



## SALDA GÖLÜ HAVZASI GÜNEYİNİN (YEŞİLOVA/BURDUR) HİDROJEOLJİSİ VE HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELEMESİ

Simge VAROL<sup>1\*</sup>, Mutlu KÜÇÜK<sup>2</sup>, Ayşen DAVRAZ<sup>2</sup>, Şehnaz ŞENER<sup>2</sup>, Erhan ŞENER<sup>3</sup>, Fatma AKSEVER<sup>2</sup>,  
Bülent KIRKAN<sup>1</sup>, Ahmet TOKGÖZLÜ<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Su Enstitüsü, Isparta, Türkiye

<sup>2</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fak., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

<sup>3</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Uzaktan Algılama Merkezi, Isparta, Türkiye

<sup>4</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fak., Coğrafya Bölümü, Isparta, Türkiye

### Anahtar Kelimeler Öz

*Hidrojeoloji,*

*Hidrojeokimya,*

*Su Kalitesi,*

*Yeşilova,*

*Salda Gölü.*

Bu çalışmada Salda Gölü havzasının güneyinde bulunan su kaynaklarının jeolojik, hidrolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Bölgede Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı kayalar yayılım göstermektedir. Çalışma alanındaki litolojik birimlerden alüvyon ve kireçtaşları en önemli akiferlerdir. Çalışma alanındaki ortalama yağış miktarı 524.03 mm olup yağışın yaklaşık 368.55 mm'si buharlaşmaktadır. İnceleme alanındaki suların Mg-HCO<sub>3</sub>, Mg-Ca-HCO<sub>3</sub>, Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> ve Mg-Na-HCO<sub>3</sub>-CO<sub>3</sub> sular fasiyesindedir. Yeraltısularında tespit edilen Mg artışı, Marmaris peridotitleri ile Kızılcadağ ofiyolit ve melanji ile kaya-su etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliği değerlendirilmiş ve bazı örneklerin sulama suyu olarak kullanımı uygun bulunmamıştır. Bölgede tarımsal faaliyetlerle ilişkili olarak S11 örneğinde nitrat içeriğinin sınır değeri aştığı tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada sularda mikrobiyolojik kirlenme ve Al, As, Cr ve Fe, gibi iz element içeriklerini belirlemeye yönelik araştırmalar da yapılmıştır. Su örneklerinin içme suyu olarak kullanılabilirliği ulusal ve uluslararası standartlarla karşılaştırıldığında, S2 no'lu örnek Al, S14 ve S15 no'lu örnekler As, S1-S3, S5-S15 no'lu örnekler Cr, S1 ve S5 no'lu örneklerin ise Fe bakımından içme suyu olarak kullanılamayacağı görülmektedir. Bu artışların hem jeojenik hem de antropojenik kökenli olduğu düşünülmektedir.

## INVESTIGATION OF THE HYDROGEOLOGY AND HYDROGEOCHEMICAL PROPERTIES OF THE SOUTH OF THE SALDA LAKE BASIN (YEŞİLOVA/BURDUR)

### Keywords

*Hydrogeology,*

*Hydrogeochemistry,*

*Water Quality,*

*Yeşilova,*

*Salda Lake.*

### Abstract

In this study, it has been investigated as detailed geological, hydrological, hydrogeological and hydrochemical features of water sources in the south of the Salda Lake basin. Mesozoic and Cenozoic rocks are spread in the region. Alluvium and limestones are the most important aquifers from the lithological units in the study area. The mean rainfall amount for the study area is 524.03 mm and evaporation is 368.55 mm. Groundwaters and surface waters are Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> and Mg-Ca-HCO<sub>3</sub> facies. The increase of Mg are originated from Marmaris peridotite and Kızılcadağ ophiolite and melange related to water-rock interaction. Some of the waters in the study area are not suitable for use as irrigation water. Agricultural activity is most important pollution in the study area. Therefore, it was found that nitrate content exceeds the limit value in groundwater samples of S11. In addition, studies have been conducted to determine microbiological contamination and heavy metal contents such as Al, As, Cr and Fe. When compared with the national and international standards for the usability of the water samples as the drinking water, It can be seen that the sample S2 due to Al, the samples S14 ve S15 due to As, the samples S1-S3, S5-S15 due to Cr and the samples S1 and S5 due to Fe can not be used as drinking water. These increases are thought to be both geogenic and anthropogenic.

**Alıntı / Cite**

Varol S., Küçük, M., Davraz A., Şener Ş., Şener E., Aksever F., Kırkan B., Tokgözlü A., (2020). Salda Gölü Havzası Güneyinin (Yeşilova/Burdur) Hidrojeolojisi ve Hidrojeokimyasal Özelliklerinin İncelemesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(1), 74-90.

**Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)**

S. Varol, 0000-0002-1905-9454  
 M. Küçük, 0000-0001-5387-9299  
 A. Davraz, 0000-0003-2442-103x  
 Ş. Şener, 0000-0003-3191-2291  
 E. Şener, 0000-0001-6263-8366  
 F. Aksever, 0000-0002-9907-8451  
 B. Kırkan, 0000-0003-3462-0681  
 A. Tokgözlü, 0000-0003-2447-7068

**Makale Süreci / Article Process**

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	21.05.2019
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	17.07.2019
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	18.07.2019
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	20.03.2020

**1. Giriş (Introduction)**

Su, yüzyıllar boyunca tüm medeniyetler için çok önemli bir doğal kaynak olmuş, bütün büyük uygarlıklar su kenarında kurulmuştur. Teknolojinin ilerlemesi ile sudan faydalanma şekil ve oranlarının artması, su kaynaklarının içme-kullanma, sulama suyu, enerji üretimi gibi pekçok amaç için geliştirilebilmesi, ülkelerin ekonomik kalkınmasında suyun vazgeçilmez bir yer edinmesinde büyük rol oynamıştır. Bugün “gelişmiş ülke” olarak tanımlanabilen pek çok ülke bu seviyelere, ülkelerinin su potansiyelinden azami faydayı sağlayarak ulaşmışlardır (Akkaya ve diğ. 2006). Teknolojinin ilerlemesi, su kaynaklarından optimum faydanın sağlanmasına yardımcı olmakla birlikte, bu ilerlemeye paralel olarak sanayileşmenin ve şehirleşmenin de artması, beraberinde “çevre kirliliği” ve özellikle “su kirliliği” konularını gündeme getirmiştir. Su kirliliğinin giderek önemli boyutlara ulaşması, ülkeleri bu konuda ciddi önlemler almaya zorlamış, bu da bu alanda pek çok mevzuatın oluşması sonucunu doğurmuştur (Akkaya ve diğ. 2006).

Günümüzde önemli su kaynaklarından olan sulak alanlar ise içerisinde barındırdığı canlı hayatı ile de başlı başına bir ekosistemdir. Sulak alan ekosistemleri besin zincirinde yer alan ve ilk basamağını oluşturan üretici gruptan, son basamağındaki tüketici gruba kadar oldukça farklı canlı türlerinin yaşamlarını devam ettirmek için kullandıkları ortamlardır. Bu ekosistemlerdeki en son basamak olan tüketici grubun yine son halkasını da insan oluşturmaktadır. Doğal hayata hizmet eden önemli su kaynaklarından olan sulak alanların korunması ve gelecek kuşaklara sağlıklı şekilde iletilmesi bu bakımdan çok daha fazla önem taşımaktadır. Sulak alanları koruyabilmek için ise öncelikli olarak sulak alanların doğal yapılarının korunması gerekmektedir. Bu amaçla gelecekteki kullanımlar için yeterli miktar ve kalitede suyun olup olmadığını belirlemek ve bu sırada karşılaşılabilecek havza problemlerini çözmek amacıyla hidrojeolojik havza etütlerinin ve hidrojeokimyasal araştırmaların yapılarak suların kalitesi ve kullanım alanlarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Konunun önemi ilişkili olarak seçilen Salda Gölü havzası güneyi de, Salda Gölü ile birlikte sulak alan havzasının bir bölümünü içine almaktadır. Bölgedeki su kaynakları hem sulak alanın canlılığını korumakta, hem de yöre halkının çeşitli içme sulama ve kullanma faaliyetlerine hizmet etmektedir. Bu nedenle su kaynaklarının miktarının belirlenmesi yanısıra hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenerek, kalitesi ve kullanım alanlarının belirlenmesi önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Salda Gölü havzası güneyinin jeoloji, hidroloji, hidrojeoloji ve hidrojeokimyasal incelemelerinin yapılarak, inceleme alanı içerisinde bulunan su kaynaklarının mevcut durumu ve sürdürülebilir kullanım için gerekli bilgilerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, ayrıca ülkemizin önemli sulak alan havzalarından bir tanesi olan Salda Gölü havzasının bir kısmını da içine alan alandaki su kaynaklarında aşırı su kullanımına ve çeşitli kirlilik parametrelerine bağlı ortaya çıkan sorunlar nedeniyle su kaynaklarının fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenerek suların kalitesinin ve kullanım alanlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

**2. Bilimsel Yazın Taraması (Literature Survey)**

İnceleme alanı ve yakın çevresinin jeolojik ve biyolojik yapısı ile ilgili geçmiş dönemlerde yapılan birkaç çalışma dışında güncel ve detaylı araştırmalar bulunmamaktadır. Özellikle inceleme alanının jeolojisi ise birçok araştırmacı tarafından araştırılmıştır. Ardel (1951), çalışmada Salda Gölü ve çevresini jeomorfolojik olarak incelemiştir. Gölün ofiyolitler arasında yer aldığını ve bu ofiyolitlerin yer yer altere olarak serpantinleştiğini, sadece dik yamaçlı Kale Tepe’ de (1472 m) kalkerlerin yer aldığını belirtmiştir. Altınlı (1955), Salda Gölü’nün yapısal jeolojisi hakkında çalışma yapmıştır. Gölün antiklinal sahasında yer aldığını ve kıvrım eksenlerinin alçaldığı bir bölgede çevredeki suların burada toplanmasıyla meydana geldiğini belirtmiştir. Yalçınlar (1959), Salda Gölü’nün, dairevi bir yapı oluşturan dağların arasında, merkezi kısımda yer aldığını belirtmiştir. Bu yapıyı bir

kubbeye benzetmiştir. Bu kubbe yapısını oluşturan ofiyolitik serinin Mesozoyik kalker tabakalarla birlikte bulunduğunu ve Mesozoyik yaşta olduklarını ileri sürmüştür. Erentöz (1974), Salda Gölü ve çevresinin peridotitlerden meydana geldiğini ve bunların yer yer Mesozoyik komprehensif kalkerlerle birlikte bulunduğunu belirtmiştir. Akkuş (1987), bölgenin jeomorfolojik yapısını araştırmış ve Salda Gölü'nün tektonik kökenli bir göl olduğu, Neojen sonunda oluşmaya başladığı ve daha sonra meydana gelen tektonik hareketlerle bugünkü şeklini aldığı belirtmiştir. Yazara göre çalışma alanı Anadolu'nun tektonik birlikleri sınıflamasında Toroslar Tektonik Birliği içerisinde yer almaktadır. Bugünkü yapı Alp orojenezi ile kazanılmıştır. Schmid, (1987), araştırmasında tatlı su göllerindeki Mg getirimini ve buna bağlı olarak da Salda Gölü'ndeki Mg kaynağını konu almıştır. Tatlı su ortamlarındaki Mg'un kaynağının ortama magmatik çözeltilerin katılması yada serpantin ve ultrabazik kayaların içinde dolaşan ve onların alterasyonu ile Mg'ca zenginleşen yüzey sularının ortama gelmesi şeklinde olduğunu savunmuştur. Taymaz ve Price (1992), çalışma alanına ait genelleştirilmiş jeoloji haritasını hazırlamışlardır. Braithwaite ve Zedef (1996), bu çalışmalarında alkali bir göl olan Salda Gölü'nde hidromanyezit, stromatolitleri ve sedimentleri incelemişlerdir. Çalışmacılar kıyı boyunca gözlenen mikrobiyal stromatolitlerin, biyofilmlerle ilişkili diyatom ve sianobakteri mikroflorası içermekte olduğunu belirtmişlerdir. Akyürek vd. (1996) çalışma alanı ile ilgili olarak su kalitesi ve sucul ekosisteme ilişkin çalışmalardan biri olan, "Salda Gölü'nün fizikokimyasal ve temel biyolojik özelliklerinin tespiti ile akuakültür imkânlarının araştırılması" isimli projede Salda Gölü'nde bulunan balık, plankton ve bentik türler ile göl suyunun özelliklerini tespit ederek gölde kafes balıkçılığı imkânlarını araştırmışlardır.

