, B25, B26, B27, B30	22	73,4
7	Karbonat olmayan alkalinitesi %50'den fazla olan sular: NaCl, KCl, Na ₂ SO ₄ , alkaliler ve güçlü asitler egemendir. Deniz ve çok acı sular bu alanda yer alır	B28, B29	2	6,6
9	İyonların hiçbirini %50'yi geçmeyen, karışık sular	B3, B4, B7, B9, B18, B19	6	20
Toplam			30	100

Çizelge 3.12. Örneklemeler noktasına ait yeraltı sularının su tipi

Sınıf	Örneklemeler Noktası	Adet	%
Ca-HCO ₃	B1, B2, B12, B13, B14, B16, B17, B25, B27, B30	10	33,3
Mg-HCO ₃	B4, B6, B10, B11, B22, B23, B24, B26	8	26,6
Na-HCO ₃	B4, B5, B8, B18, B19, B20, B21	7	23,3
Ca-Cl	B7, B9	2	6,7
Na-Cl	B28, B29	2	6,7
Ca- SO ₄	B15	1	3,4
Toplam		30	100



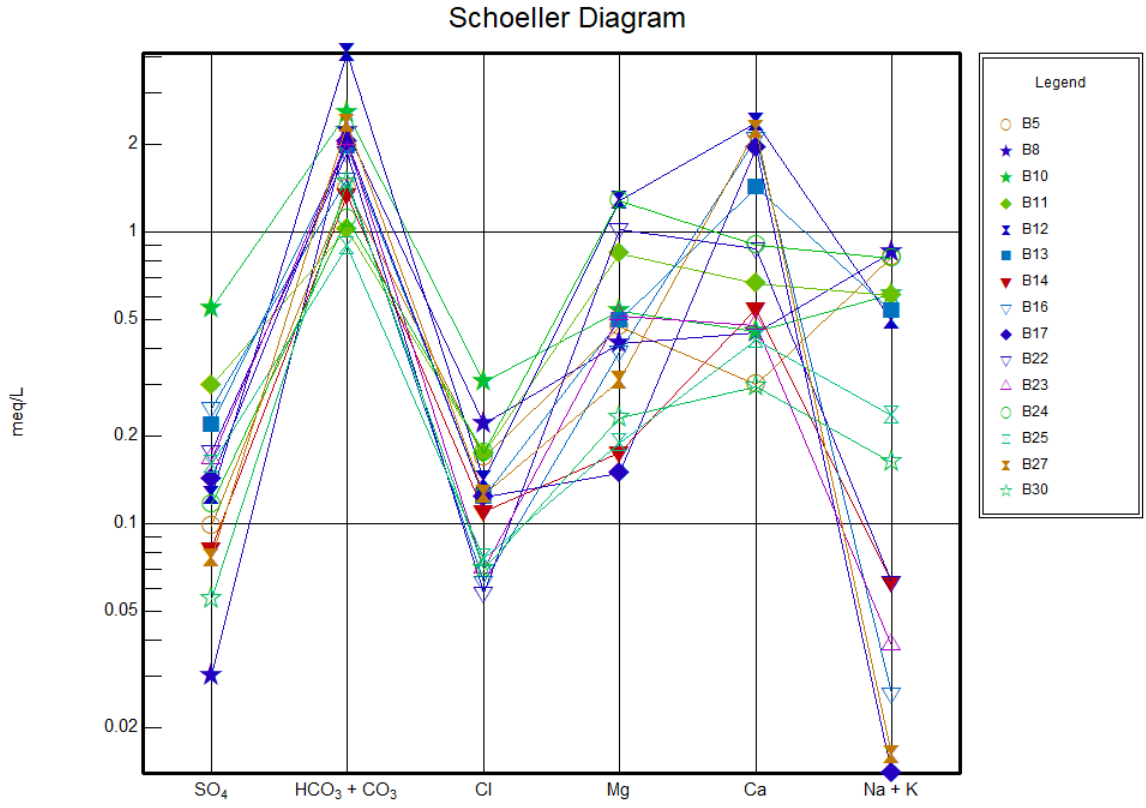
Şekil 3.16. Piper'a göre aynı hidrokimyasal fasiyese sahip örneklemeler noktaları (1)