Kazancı vd. (1999, 2000) tarafından hazırlanan bir başka çalışma ile gölün limnolojik yapısının ve biyolojik karakterinin gelecekte korunmasına yönelik tavsiyelerde bulunulmuştur. Süner vd., (2000), Bölgedeki güncel hidromanyezit oluşumlarının jeokimyasal, endüstriyel ve çevresel niteliklerini araştırmışlar ve yine çalışma alanının jeolojisi ile ilgili olarak litolojik birimleri alloktan ve otokton konumlu olarak ayırtlamışlardır. Yeşilova-Tefenni ofiyolitleri, Kızılcaadağ melanji, Yandağ kireçtaşlarını alloktan birimler olarak, Çameli formasyonu, yamaç molozları ve alüvyon birimlerini ise otokton birimler olarak değerlendirmişlerdir. BİÇDR (2010), Burdur ili çevre durumunun detaylı olarak anlatıldığı raporda Burdur il sınırları ve yine Burdur Kapalı havzası içerisinde yer alan Salda Gölü sulak alan alt havzası ve içerisinde bulunan yerleşim alanlarının çevre durumları anlatılmıştır. Yılmaz ve Kuşcu (2012), tarafından yapılan farklı bir çalışmada ise göl ve çevresindeki manyezit oluşumlarının sedimanter oluşumlu masif manyezit yatakları türünde gelişim gösterdiği ve halen bu tip güncel manyezit çökelinin devam ettiği belirtilmiştir. Lise vd., (2013), tarafından Orman ve Su İşleri Bakanlığı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü desteği ile Salda Gölü sulak alanında yapılmış olan en güncel ve kapsamlı araştırmayı gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma Salda Gölü sulak alan alt havzası biyolojik çeşitliğinin belirlenmesine yönelik yapılmıştır. Hazırlanan raporda Salda Gölü alt havzasında bitkisel ve hayvansal biyolojik tür çeşitliliği araştırılmış ve Salda Gölü'ndeki biyoekolojik kalite durumu ortaya konmuştur.

### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

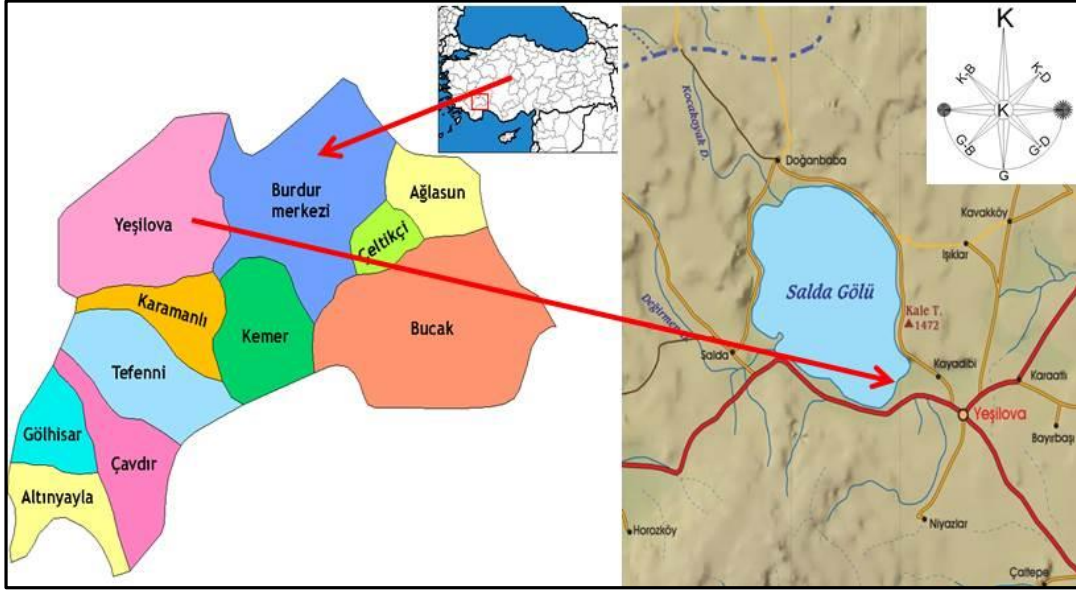
#### 3.1. İnceleme Alanının Tanıtılması (The Study Area)

İnceleme alanı olarak seçilen bölge, Burdur Gölü kapalı havzası sınırları içinde yer almaktadır (Şekil 1). Çalışma alanı aynı zamanda Salda Gölü beslenme havzası içerisinde yer almaktadır. Salda Gölü havzası, Neojen sonunda ortaya çıkan tektonizma etkisiyle oluşmuş, kapalı havza özelliği taşıyan bir çöküntü. Bu bölgedeki en önemli yerleşim alanı Burdur ili Yeşilova ilçe merkezidir. Diğer yerleşim alanları ise Kayadibi ve Niyazlar köyleridir. İlçe doğusunda Burdur ili, batısında Denizli ili Acıpayam ilçesi, güneyinde Burdur ili Karamanlı ilçesi, kuzeyinde ise Denizli ili Çardak ilçesi ve Afyon ili Başmakçı ilçesi ile çevrilidir. Yüzölçümü 1351 km<sup>2</sup>'dir. Yeşilova ilçesi Ege ve Akdeniz Bölgeleri arasında bir alan olup, 37-38 kuzey enlemi, 29-30 doğu boylamı arasında, rakımı 1200 metredir. İlçe Göller Bölgesinin karakteristik özelliklerini taşımaktadır. Yeşilova ilçesi Burdur iline 60 km, Denizli iline 94 km ve Antalya iline 160 km mesafe uzaklıktadır (<http://www.yesilova.gov.tr/ilcemiz-tarihcesi>).

Ayrıca yine çalışma alanı içerisinde 1139 m kotunda ve 184 m'lik maksimum derinliği ile Türkiye'nin en derin göllerinden birisi olan Salda Gölü bulunmakta ve Yeşilova ilçe merkezine 4 km uzaklıkta yer almaktadır. Salda Gölü beslenme havzası genel yapısı itibarıyla suları denize ulaşmayan kapalı havza veya kapalı bir hidrolojik sistem özelliğini taşımaktadır. Genellikle yağışlarla havzaya düşen su, yaz mevsiminde büyük kısmı kuruyan dereler ile havzanın en derin yeri olan Salda Gölü çanağında toplanmakta ve bu alanda toplanan sular Salda Gölü'nü oluşturmaktadır. Çalışma alanı Salda Gölü'nün güney kesimi ile birlikte yaklaşık 154 km<sup>2</sup> dir.

İnceleme alanı içinde en yaygın bitki örtüsünü ormanlar oluşturmaktadır. Salda Gölü bölgenin iklim, toprak ve bitki örtüsünün işlevlerini yerine getirmede dengeleyici bir rol oynamaktadır. Göl havzasında olduğu gibi inceleme alanında da içme ve kullanma sularının büyük bir kısmı doğal kaynaklardan karşılanmaktadır. Özellikle dereler tarımsal sulama amaçlı kullanılmaktadır. Havza içerisinde yer alan Salda Gölü'nün suyu ise tarımsal sulama için uygun olmayan sular sınıfında yer almaktadır. Ayrıca havzada bulunan Salda Gölü'nün doğal yapısı, peyzaj

güzelliği, su kalitesi ve çevresel yapının uygunluğu nedeniyle rekreasyonel özelliği son derece yüksektir (Lise vd. 2013).



Sekil 1. Çalışma alanının yerbulduru haritası (ölçeksiz) (Location map of the study area (without scale))

### 3.2. Çalışma Yöntemleri (Methods)

Salda Gölü havzası güneyinin (Yeşilova/Burdur) hidrojeolojisi ve hidrojeokimyasal özelliklerinin incelenmesi amacıyla yapılan araştırmalar; jeoloji, hidroloji, hidrojeoloji ve hidrokimyasal çalışmalar başlıkları altında toplanmıştır. Çalışma alanı 1/25.000 ölçekli Denizli N23-a2, b1 ve Denizli M23-c4, d3 no'lu paftalarda yer almaktadır. Bu çalışma kapsamında hazırlanan jeoloji ve hidrojeoloji haritaları 1/25.000 ölçekli ayrıntıda incelenmiş ve sunulmuştur. **Jeoloji;** İnceleme alanının jeolojisini incelemek amacıyla öncelikle 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalar üzerinde belirlenmiş ve jeoloji haritası daha önceki çalışmalardan ve arazi çalışmalarından yararlanılarak hazırlanmıştır. **Hidroloji;** Çalışmanın bu bölümünde, inceleme alanı olan Salda Gölü havzasının güneyi ve çevresindeki Devlet Meteoroloji İstasyonlarından alınan uzun yıllara ait ölçüm verileri kullanılmış ve su bilançosu elemanları olan yağış ve buharlaşma değerleri belirlenmiştir. Bununla beraber, çalışma alanı ve çevresindeki meteoroloji istasyonlarının yıllık toplam yağış verilerinden yararlanılarak bu veriler yardımıyla hazırlanan eklenik sapma grafikleri ile bölgede iklim değişim trendi yorumlanmıştır. Buharlaşmanın çalışma alanındaki potansiyel ve gerçek buharlaşma değerlerini hesaplanmak için ise Thornthwaite yöntemi kullanılmıştır. **Hidrojeoloji;** Bu bölümünde inceleme alanında bulunan su noktaları araştırılmış, jeolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre değerlendirilerek hidrojeoloji haritası hazırlanmış ve alandaki akiferler tanımlanmıştır. **Hidrojeokimya;** Çalışma alanında bulunan yüzey ve yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri, kalitesi ve kullanım koşullarının tespiti için bölgeyi temsil edecek şekilde Salda Gölü havzası güneyindeki kaynak, sondaj kuyuları, dere ve göl sularından Haziran-2015 döneminde 15 ayrı noktadan su örnekleri alınmıştır. Alınan su örneklerinin fizikokimyasal özellikleri (in-situ ve lab. Analizleri ile), kirlilik parametreleri, kalite, kullanım koşulları ve su tipleri belirlenmiştir. Su örneklerinin kimyasal analizleri; 72 adet iz element analizi Bureau Veritas (Acme-Kanada) Laboratuvarında (Kanada) ve majör iyon analizleri Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası Laboratuvarlarında, bakteriyolojik analizleri Isparta İl Gıda Kontrol Laboratuvarında yapılmıştır (Haziran 2015). Ayrıca, arazide YSI marka çok parametrelili portatif su kalitesi ölçüm cihazı kullanılarak suların sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (EC), çözülmüş oksijen (DO), redoks potansiyeli (Eh) ve hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) değerleri yerinde ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar farklı diyagramlar ve haritalar üzerinde yorumlanarak çeşitli kullanım alanlarına göre sınıflandırılmıştır.