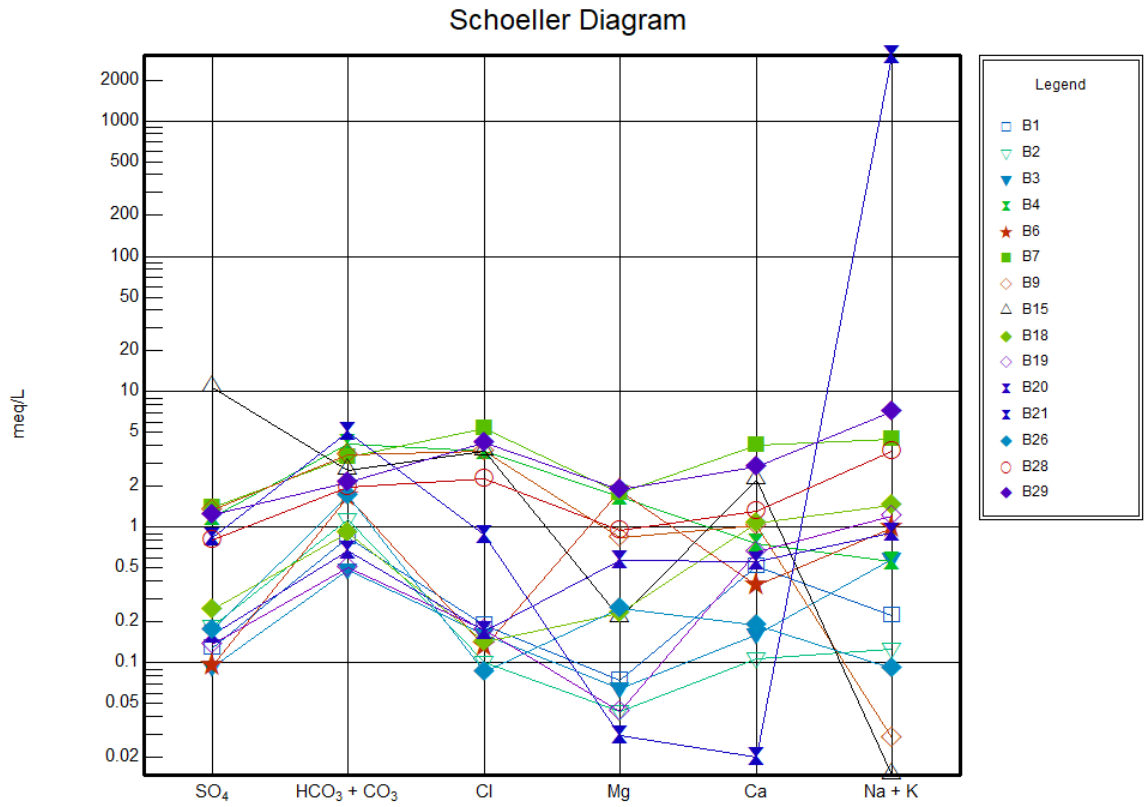
Şekil 3.17. Piper'a göre aynı hidrokimyasal fasiyese sahip örnekleme noktaları (2)

3.3.2. Schoeller Sınıflaması

Çalışma alanındaki örnekleme noktalarından alınan yeraltı sularının dönemsel ortalamaları yarı logaritmik Schoeller diyagramı üzerine gösterilmiştir. Piper sınıflamasında aynı hidrokimyasal fasiyese düşen sular Schoeller diyagramıyla karşılaştırıldığında önemli derecede benzer özellikler göstermiştir. Buna göre; Piper'a göre 5. sınıf su tipine giren suların Schoeller diyagramındaki konumları Şekil 3.18'de, 9. sınıf sular Şekil 3.19'da gösterilmiştir. Ancak Piper'a göre 9. sınıf su tipinde olan B1, B2, B6 nolu örnekleme noktaları Şekil 3.19'da görüldüğü gibi 5. sınıf su tipindeki değişimi sergilemiştir.