## 4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

### 4.1. Genel Jeoloji (Geology)

İnceleme alanındaki litolojik birimlerin genel özelliklerinin, diğer birimler ile olan alt-üst ilişkilerinin ve yapısal özelliklerinin belirlenmesi çalışmaları için öncelikle daha önce yapılmış bu araştırmalardan yararlanılmıştır. Bu çalışmaların ışığında arazi gözlemleri yapılarak 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası derlenmiş ve Corel Draw programı kullanılarak bilgisayar ortamında çizilmiştir (Şekil 2).

Çalışma alanında Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı kayalar yayılım göstermektedir. Bu birimler otokton ve allokon

konumlu olarak iki grupta incelenmiştir (Tablo 1; Şekil 2). Otokton birim; güncel sedimanların oluşturduğu alüvyon (Qal)' dir. Allohton birimler ise; Kretase yaşlı harzburjit ve serpantinleşmiş harzburjitlerden oluşan Marmaris peridotiti (Kmo) (Şenel vd., 1997), açık yeşilimsi gri, açık yeşil ve kahverengimsi renkli yaygın olarak serpantinleşmiş dunitlerden oluşan Dunit üyesi (Kmod), Ofiyolitli melanj ve olistostromla temsil edilen Üst Senoniye yaşlı Kızılcaadağ ofiyolitli melanj ve olistostromu (Kkzm), Gülbahar napına ait radyolarit ve çört ara seviyeli çörtlü mikritlerden oluşan Jura-Kretase yaşlı Orhaniye formasyonu (JKo) ve Orta Triyas-Liyas yaşlı yersel megaladonlu, rekristalize kireçtaşlarından oluşan Dutedere kireçtaşları (TRJd)' dir (Şenel vd., 1997).

**Tablo 1.** İnceleme alanında yayılım gösteren litolojik birimler ve yaşları (Lithological units in the study area and their ages)

JEOKRONOLOJİ			LİTOSTRATİGRAFI		LİTOLOJİ
Zaman	Devir	Devre	Formasyon	Simge	Açıklamalar
SENOZOYİK	Kuvaterner		Alüvyon	Qal	Kum, çakıl, çamur ve blok birikintileri.
		MESOZOYİK	Üst Senoniye	Kızılcaadağ ofiyolitli melanj ve olistostromu	Kkzm
Marmaris Peridotiti Dunit Üyesi	Kmo Kmod			Yer yer serpantinleşmiş ultramafik kayalar, harzburjit, serpantinit Bol olivinli serpantinleşmiş dunitler	
Liyas	Orhaniye formasyonu		JKo	Bazik volkanit, radyolarit, çört ara düzeyli mikrit,	
	Dutedere Kireçtaşları		TRJd	Yersel megaladonlu rekristalize kireçtaşları	
Jura					
Triyas					

#### 4.2. Hidroloji (Hydrology)

Çalışma alanı için eş yağış eğrileri yöntemine göre belirlenen ortalama yağış miktarı 316.39 mm'dir. 154 km<sup>2</sup>'lik çalışma alanına düşen ortalama yıllık yağış miktarı 48.72x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır.

Buharlaşma ile gerçekleşen boşalım miktarı Thornthwaite yöntemi ile 324.84 mm gerçek buharlaşma (Etr) ile 50.02x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır.

#### 4.3. Hidrojeoloji (Hydrogeology)

Çalışma alanındaki birimler hidrojeolojik özelliklerine göre değerlendirilerek sınıflandırılmıştır. Buna göre çalışma alanındaki birimler fiziksel özellikleri ve akifer olabilme özellikleri dikkate alındığında taneli ortam akiferi (Akf-1), erimeli-çatlaklı kaya ortam akiferi (Akf-2), akitard ortam-1 (Akt-1), akitard ortam-2 (Akt-2) ve akifüj ortam (AkJ) olarak ayrılmıştır. İnceleme alanında geniş alanlarda yüzeyleyen Kuvaterner yaşlı alüvyon Taneli ortam akiferini (Akf-1), Dutedere kireçtaşı birimi erimeli çatlaklı kaya ortam akiferini, Orhaniye formasyonu Akitard ortam-1, Marmaris peridotiti ve dunit birimleri hidrojeolojik açıdan Akitard ortam-2 ve Kızılcaadağ ofiyolitli melanj ve olistostromu ile İğdir metamorfite geçirimiz özellikleri nedeni ile Akifüj ortamı temsil etmektedir (Varol vd., 2017) (Şekil 3.).

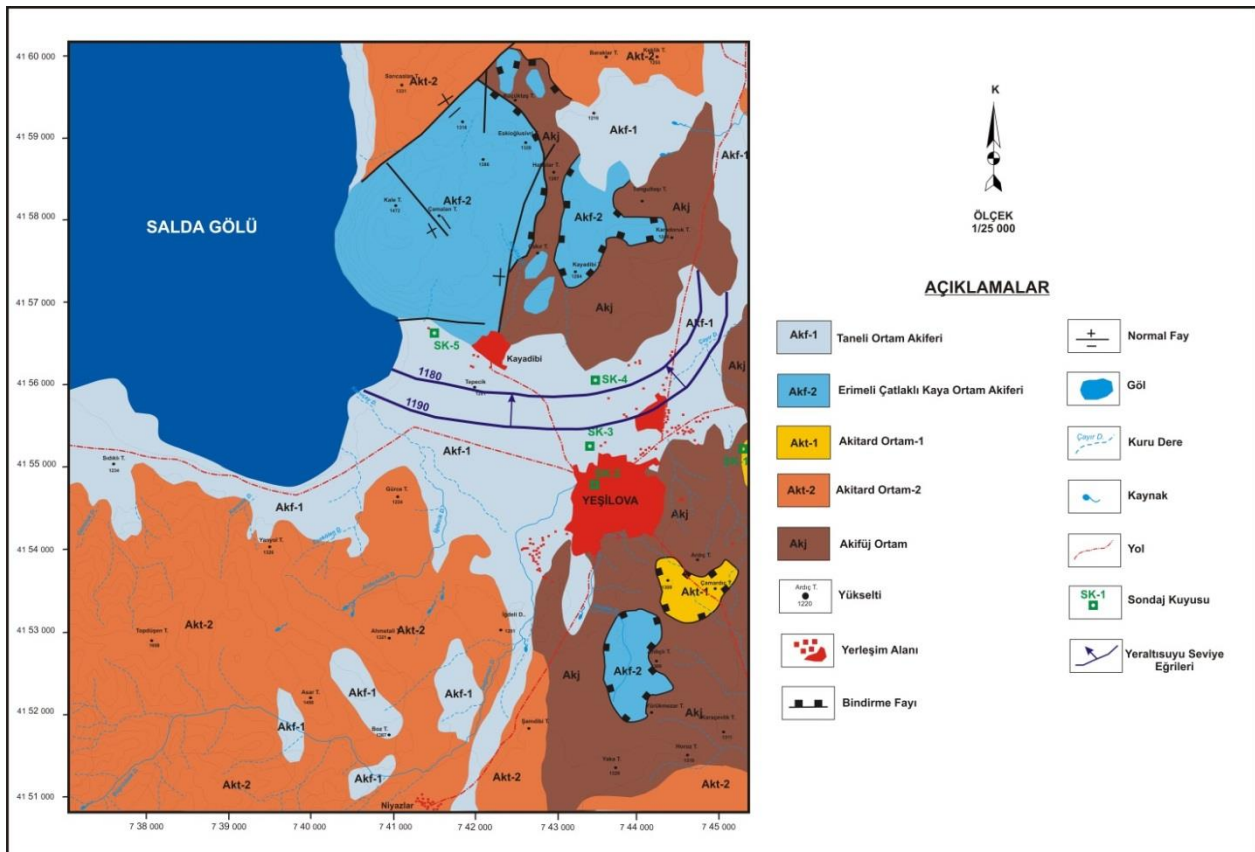
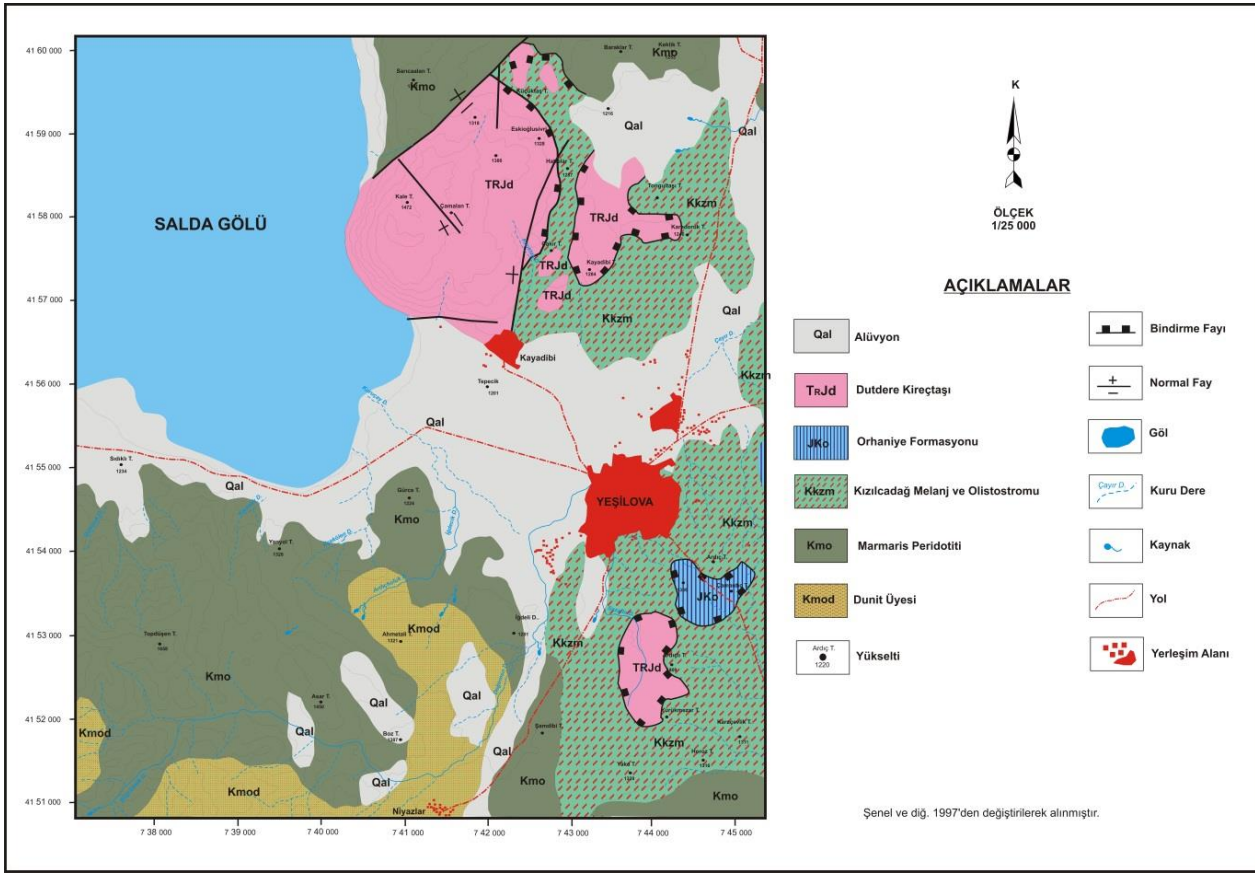
Alüvyon çalışma alanında Yeşilova köyünde geniş bir bölgede, Salda Gölü çevresinde ise ince bir şerit halinde yüzeylenmektedir. Alüvyon birim, kötü boylanmalı, zayıf pekleşmiş çakıl, kum ve çamurtaşı düzeylerinden oluşmaktadır. Birim bu özelliği ile gözenekli bir yapıya sahip olup iyi bir akifer özelliği taşımaktadır. Yeşilova civarında açılan kuyularda akifer kalınlığının en fazla 100 m'ye ulaştığı görülmektedir.

Kireçtaşları, çatlak ve erime boşluklarında önemli miktarlarda yeraltı suyu bulundurabilen ve suyun hareketine izin veren yapılardır. Çalışma alanında Kayadibi köyünün eteklerine yerleştiği Kale tepesi (1472 m) oluşturan ve Yeşilova güneyinde oldukça küçük bir alanda gözlemlenen Dutedere kireçtaşı birimi erimeli çatlaklı kaya ortamı temsil etmektedir.

İnceleme alanında Yeşilova ilçe merkezinin güney doğusunda oldukça küçük bir alanda gözlemlenen ve bazik volkanit, radyolarit, çört, şeyl ara düzeyli çörtlü mikrit ve dolomitik kireçtaşlarından oluşan Orhaniye formasyonu Akitard ortam-1 olarak ayrılmıştır. Birim içerisindeki kalsitürbidit seviyeleri ve dolomitik kireçtaşları az



miktarda su bulundurabilseler de volkanitler, radyolarit-çört-şeyl ara düzeyli çörtlü mikritler su bulundurma özelliğine sahip değildir.



Genel olarak geçirimsiz kabul edilen peridotit ve dunit birimleri yayılımları ve kırık çatlak sıklığına bağlı olarak önemli miktarda yeraltısuyu bulundurabilmektedirler. İnceleme alanı genelinde geniş alanlarda yayılıma sahip Marmaris peridotiti ve Dunit birimlerinin kırık ve çatlaklarından çok sayıda kaynak boşalımları gözlenmektedir. Bu kaynakların büyük bir çoğunluğu Salda Gölü kenarında olup gölü beslemektedir. Bu nedenle inceleme alanı için Marmaris peridotiti ve dunit birimleri hidrojeolojik açıdan Akıtar ortam-2 olarak değerlendirilmiştir.

Yeşilova ilçesi kuzey ve güneyinde bulunan Kızılcaadağ ofiyolitli melanj ve olistostromu ile İğdir metamorfileri birimleri geçirimsiz özellikleri nedeni ile Akifüj ortam olarak ayrılmıştır. Kızılcaadağ ofiyolitleri, serpantin ve serpantin hamur içerisindeki karbonatlar, radyolarit-çört, çörtlü kireçtaşı, neritik kireçtaşları ile bazalt, spilit, tuf, gabro, diyabaz vb. bloklardan oluşmaktadır. Ofiyolitik malzemeler içerisindeki kireçtaşlarında yeraltısuyu bulunabilirken genel yapı itibarıyla bu birimler yeraltısuyunu iletebilecek kapasitede değildir. Birim içerisindeki kaya türlerinin su bulundurabilme ve iletebilme özelliğine sahip olmamaları nedeni ile akifüj ortam olarak ayrılmıştır.

İnceleme alanında bulunan yeraltısuyu kuyuları genel olarak taneli ortam akiferi olarak tanımlanan alüvyon birim üzerinde açılmıştır. Bu birimde yeraltısuyu seviye değişimleri ve akım yönünün belirlenmesi amacıyla, temsili olarak seçilen 5 adet kuyuda kurak dönemi temsilen Mayıs-2015 ve yağışlı dönemi temsilen Ekim-2015 aylarında yeraltısuyu statik seviye ölçümleri yapılmıştır. İnceleme alanında geniş alanlarda yayılım gösteren alüvyon birim, kötü boylanmalı, zayıf pekleşmiş çakıl, kum ve çamurtaşı düzeylerinden oluşmaktadır. Birim bu özelliği ile gözenekli bir yapıya sahip olup iyi bir akifer özelliği taşımaktadır. Yeşilova civarında açılan kuyularda akifer kalınlığının en fazla 100 m'ye ulaştığı görülmektedir. Kuyularda alüvyon altında Kızılcaadağ melanjı ve Marmaris peridotiti birimleri kesilmiştir. Havzada Mayıs-Ekim 2015 dönemlerinde yapılan ölçümlere göre yeraltısuyu seviye değerlerinin 4-9.90 m arasında değiştiği tespit edilmiştir. Yeraltısuyu seviyelerinde kurak ve yağışlı dönem arasındaki seviye farkı ise 0.39-3.98 m arasındadır. Bu seviye değişimleri kurak dönemde yeraltısularının sulama suyu olarak kullanımından kaynaklanmaktadır. İnceleme alanında yeraltısuyu akım yönünün Salda Gölü'ne doğru olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.4. Hidrojeokimya (Hydrogeochemistry)

Bölgedeki suların pH değerleri 7.3 ile 9.1 arasında değişmektedir. Bu nedenle çalışma alanındaki tüm sular "**bazik karakterli ve bazik sular**" sınıfında yer almaktadır. Suların EC değerleri 275.9 ile 1964  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında, sıcaklık değerleri ise 13.6 ile 25.8  $^{\circ}\text{C}$  arasında değişmektedir. Sıcaklık değerlerine göre bölgedeki tüm sular "**çok az ılık ve ılık sular**" sınıfında yer almaktadır. Suların analiz sonuçlarından yararlanılarak suların sertlik değerlendirmeleri de yapılmıştır. Buna göre çalışma alanındaki suların sertlikleri 22.34– 55.30  $^{\circ}\text{Fr}$  arasında değişim göstermektedir. Buna göre çalışma alanındaki S1, S4, S13 ve S14 "**sert su**", S2, S3, S5, S6, S7, S9, S10, S11, S12 ve S15 no'lu örnekler "**çok sert su**" ve S7 ise "**çok fazla sert su**" sınıfında yer almaktadırlar. Suların sertlik derecelerindeki değişimin yağışlar ve suların kayalarla etkileşimine bağlı olduğu düşünülmektedir (Varol vd., 2017) (Tablo 2).

**Tablo 2.** Çalışma alanındaki suların fizikokimyasal ölçüm değerleri (Haziran-2015) (Results of physicochemical analysis of waters in the study area (June-2015))

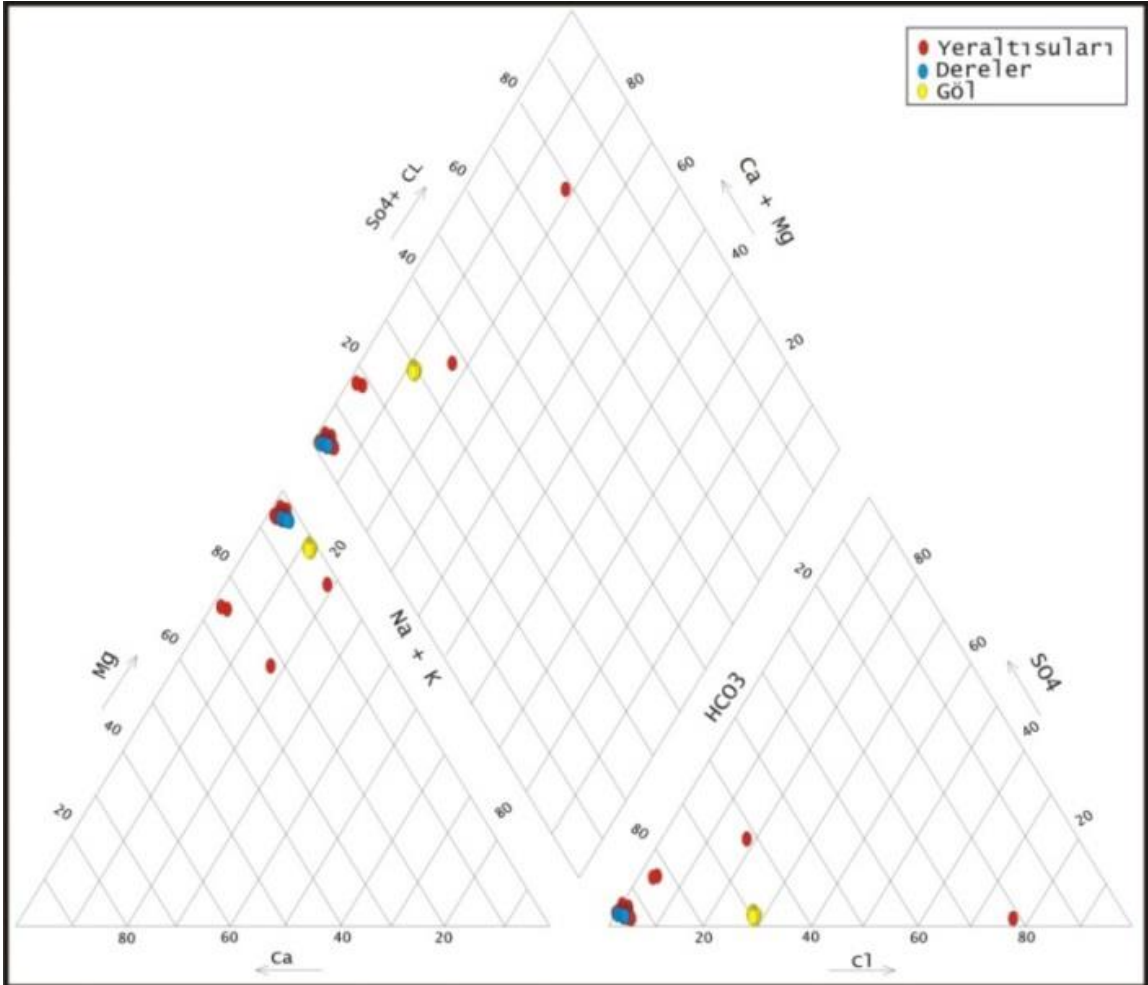
Örn. No	Örnek Tipi	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	pH	Sertlik	TDS	%Na	SAR
S1	Sond.	14.60	361.8	7.9	27.49	0.29	12.85	0.30
S2	Sond.	13.9	543	7.5	42.99	0.43	9.84	0.22
S3	Kayn.	15.6	459	8.4	42.36	0.36	2.86	0.06
S4	Kayn.	13.9	427	7.3	31.85	0.35	14.44	0.34
S5	Kayn.	16	538	7.5	40.43	0.41	9.40	0.21
S6	Dere	23.7	524	8.5	39.53	0.35	3.42	0.07
S7	Dere	23.5	517	8.5	39.26	0.35	3.12	0.06
S8	Dere	22.8	704	8.3	55.30	0.46	3.65	0.08
S9	Dere	25.8	554	8.6	40.33	0.36	3.25	0.07
S10	Kayn.	13.6	467.3	9.1	50.29	0.38	1.80	0.04
S11	Sond.	14.6	761	7.5	54.74	0.58	17.17	0.42
S12	Kayn.	17.9	506	8.2	44.91	0.38	2.10	0.04
S13	Kayn.	18.8	346.1	8.3	27.89	0.26	3.05	0.06
S14	Kayn.	21.4	275.9	9.0	22.34	0.2	2.30	0.05
S15	Göl	21	1964	9.0	35.41	109.9	1.18	21