Şekil 3.18. Schoellere göre aynı hidrokimyasal fasiyese sahip örnekleme noktaları (1)



Şekil 3.19. Schoellere göre benzer hidrokimyasal fasiyese sahip örnekleme noktaları (2)

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1. Sonuç

Bitlis ili ve ilçelerinde gerçekleştirilen bu çalışma ile ilin zengin yeraltı rezervi ortaya konulmuştur. İl ve ilçelerinde içme- kullanma suyu ve tarımsal amaçlı faaliyetlerin yer altı sularından karşılanması bu çalışmanın gerekliliği ortaya koymuştur. Bu çalışmayla bazı ilçelerde içme- kullanma, bazı ilçelerde de yoğun tarımsal ve hayvancılık faaliyetlerinin, yer altı suları üzerindeki etkilerinin mevcut durumu tespit edilmeye çalışılmıştır. Bitlis il ve ilçelerde bu konu ile ilgili düzenli ve periyodik bir çalışma bulunmamaktadır. Buna istinaden yer altı su kalite değerlendirilmesinin yapılması kapsamında belirlenen 30 noktadan su numuneleri alınıp analizlerin yapılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen tüm datalar çeşitli ulusal ve uluslararası standart ve sınıflamalara tabi tutularak, standart değerlere göre hem içme suları açısından hem kalitesi bakımından sınıflandırılmış ve değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre; Sıcaklık, genel itibariyle tüm örnekleme noktalarında yaklaşık aynı değeri seyir etmiştir. Ölçümlerde en düşük su sıcaklığına kuyu Oduncular Çeşme 1 isimli B25 nolu noktada 8,8 C° rastlanmıştır. Bölgede yer altı suları sıcaklık değerleri SKKY (2004) sınır değerleri baz alındığı zaman I. sınıf su kalitesi özelliği göstermektedir. EC değeri, bölgedeki örnekleme noktalarından B7, B21 ve B29 noktalarında yüksek çıkmış olup, diğer noktalar birbirlerine yakın değerleri seyir etmişlerdir. Ulusal ve uluslararası standartlara göre değerlendirme yapıldığında, EPA(2021) ve Sağlık Bakanlığı sınır değerlerine göre EC değeri uygun çıkmıştır. TS266(2005)'e göre ise B7,B21 ve B29 noktaları insani tüketim amaçlı kullanılmaya uygun değilken, diğer tüm noktalar insani tüketim amaçlı kullanılmaya uygun çıkmıştır. Klorür değerlerine bakıldığı zaman EC 'nın yüksek olduğu noktalarda klorür değerinin de yüksek olduğu, bunun yanı sıra B4, B9, B15, B28 noktalarında da yüksek çıktığı saptanmıştır. Bu noktalarda klorürün yüksek çıkması, volkanik kayalara bağlanabilir. Sülfat sonuçları açısından ölçülen sınır değerleri aşmamakla birlikte yağışlı dönemde B15 noktasında sülfat değeri oldukça yüksek çıkmıştır. Bunu nedeni olarak bu bölgede yapılan hayvancılık faaliyetleri gösterilebilir. Ca, Mg, Na, K değerleri, ölçülen EC değeri ile aynı değişimi gösterdiği tespit edilmiştir.

Yeraltı suları Wilcox ve ABD tuzluluk diyagramına göre sulama suyu kalitesi açısından da sınıflandırıldığında; çalışma alanında yer altı sularının kalitesi % 6,67 'şüpheli', % 6,67 'müsaade edilebilir' ve % 86,66 'mükemmel iyi' çıkmıştır. Yine çalışma alanında 2 örnekleme noktası C3-S1 sınıfında olup, 16 örnekleme noktası C2- S1 sınıfında ve 12 örnekleme noktası C1-S1 sınıfında yani 'her türlü sulamada kullanılabilir' özellikte çıkmıştır.