Bölgedeki suların kimyasal yapısı ve su tipleri Tablo 3 de verilmiştir. Schoeller (1955) sınıflamasına göre; yeraltı, dere ve göl suları klorür sınıflamasına göre, '**Olağan klorürlü sular**', sülfat sınıflamasına göre, '**Olağan sülfatlı**

**sular'** ve karbonat-bikarbonat sınıflamasına göre '**Hiperkarbonatlı sular'** sınıflarına girmektedir. Piper (1944)'e göre yapılan sınıflandırmaya göre ise genel su örneklerinin tümü alkali toprak elementlerinin (Ca+Mg), alkali elementlere (Na+K) göre daha fazla olduğu, zayıf asit köklerinin (CO<sub>3</sub>+HCO<sub>3</sub>) güçlü asit köklerinden (SO<sub>4</sub>+Cl) fazla olduğu, karbonat sertliği % 50'den fazla olan suları temsil etmektedir. İnceleme alanında yeraltı ve dere sularının Mg-HCO<sub>3</sub>, Mg-Ca-HCO<sub>3</sub> ve Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>'lü sular sınıfında olduğu göl suyu ise Mg-Na-HCO<sub>3</sub>-CO<sub>3</sub>'lü sular sınıfında olduğu görülmektedir (Şekil 4).

**Tablo 3.** Çalışma alanındaki su kaynaklarına ait majör iyon (mg/l) analiz sonuçları (Results of major ion (mg / l) analysis of water resources in the study area)

Örn No	Ca	Mg	Na	K	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>
S1	27.73	50.00	11.55	0.62	18	268.40	6.79	12.47
S2	63.36	66.08	14.19	0.60	-	414.94	17.51	36.83
S3	17.16	92.57	3.23	0.17	48	353.80	2.69	3.72
S4	64.28	38.44	17.39	0.33	-	372.22	8.35	15.33
S5	29.90	80.15	11.44	0.22	-	512.57	6.04	12.24
S6	14.67	87.19	3.62	0.51	60	305	3.44	3.26
S7	14.35	86.73	3.27	0.44	60	311.10	3.82	3.05
S8	25.51	118.96	5.48	0.26	54	475.80	5.32	3.82
S9	15.05	88.91	3.51	0.45	66	305	3.91	3.22
S10	2.55	121.71	2.29	0.41	126	298.90	3.16	4.39
S11	58.28	97.73	32.57	1.15	-	402.73	49.84	66.93
S12	8.24	103.53	2.40	0.21	30	402.60	2.30	2.53
S13	9.28	62.16	2.25	0.09	42	231.80	2.06	2.52
S14	2.82	52.60	1.31	0.24	78	103.70	1.57	1.68
S15	3.63	326.39	195.21	25.98	576	744.2	177.43	16.07



**Şekil 4.** Piper (1944) diyagramı (Piper (1944) diagram)





İnceleme alanındaki yerleşim alanlarında yaşayan bölge halkı içme sularını kaynaklardan karşılamaktadır. Halk sağlığını yakından ilgilendiren içme suyu kaynaklarındaki mikrobiyolojik analiz sonuçlarına göre S3 nolu Niyazlar kaynak suyunun bakteriyolojik içeriğinin yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 4.). Bu durum, Niyazlar kaynağının açık havuzda toplandığı için kirletici unsurlara açık olmasından kaynaklanmaktadır.

**Tablo 4.** Kaynak, dere ve Salda Gölü sularının mikrobiyolojik analiz sonuçları (Haziran 2015) (Results of microbiological analysis of spring, stream and Salda Lake waters (June 2015))

Örnek No	Örnek Yeri	Örnek Türü	E. Koli	Koliform	F.Koliform
S3	Niyazlar	Kaynak	30	50	30
S4	Niyazlar	Kaynak	<2	<2	<2
S7	Salda	Dere	30	50	30
S8	Salda	Dere	30	50	30
S10	Yeşilova	Kaynak	<2	<2	<2
S12	Yeşilova	Kaynak	<2	<2	<2
S13	Yeşilova	Kaynak	<2	<2	<2
S14	Yeşilova	Kaynak	<2	<2	<2
S15	Salda Gölü	Göl	<2	<2	<2

#### 4.5.2. Suların Sulamada Kullanım Özellikleri (Irrigation Water Properties)

Su örneklerinin sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için ABD Tuzluluk laboratuvarı ve Wilcox diyagramları ile Artıksal sodyum karbonat (RSC), Geçirgenlik indeksi (PI) ve Magnezyum Tehlikesi (MT) parametreleri kullanılmıştır (Tablo 5).

**Tablo 5.** İnceleme alanındaki suların RSC, PI ve MT değerleri (RSC, PI and MT values of the waters in the study area)

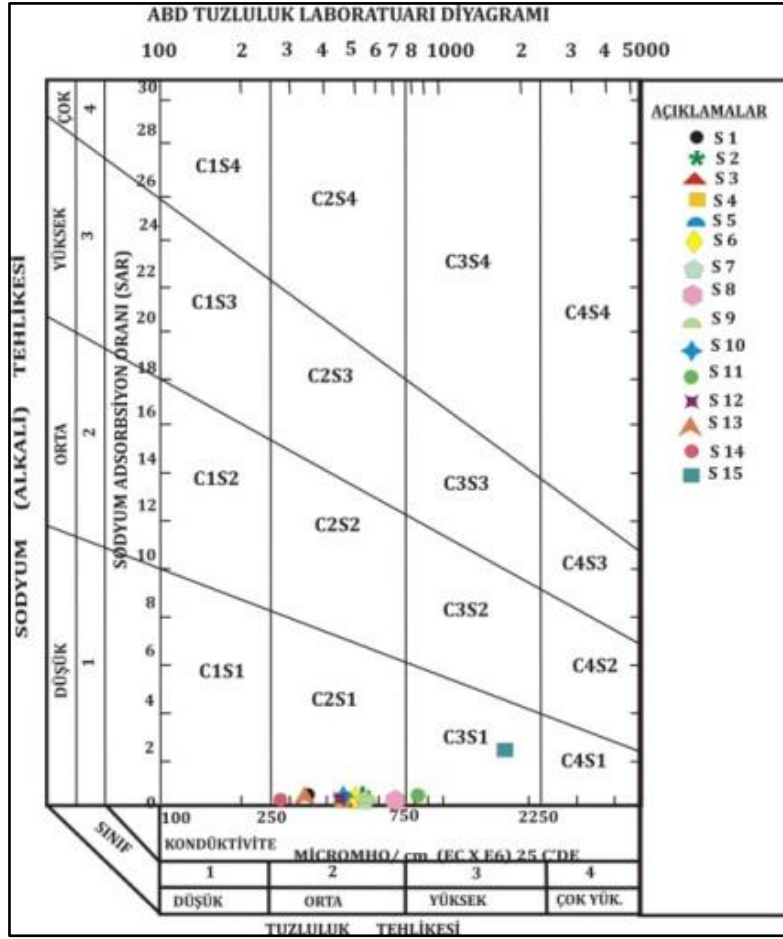
Örnek No	Türü	RSC	PI	MT
S1	S.kuyusu	-0,50	43,34	74,83
S2	S.kuyusu	-1,80	35,00	63,23
S3	Kaynak	-1,07	29,59	89,89
S4	Kaynak	-0,27	45,28	49,65
S5	Kaynak	0,32	39,57	81,55
S6	Dere	-0,91	29,69	90,74
S7	Dere	-0,75	30,03	90,88
S8	Dere	-1,46	26,83	88,49
S9	Dere	-0,87	29,07	90,69
S10	Kaynak	-1,04	22,59	98,75
S11	S.kuyusu	-4,35	32,24	73,44
S12	Kaynak	-1,33	29,60	95,39
S13	Kaynak	-0,38	36,08	91,70
S14	Kaynak	-0,17	30,07	96,85
S15	Göl	4,36	33,73	99,33

ABD Tuzluluk Lab. Diyagramı sınıflamalarına göre çalışma alanındaki sular genelde **C2S1 (Orta Tuzlulukta ve Az Sodyumlu)** sular sınıfında yer almaktadır. Bu sular içerisinde sadece S11 ve S15 örnekleri farklılık göstermektedir. S11 ve S15 örnekleri **C3S1 (Fazla Tuzlu ve Az Sodyumlu)** sular sınıfında yer almaktadır. Bu iki örneğin sulama suyu olarak kullanılabilirliği sınırlıdır (Varol vd., 2017) (Şekil 6).

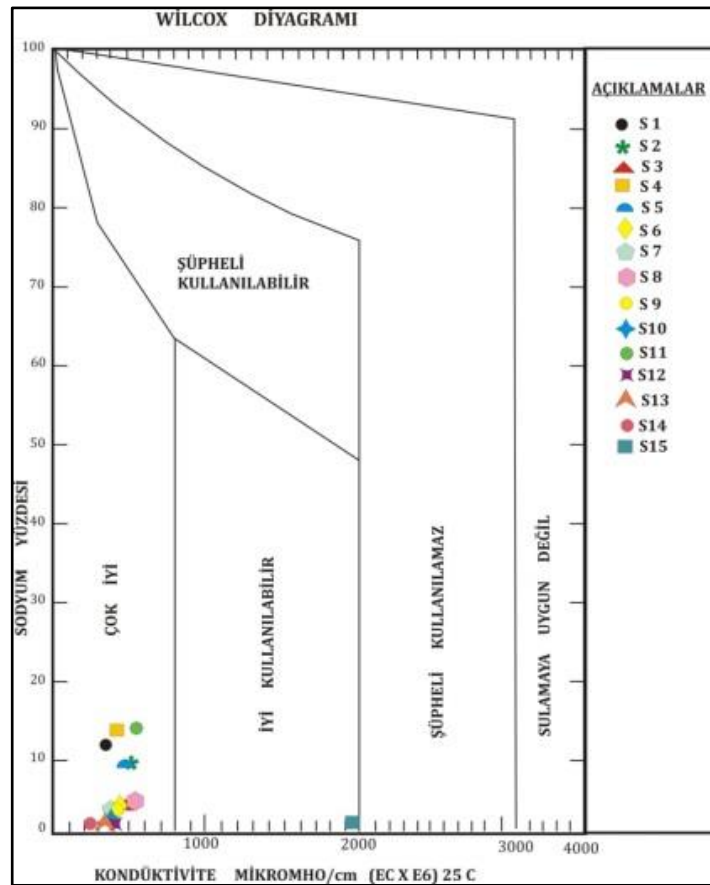
Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğini belirlemede kullanılan diğer bir diyagram ise Wilcox diyagramıdır. Wilcox diyagramına göre çalışma alanındaki sular **'Çok İyi-İyi Kullanılabilir Sular'** sınıfında yer almaktadır (Şekil 7).

Artıksal sodyum karbonat (RSC), toprakta sodyum oranının artma olasılığını önceden tahmin edilmesini sağlar. Yüksek RSC toprakta sodikleşmeye yol açacağından sulama suyunda bulunması istenmemektedir. Çalışma alanındaki sulardan, kaynak, sondaj ve dere suları RSC değerlerine göre **"çok iyi kalitedeki I. Sınıf su"** sınıfında, göl suyu örneği ise **"kullanılabilir kalitede III. sınıf su"** sınıfında yer almaktadırlar (Varol vd., 2017).

Geçirgenlik İndeksi (PI) değeri Dünya Sağlık Örgütü tarafından yapılan çalışmalarda sulama suyu için uygunluğun değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Çalışma alanındaki sular PI değerleri hesaplandığında tüm sular **"II. Sınıf Sular"** yani iyi sulama suyu özelliği taşımaktadır. %25 ile 75 arasındaki değerler PI değeri için II. sınıf suları temsil etmektedir (Varol vd., 2017).



Şekil 6. ABD Tuzluluk Laboratuari Diyagramı (Haziran-2015) (Salinity Laboratory Diagram (June-2015))



Şekil 7. Wilcox diyagramı (Haziran-2015) (Wilcox diagram (June-2015))

Sulama suyunda Mg artışı ise toprak kalitesini olumsuz olarak etkilemektedir. Çalışma alanındaki sular MT açısından değerlendirildiğinde örneklerin tamamında Mg içeriğinin yüksek olması nedeniyle MT değerinin >50 olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak çalışma alanındaki suların tamamının sulama suyu olarak kullanıma **uygun olmadığı** belirlenmiştir (Varol vd., 2017) (Tablo 6).

#### 4.5.3. Suların Endüstride Kullanım Özellikleri (Industrial Usage Properties of Waters)

Suların içme ve sulama amaçlı kullanımları yanında endüstri alanında da kullanımları söz konusudur. Endüstride kullanılacak sularda aranan özellikler de kullanım yerine göre farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle inceleme alanındaki suların içme ve sulama suyu özellikleri yanı sıra endüstride kullanılması durumunda çürütme, kireçlendirme ve köpürme özellikleri ile beton üzerindeki etkisi de incelenmiştir.

Suların çürütme ve kireçlendirme özelliklerini belirlemek amacıyla Langelier (1942) tarafından sunulan '*Kalsiyum Denge Diyagramı*' kullanılmıştır. Diyagram üzerinden okunan denge pH'sı (pHs) ile yerinde ölçümlerle belirlenen suyun pH değeri karşılaştırılarak DI denge endeksi hesaplanmıştır (Tablo 6).

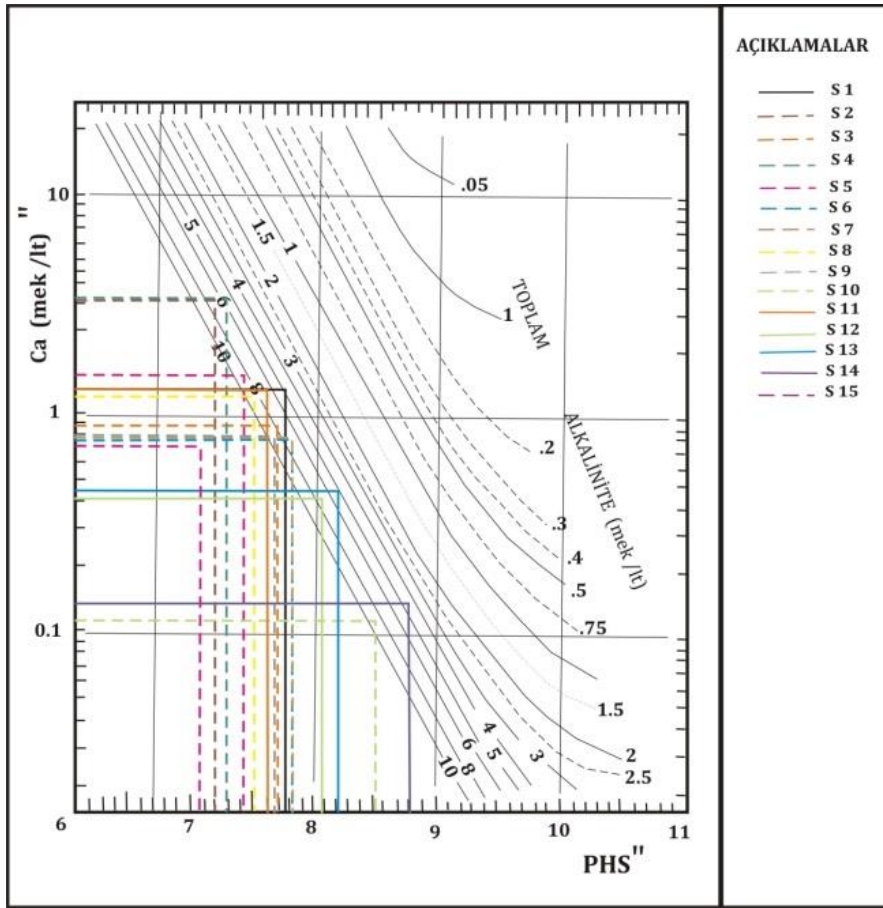
**Tablo 6.** Su örneklerinin pHs ve DI değerleri (Haziran 2015) (pHs and DI values of water samples (June 2015))

Örnek No	Türü	pH	pHs	DI
S1	S.kuyusu	7,90	7,8	0,10
S2	S.kuyusu	7,50	7,2	0,30
S3	Kaynak	8,40	7,9	0,50
S4	Kaynak	7,30	7,3	0,00
S5	Kaynak	7,50	7,4	0,10
S6	Dere	8,50	7,8	0,70
S7	Dere	8,50	7,8	0,70
S8	Dere	8,30	7,5	0,80
S9	Dere	8,60	7,6	1,00
S10	Kaynak	9,10	8,5	0,60
S11	S.kuyusu	7,50	7,6	-0,10
S12	Kaynak	8,20	8,1	0,10
S13	Kaynak	8,30	8,1	0,20
S14	Kaynak	9,00	8,8	0,20
S15	Göl	9,00	7,1	1,90

Buna göre çalışma alanındaki suların çoğunluğu '*karbonat çökmesi izlenir*' sular sınıfında yer almaktadır. Bunun yanısıra S1, S5 ve S12 örneklerinde "*su karbonatça doygun*" sınıfında ve S11 "*su karbonat çözümlenebilir*" sınıfında yer almaktadır (Varol vd., 2017) (Şekil 8).

Su içerisindeki potasyum ve sodyum tuzları suların kaynarken köpürmesine ve bu durum makinelerin kazan ve borularının cidarlarında çökme ve kabuklanmaya neden olmaktadır. Buna ek olarak çökme ve kabuklanma sonucunda ısı iletkenliği azalarak yakıt masrafını arttırmaktadır ve suda istenmeyen bir özelliktir. Çalışma alanındaki suların köpürme özelliği olan F değerleri hesaplanmış ve Tablo 7'de verilmiştir. S11 no'lu örneğin "*kaynarken köpüren sular (60 < F < 200)*" ve S15 no'lu örneğin "*kaynarken çok köpüren sular (F>200)*" sınıfında yer aldığı, S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S12, S13 ve S14 nolu örneklerin ise "*kaynarken köpürmeyen sular (F<60)*" sınıfında yer aldığı belirlenmiştir (Varol vd., 2017).

Suların beton üzerinde etkisi içerisindeki sülfat miktarına bağlıdır. Sülfatlı suların çimento üzerindeki etkinliği oldukça büyüktür. Sülfatlı sular çimento içerisinde önemli miktarlarda CaO, MgO, SO<sub>4</sub> bulunması halinde bu maddelerin su ile birleşmesi durumunda önemli miktarda hacim artışına ve betonun parçalanmasına neden olabilmektedir (Şahinci, 1991). Çalışma alanındaki sularda sülfat miktarı 0.05-1.39 mek/l arasındadır. Suda bulunan sülfat miktarına ve bunun beton üzerinde yaratacağı etkiye göre yapılan sınıflandırmaya göre suların beton üzerinde "*etkime var*", "*Önemli*" ve "*Çok önemli*" olarak etkisi bulunmaktadır.



Şekil 8. Kalsiyum denge diyagramı (Haziran 2015) (Calcium balance diagram (June 2015))

Tablo 7. Suların hesaplanan F değerleri (Haziran 2015) (Calculated F values of waters (June 2015))

Örnek No	Türü	F
S1	S.kuyusu	32,39
S2	S.kuyusu	39,47
S3	Kaynak	9,05
S4	Kaynak	47,56
S5	Kaynak	31,29
S6	Dere	10,78
S7	Dere	9,70
S8	Dere	15,30
S9	Dere	10,37
S10	Kaynak	7,00
S11	S.kuyusu	90,13
S12	Kaynak	6,89
S13	Kaynak	6,25
S14	Kaynak	4,01
S15	Göl	578,38

#### 4.6. Yeraltısularında Kirlilik Araştırmaları (Pollution Researches in Groundwater)

Su kaynaklarında kirlenmeye neden olan en önemli kirlenici unsurları jeojenik ve antropojenik kökenli olarak iki kısımda incelemek mümkündür. Jeojenik kökenli kirlilik; suların içerisinden geçtikleri kayalarla etkileşimleri nedeniyle bünyelerine aldıkları elementlerden kaynaklanan kirliliktir. Bu durum su içerisinde bulunan elementlerin miktarı etkileşim süresi ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Yüzey ve yeraltı suyu kaynaklarının kirliliğini oluşturan en büyük etkenlerden bir diğeri ise antropojenik kökenli olarak ifade edilen, katı-sıvı atıklar, tarımsal faaliyetler ve çeşitli endüstri kuruluşlarından kaynaklanan kirliliktir. Su kaynaklarında en çok rastlanan kirlenici maddeler azot bileşikleridir olan nitrat, nitrit, amonyak, ağır metaller ve zehirli bileşiklerdir (Uslu ve Türkman, 1987).