Hidrokimyasal fasiyes açısından Piper diyagramına göre Bitlis ili ve ilçelerinde yer alan örnekleme noktaları Ca-HCO₃, Mg-HCO₃, Ca-Cl, Na-HCO₃, Na-Cl ve Ca-SO₄ olmak üzere altı sınıfa ayrılmıştır. Yer altı sularının %20'si 9. Sınıf, %73,4' ü 5. sınıf ve %6,6'sı 7. Sınıf su tipindedir. Schoeller diyagramı da Piper' da yapılan sınıflandırmayla genel itibariyle önemli derecede uygunluk göstermekle birlikte B1, B2, B6 nolu örnekleme noktaları 9. Sınıf su tipinde olup, Schoeller sınıflamasında elde edilen grafikte ise 5. sınıf su tipinde yer almıştır.

4.2. Öneriler

- Bitlis il ve ilçelerinde yeraltı suyu kaynaklarının su kalite parametresi açısından belirli aralıklarla düzenli olarak izlenmesi,
- Bitlis il ve ilçelerinde belirlenen su kaynaklarının (yağış, sızma, YAS vb.) debisinin tespit edilmesi, bu kaynakların kökeninin detaylı olarak bu çalışmadan yola çıkılarak belirlenmesi,
- Kirlilik baskısı altında olan kaynakların farklı ve ileri teknikler kullanılarak(izotop hidrolojisi), kirlilik kaynaklarının tespit edilmesi ve bu sayede bölgedeki kaynakların korunma altına alınıp, doğal haliyle kalması önerilmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Alemdar S, Kahraman T, Ağaoğlu S, Alişarlı M, 2009. Bitlis İli İçme Sularının Bazı Mikrobiyolojik ve Fizikokimyasal Özellikleri. *Ekoloji Dergisi*, 19(73): 29-38.
- Babanezhad E, Qaderi F, Ziri MS, 2018. Spatial modeling of ground water quality based on using Schoeller diagram in GIS base: a case study of Khorramabad, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 77:339.
- Brindha K, Elango L, 2011. Hydrochemical characteristics of ground water for domestic irrigation purposes in Madhuranthakam, Tamil Nadu, India. *Earth Sciences Research Journal*, 15 (2): 101– 108.
- Demir Ö, 2005. Sedimentteki Makroomurgasızlarla Su Kalitesinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Demir Yetiş A, 2013. Ceylanpınar Ovası Yeraltı Suyu Kalitesinin ve Kirlenme Potansiyelinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- DSİ, 2013. Van Kapalı Havzası Master Plan Raporu Van Kapalı Havzası Hidrojeoloji Raporu, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Van 17. Bölge Müdürlüğü. Ankara
- DSİ, 2015. Dicle Alt Havzası Hidrojeoloji Nihai Raporu, Orman Ve Su İşleri Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Elmastaş N, Yetmen H, Benek S, Özcanlı M. 2019. Ahlat (Bitlis) İlçesindeki Yeraltı Sularının Tarımsal Sulama Açısından İncelenmesi. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 90: 13-26.
- Ekinci R, Büyüksaraç A, Ekinci YL, Işık E, 2020. Bitlis İlinin Doğal Afet Çeşitliliğinin Değerlendirilmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 6(1): 1-11.
- Ghobadi A, Cheraghi M, Sobhanardakani S, Lorestani B, Merrikhpour H, 2020. Hydrogeochemical characteristics, temporal, and spatial variations forevaluation of ground water quality of Hamedan Plain as a majör agriculturalregion, west of Iran. *Environmental Earth Sciences*, 79:428.
- Gök C, Aydın İşeri BA, Uğurluoğlu A, Soytürk O, Gökdereli G ve Ural A, 2019. Ekosistem Esaslı Su Kalitesi Yönetimi. 97-123, içinde: *Su Kaynaklarının Sınıflandırılması* (eds: Selek Z.) Tarım Ve Orman Bakanlığı, Ankara.