Çalışma alanı olan Salda Gölü havzası içerisinde yer alan aynı zamanda Yeşilova ilçe merkezinin bulunduğu ve en büyük tarımsal faaliyetlerin gerçekleştirildiği bölgedir (HKEPH-BH, 2010). Çalışma alanında en önemli kirlilik



kaynakları, tarımsal aktivitelerden ve hayvancılık ile evsel katı ve sıvı atıklardır. Kirlilik düzeyinin belirlenmesinde kirlilik parametrelerinin kimyasal analizler yardımıyla tespit edilmesi gerekmektedir. Çalışma alanında, alüvyon akiferde yapılan tarımsal faaliyetler esnasında kullanılan pestisitler, doğal ve suni (yapay) gübreler ve ayrıca yöre halkının büyük bir çoğunluğunun geçimini sağladığı büyük ve küçükbaş hayvan yetiştiriciliği sırasında hayvansal atıkların neden olduğu kirlilik başlıca kirletici unsurlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle çalışma alanındaki yeraltı ve yüzey sularındaki kirlilik durumunun tespiti için (Haziran 2015) azot ve türevleri ile iz element (Al, As, Cr, Fe) analizleri yapılmıştır (Tablo 8).

#### 4.6.1. Azot ve Türevleri (Nitrogen and Derivatives)

Yeraltısuyunda yoğun olarak tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan önemli kirleticilerden biri olan azot, çoğunlukla nitrat ( $\text{NO}_3$ ) şeklinde bulunur.  $\text{NO}_3$  yeraltısuyunda en sık rastlanan şekli olmasına karşın, çözülmüş azot, amonyum ( $\text{NH}_4$ ), nitrit ( $\text{NO}_2$ ), azot ( $\text{N}_2$ ), azot oksit ( $\text{N}_2\text{O}$ ) ve organik azot şeklinde de bulunabilmektedir (Uslu ve Türkman, 1987). Günümüzde yeraltısularında nitrat ( $\text{NO}_3$ ) derişimi, tarımsal faaliyetler ve evsel atıkların etkisiyle giderek artmaktadır. Sularında 5-10 mg/l'nin üzerinde nitratın bulunması bu suyun antropojenik kökenli kirleticiler tarafından kirlendiğini göstermektedir. Türk içme suyu (TS 266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü içme suyu (WHO, 2011) standartlarına göre içme sularında nitrat içeriğinin 50 mg/l'yi aşmaması istenmektedir. Nitrit ( $\text{NO}_2$ ) ve amonyum ( $\text{NH}_4$ )'ın ise içme sularında hiç bulunmaması gerekmektedir.

Çalışma alanından alınan su örneklerinin tamamında nitrit ve amonyum tespit edilememişken (<0.06 mg/l), nitrat 0.38-88.31 mg/l arasındaki değerler tespit edilmiştir (Varol vd., 2017) (Tablo 8.).

Elde edilen bu sonuçlar Türk içme suyu standartları (TSE 266) ve Dünya sağlık örgütü (WHO, 2011) standartları ile karşılaştırıldığında sadece S11 no'lu sondaj kuyusuna ait örnekte tarımsal faaliyetlerden nitrat konsantrasyonlarının sınır değeri aştığı belirlenmiştir. Ancak çalışma alanındaki suların her ne kadar nitrat içeriği bakımından da içilebilir özellikte olduğu görülse de örneklerin çoğunda nitrat değerleri 5-10 mg/l'nin üzerinde olduğu için suların antropojenik kökenli yani yapay gübre kullanımı ve hayvan atıklarının gübre olarak kullanımı nedeni ile kirlendiğini göstermektedir (Varol vd., 2017).

**Tablo 8.** Suların kirlilik parametrelerine göre analiz sonuçları (Haziran 2015) (Analysis results of water by pollution parameters (June 2015) )

Örnek No	Örnek Yeri	Örnek Türü	$\text{NO}_3$ (mg/l)	$\text{NO}_2$ (mg/l)	$\text{NH}_4$ (mg/l)	Al	As	Cr	Fe
S-1	Yeşilova	S.kuyusu	12.55	<0.01	<0.06	0.048	0.002	<b>0.254</b>	<b>0.640</b>
S-2	Yeşilova	S.kuyusu	36.67	<0.01	<0.06	<b>0.369</b>	0.003	<b>0.186</b>	0.187
S-3	Niyazlar	Kaynak	2.69	<0.01	<0.06	0.028	0.004	<b>0.181</b>	0.019
S-4	Niyazlar	Kaynak	17.80	<0.01	<0.06	0.003	0.005	0.005	<0.010
S-5	Niyazlar	Kaynak	7.78	<0.01	<0.06	0.022	0.007	<b>0.194</b>	<b>0.200</b>
S-6	İğdecik deresi	Dere	3.24	<0.01	<0.06	0.005	0.009	<b>0.154</b>	0.019
S-7	İğdecik deresi	Dere	3.51	<0.01	<0.06	0.014	0.008	<b>0.279</b>	<0.010
S-8	İğdecik deresi	Dere	0.83	<0.01	<0.06	0.003	0.006	<b>0.225</b>	<0.010
S-9	Kuruçay	Dere	2.18	<0.01	<0.06	0.005	0.008	<b>0.156</b>	<0.010
S-10	Yeşilova-Salda	Kaynak	2.41	<0.01	<0.06	0.004	0.007	<b>0.066</b>	0.012
S-11	Kayadibi	S.kuyusu	88.31	<0.01	<0.06	0.003	0.007	<b>0.143</b>	0.011
S-12	Yeşilova	Kaynak	4.25	<0.01	<0.06	0.002	0.008	<b>0.227</b>	0.015
S-13	Yeşilova	Kaynak	1.28	<0.01	<0.06	0.045	0.007	<b>0.131</b>	0.075
S-14	Yeşilova	Kaynak	1.62	<0.01	<0.06	0.004	<b>0.010</b>	<b>0.185</b>	0.023
S-15	Salda	Göl	0.44	<0.01	<0.06	<0.001	<b>0.021</b>	<b>0.372</b>	0.069
TS 266 2005			<b>50</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05-0.50</b>	<b>0.2</b>	<b>0.01</b>	<b>0.05</b>	<b>0.2</b>
WHO 2011			<b>50</b>	<b>3</b>	<b>0.05-0.50</b>	-	<b>0.01</b>	<b>0.05</b>	-

#### 4.6.2. İz Elementler (Trace Elements)

Doğal sularda major iyonlar dışında ikincil ve üçüncül olarak gelişen iyonlar da söz konusudur. İz elementler, su kaynaklarına, endüstriyel atıklar veya asit yağmurlarının toprağı ve dolayısı ile bileşimde bulunan bu iz elementleri çözmesi ve çözünen ağır metallerin ırmak, göl ve yeraltısularına ulaşmasıyla geçerler. İz elementlerin su içerisindeki varlığı suyun hangi tür kayaçlarla etkileşim içerisinde olduğunu bildirmesi yanı sıra su içerisindeki miktarı, suyun kalitesini de etkilemektedir. Bu nedenle, çalışma alanındaki sularda birincil (major) iyon analizleri ile birlikte iz element analizleri de yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında içme suyu standartlarını aşan konsantrasyonlara sahip iz elementlerden alüminyum (Al), arsenik (As), krom (Cr) ve demir (Fe) iyonlarının analizleri Türk İçme Suyu (TSE 266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartları dikkate alınarak değerlendirilmiştir (Tablo 8).

Türk içme suyu standartlarında (TSE-266, 2005), sularda Al için sınır değeri en çok 0.2 mg/l olarak belirlenirken WHO (2011)'e göre Al için sınır değeri belirtilmemiştir. Çalışma alanındaki su kaynaklarında ise Al değeri 0-0.03

mg/l arasında değişmekte ve su örneklerinin hiçbirinde Al konsantrasyonları ulusal ve uluslararası standart değerleri sadece S2 no'lu sondaj kuyusu örneğinde aşmaktadır (Tablo 8). Bu örnekteki artışın antropojenik kökenli olduğu düşünülmektedir (Varol vd., 2017).

Yeraltısularında arsenik konsantrasyonu değişkenliği akifer arsenik içeriğine ve katı fazdan sıvı faza arseniğin serbest bırakıldığı değişik desorpsiyon/dispersiyon proseslerine, mineral çözünme/çökme, adsorbsiyon/desorbsiyon, yükseltgenme/indirgenme tepkime mekanizmaları ve biyolojik dönüşüme bağlıdır (Köse, 2017). Ayrıca, arsenik içeren tarımsal ilaçların kullanılması hem toprağa oradan da süzülme yoluyla yeraltına geçmesi açısından oldukça tehlikelidir. Madencilik, demir-dışı metallerin eritilmesi ve fosil yakıtların yanması gibi büyük endüstriyel prosesler arseniğin hava, su ve toprağa yayılarak çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Ayrıca, inorganik bileşikler içeren tarımsal ilaçların kullanılması ve kereste muhafazasında arsenik kullanılması sularda As kirliliğini artırmaktadır (WHO, 2006). Konsantrasyonu 0.01 mg/l'nin üzerinde olan arsenikli sular kuvvetli zehirleyici olup yüksek dozajlarda ani ölümlere sebep olmaktadır. Düşük konsantrasyonlardaki arsenik bile kronik zehirlenmelere, deride yüzeysel yaralara ve deri kanserine yol açmaktadır (Sargın, 2010). Çalışma alanındaki su örneklerinin As içeriği 0.002-0.021 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 8). S14 kaynak suyu örneği ile S15 göl suyu örneğinde içme suyu standartları tarafından belirlenen sınır değerin aştığı belirlenmiştir. Çalışma alanındaki As konsantrasyonlarındaki artışın jeojenik kökenli kirlilikten kaynaklandığı düşünülmektedir (Varol vd., 2017).

Krom elementi için sınır değeri TSE-266 (2005) ve WHO (2011)'de 0.05 mg/l, olarak belirlenmiştir. Çalışma alanındaki sularda krom konsantrasyonu 0.005-0.372 mg/l olarak belirlenmiştir. Sonuçlar içme suyu standartları ile karşılaştırıldığında S4 no'lu kaynak suyu örneği dışında diğer tüm örneklerin sınır değerleri aştığı belirlenmiştir (Tablo 8). Sulardaki krom artışına çalışma alanındaki Marmaris peridotiti ve Kızılcaadağ melanj ve ofiyolitleri içerisindeki kromitlere bağlı jeojenik kirliliğin neden olduğu düşünülmektedir (Varol vd., 2017).

Demir için TSE-266 (2005) içme suyu standardında belirlenen sınır değer 0.2 mg/l'dir. Çalışma alanındaki sularda demir konsantrasyonu <0.010-0.640 mg/l olarak belirlenmiştir. Analiz sonuçları içme suyu standartları ile karşılaştırıldığında S1 sondaj kuyusu ve S5 kaynak suyu örneklerinde içme suyu için belirlenen sınır değeri aştığı görülmüştür. Bu örneklerdeki demir artışına çalışma alanındaki jeojenik ve antropojenik kirliliğin neden olabileceği düşünülmektedir (Varol vd., 2017) (Tablo 8).