- Güner ED, 2016. Göksu Deltasındaki Yeraltı Su Kalitesi Düzeylerinin Saptanması Ve Dağılımlarının Belirlenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Günhan Ö, 2014. Yeraltı Sularının Kalitesinin Değerlendirilmesi Açısından Uygun Bir Metodoloji Araştırması. Uzmanlık Tezi, Orman Ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.
- Gültekin OŞ, 2015. Yeraltı Suyu Miktarındaki Değişimin Yeraltı Suyu Kalitesine Etkileri Ve Çözüm Önerileri. Uzmanlık Tezi, Orman Ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.
- Herojeet R, Rishi MS, Sharma R ve Lata R, 2015. Hydrochemical characterization, ionic composition and sea sonal variation in ground water regime of an alluvial aquifer in parts of Nalagarh valley, Himachal Pradesh, India. International Journal Of Environmental Sciences Volume 6 (1). Issn 0976 – 440.
- İÇDR, 2013. 2012 Bitlis İli Çevre Durum Raporu. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, s: 8-9.
- İÇDR, 2018. 2017 Bitlis İli Çevre Durum Raporu. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, s: 66-88.
- Jassas H, Merkel B, 2015. Assessment of hydrochemical evolution of ground water and its suitability for drinking and irrigation purposes in Al-Khazir Gomal Basin, Northern Iraq. Environmental Earth Sciences, DOI 10.1007/s12665-015-4664-4.
- Narsimha A, Sudarshan V, Srinivasulu P, Vishnu B, Kumar MR and Kumar S.N., 2012. Ground water Quality and its Suitability for Drinking and Agricultural Purpose around Chityal Area, Nalgonda District, Andhra Pradesh, India. Water Research & Development. ISSN: 2249-2003 Vol. 2 (3) 68-75.
- Nagaraju A, Muralidhar P and Sreedhar Y, 2016. Hydrogeochemistry and Ground water Quality Assessment of Rapur Area, Andhra Pradesh, South India. Journal of Geoscience and Environment Protection, 4: 88-99.
- Oğuz TC, Şiltu E, Özdemir O, Perçin S, Çetin T, Bahçeci H, Turan N, Yıldırım E, Bakır N, Koyun S ve Çakmakçı M, 2019. Ekosistem Esaslı Su Kalitesi Yönetimi, 39-97, içinde: Su Kalitesi (eds: Selek Z.). Tarım Ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- Öztaş T, 1982. Yeraltı suları Açısından Jeolojik Ortamlar ve Akiferlerin Sınıflanması. İstanbul Teknik Üniversitesi. Jeoloji Mühendisliği Bölümü. İstanbul.
- Sahtiyancı Özdemir ÖH, Gökdereli G, Günhan Ö ve Karaaslan Y, 2019. Ekosistem Esaslı Su Kalitesi Yönetimi, 123- 145, içinde: Su Kalitesi Üzerindeki Baskılar (eds: Selek Z.). Tarım Ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- Sancak F, 2014. Yeraltı Sularından Numune Alma Kuyularının Özellikleri ve Numune Alma Esaslarının Belirlenmesi. Uzmanlık Tezi, T.C Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.

- Şener Ş, Güneş D, 2014. Aksu (Isparta) Ovası Yüzey Ve Yeraltı Sularının Hidrojeokimyasal Özellikleri Ve Su Kalitesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 21(6), 260-269. Isparta.
- Taştekin N, 2019. Beyşehir (Konya) Ovasının Hidrojeolojik- Hidrojeokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Uğurluoğlu A, 2013. Seydisuyu Havzası Yer Altı Su Kalitesinin Ve Kirlilik Düzeyinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Ünal A A, 2001. Su ve Sağlık. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. Ankara.
- Yetiş R, 2015. Şanlıurfa Balıklıgöl Havzası Karstik Su Kaynaklarının Kalite Parametrelerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Yıldız GE, 2009. Konya Yolu – Çayyolu Arasındaki (Ankara) Akiferlerde Yeraltı Suyu Kalitesinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