## 5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

İnceleme alanını olarak seçilen bölge, yaklaşık 100 km<sup>2</sup> olup Burdur Gölü kapalı havzası ve aynı zamanda Salda Gölü beslenme havzası içerisinde yer almaktadır.

Çalışma alanı içerisinde yer alan litolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre değerlendirilerek sınıflandırılmıştır. Buna göre çalışma alanında Taneli ortam akiferini (Akf-1) temsil eden ve geniş alanlarda yüzeyleyen Kuvaterner yaşlı alüvyon ile erimeli çatlaklı kaya ortam akiferini temsil eden Dutdere kireçtaşı birimi en önemli akiferlerdir. Çalışma alanı için ortalama yağış miktarı 316.39 mm olup 154 km<sup>2</sup>'lik çalışma alanına düşen ortalama yıllık yağış miktarı 48.72x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır. Buharlaşma ile gerçekleşen boşalım miktarı ise 324.84 mm olup gerçek buharlaşma (Etr) ile 50.02x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır.

Piper diyagramına göre inceleme alanında yeraltı ve dere sularının Mg-HCO<sub>3</sub>, Mg-Ca-HCO<sub>3</sub> ve Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>'lü sular sınıfında olduğu göl suyu ise Mg-Na-HCO<sub>3</sub>-CO<sub>3</sub>'lü sular sınıfında olduğu görülmektedir. Çalışma alanındaki su tipleri kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomit birimleri ile kayaç-su etkileşimine bağlı olarak gelişmektedir.

İnceleme alanındaki suların içme suyu olarak değerlendirildiğinde, S2 no'lu örnek Al, S14 ve S15 no'lu örnekler As, S1-S3, S5-S15 no'lu örnekler Cr, S1 ve S5 no'lu örneklerin Fe konsantrasyonları bakımından içme suyu olarak kullanılamayacağı görülmektedir. Azot ve türevleri bakımından ise çalışma alanında sadece S11 no'lu örnekte sınır değerin aşıldığı bunun yanı sıra diğer örnekler açısından da 10 mg/l'nin üzerinde görülen NO<sub>3</sub> seviyesi suyun antropojenik etkiye maruz kaldığını göstermektedir. Ayrıca suların mikrobiyolojik analiz sonuçlarına göre S3 nolu Niyazlar kaynak suyunun bakteriyolojik içeriği yüksek olduğu görülmektedir. Niyazlar kaynağının açık havuzda toplandığı ve kirletici unsurlara açık olduğu görülmektedir. Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliği değerlendirildiğinde ABD Tuzluluk Lab. Diyagramı sınıflamalarına göre çalışma alanındaki sular genelde C2S1 (Orta Tuzlulukta ve Az Sodyumlu) sular sınıfında yer almaktadır. Bu sular içerisinde sadece S11 ve S15 örnekleri farklılık göstermektedir. S11 ve S15 örnekleri C3S1 (Fazla Tuzlu ve Az Sodyumlu) sular sınıfında yer almaktadır. Bu iki örneğin sulama suyu olarak kullanılabilirliği sınırlıdır. Wilcox diyagramına göre çalışma alanındaki tüm sular 'Çok İyi-İyi Kullanılabilir Sular' sınıfında yer aldığı görülmüştür. RSC değerlerine göre, kaynak, sondaj ve dere suları "çok iyi kalitedeki I. Sınıf su" sınıfında, göl suyu örneği ise "kullanılabilir kalitede III. sınıf su" sınıfında yer alırken, PI değerlendirmelerinde tüm sular "II. Sınıf Sular" yani iyi sulama suyu özelliği taşımaktadır. Ayrıca, MT açısından

değerlendirildiğinde örneklerin tamamı sulama suyu olarak kullanıma uygun olmadığı belirlenmiştir. Suların endüstride kullanım açısından çürütme ve kireçlendirme özelliklerini belirlemek amacıyla Langelier (1942) tarafından sunulan Kalsiyum Denge Diyagramına göre çalışma alanındaki suların çoğunluğu 'karbonat çökmesi izlenir' sular sınıfında yer almaktadır. Bunun yanı sıra S1, S5 ve S12 örneklerinde "su karbonatça doygun" sınıfında ve S11 ise "su karbonat çözündürebilir" sınıfında yer almaktadır. Ayrıca, çalışma alanındaki suların köpürme özelliği olan F değerleri hesaplanmıştır. Buna göre S11 "kaynarken köpüren sular" ve S15 no'lu örnek ise "kaynarken çok köpüren sular" sınıfında yer aldığı, diğer suların (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S12, S13 ve S14) ise "kaynarken köpüren sular" sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir. Suda bulunan sülfat miktarına ve bunun beton üzerinde yaratacağı etkiye göre yapılan sınıflandırmaya göre bölgedeki suların beton üzerinde "etkime var", "Önemli" ve "Çok önemli" olarak etkisi bulunmaktadır.

Çalışma alanındaki sulara yaptırılan iz element analizleri Türk İçme Suyu (TSE 266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartları ile karşılaştırıldığında alüminyum (Al), arsenik (As), krom (Cr) ve demir (Fe) iyon konsantrasyonlarında artış belirlenmiştir. Bu ağır metallere As ve Cr artışının jeojenik kökenli olduğu düşünülürken, Al ve Fe iyonlarındaki artışın hem jeojenik hem de antropojenik kökenli olabileceği düşünülmektedir.

### Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma TÜBİTAK-ÇAYDAG tarafından 114-Y-084 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

### Çıkar Çatışması / Conflict of Interest

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

### Kaynaklar (References)

- Akkaya, C., Efeoğlu, A., & Yeşil, N. 2006. Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi ve Türkiye'de Uygulanabilirliği. TMMOB Su Politikaları Kongresi, 21-23.
- Akkuş, A., 1987. Salda Gölü Jeomorfolojisi, İstanbul Üniversitesi, Coğrafya Dergisi, sayı:2, sayfa: 109-115.
- Akyürek, M., Alp, A., Akyürek, H., 1996. Salda Gölü'nün fizikokimyasal ve temel biyolojik özelliklerinin tespiti ile akuakültür imkanlarının araştırılması projesi, T.C Tarım ve Köyşleri Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü Su Ürünleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü-Eğirdir, 20 sayfa
- Altınlı, E. 1955. The Geology of Southern Denizli. İstanbul Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Mec. Seri B, XX, No:1-2, sayfa:1-45, İstanbul.
- Ardel, A., 1951. Göller bölgesinde morfolojik müşahedeler İstanbul Üniversitesi Coğrafya Entitüsü Dergisi No:2 sayfa:1-19, İstanbul.
- BİÇDR, 2010. Burdur İl Çevre Durum Raporu, Burdur İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, Burdur.
- Braithwaite, C.J.R., Zedef, V., 1996. Hydromagnesite stromatolites and sediments in an alkaline lake, Salda Gölü, Turkey. Journal of Sedimentary Research 66: 991-1002
- Erentöz, C., 1974. Türkiye Jeoloji Haritası (Denizli), 1/500000 ölçekli MTA Yayınları, Ankara
- HKEPH-BH, 2010. Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması-Burdur Havzası, TÜBİTAK-MAM Çevre Enstitüsü Raporu.
- Kazancı, N., Girgin, S., Dugel, M., Mutlu, B., Dere, S., Barlas, M., Özcelik, M., 2000. Lakes of Turkey, Kazancı N (ed.). Ekobil Tasarım ve Yayıncılık Ltd. Sti. (CD-ROM.)
- Kazancı, N., Girgin, S., Dugel, M., Oğuzkurt, D., Mutlu, B., Dere, S., Barlas, M., Özcelik, M., 1999. Researches on Inland Waters of Turkey IV: Limnology, Environmental Quality and Biological Diversity of Koycegiz, Beysehir, Egirdir, Aksehir, Eber, Çorak, Kovada, Yarıslı, Bafa, Salda, Karatas, Cavuscu Lakes, Buyuk and Kucuk Menderes Deltası, Gulluk vand Karamuk Marshy Areas. Imaj Press: Ankara
- Köse, İ., 2017. Yazır Gölü (Çavdır/Burdur) Sulak Alan Havzasının Hidrojeoloji ve Hidrojeokimyasal İncelemesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 117 sayfa, Isparta
- Lise, Y., Güllü, İ., Kesici, E., Dişli, E., Akarsu, F., Küçükala, A., Çalışkan, B. K., Gül, S., 2013. Salda Gölü Sulak Alan Alt Havzası Biyolojik Çeşitlilik Araştırması, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü
- Piper, A. M.. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Trans. Amer. Geophys. Union. vol. 25. p. 914-923.
- Sargın, A. H., 2010. Yeraltı Suları, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı Ankara 208 s.
- Schoeller, H.. 1955. Gechemie des eaux souterranes. Rev. Inst. Franc. Petrole. Paris. 10. No. 3-4
- Süner, F., Akyüz S., Kumral, M., Budakoğlu, M., Çelenli, A., 2000. Salda Gölü Güncel Manyezit Oluşumlarının Jeokimyasal, Endüstriyel ve Çevresel Nitelikleri, TÜBİTAK ÇAYDAG, Proje No:198Y055 Proje raporu
- Şahinci, A., 1991. Doğal Suların Jeokimyası. Reform Matbaası. Bölüm 2.. s.33. İzmir.
- Şenel, M., Akyürek, B., Can, N., Aksay, A., Pehlivan, N., Bulut, V., Aydal, N., 1997. Türkiye Jeoloji Haritaları, 1:100 000 ölçekli Denizli M23(J9) paftası, MTA yayınları, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Taymaz, T. And Price, S.P., 1992. Burdur Earthquake Sequence SW Turkey: a synthesis of seismological and geological observations, Journal of Geophy. Int., 589-603,

- TSE266, 2005. İnsani tüketim amaçlı sular, Türk İçme Suyu Standartları TS 266 sayılı standart -Türk Standartları Enstitüsü – Ankara.
- Uslu, O. ve Türkman, A., 1987, Su Kirliliği Ve Kontrolü. T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi, 364 s., Ankara
- Varol S., Davraz A., Şener Ş., Aksever F., Şener E., Kırcan B. & Tokgözlü A. 2017. Salda Gölü Sulak Alanı Hidrojeolojisi, Hidrojeokimyasal Özelliklerinin İzlenmesi ve Kirlilik Durumunun Tespiti. TÜBİTAK ÇAYDAG proje raporu, Proje No: 114Y084
- WHO, 2006. Guidelines for drinking water quality: incorporating first addendum. Vol. 1, recommendations, (3rd ed.), chapter 9: radiological aspects. Geneva: World Health Organization.
- WHO, 2011. Guidelines for drinking-water quality. 4th edition, World Health Organization.
- Yalçınlar, İ. 1959. Batı Anadolu'da bir Kubbe Strüktürünün Mevcudiyeti Hakkında. Türk Coğrafya Dergisi, Yıl 14-15, sayı:18-99 sayfa:160-163, İstanbul.
- Yılmaz, A. Ve Kuşcu, M., 2012. Manyezit yataklarının oluşumu, sınıflandırılması, kullanım alanları ve kalite sınıflandırılması, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 28(1): 65-72  
<http://www.yesilova.gov.tr/ilcemiz-tarihcesi>